



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

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Прогноз низкой облачности для аэропорта города Вологды»

Исполнитель Валиулова Анастасия Андреевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук
(ученая степень, ученое звание)
Канухина Анна Юрьевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
И.о. заведующего кафедрой


(подпись)

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

Дробжева Яна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

« 02 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

Перечь условных обозначений и сокращений	3
Введение	4
1. Физические характеристики и классификация облаков	6
1.1. Характеристики облачности	7
1.2. Авиационно-опасные виды облачности	9
1.2.1. Облака нижнего яруса	9
1.2.2 Облака вертикального развития.....	13
2. Методы прогнозирования ВНГО	16
2.1. Прогноз низкой облачности по методу А.К. Лугченко.....	17
2.2. Прогноз ВНГО методом Е.И. Гоголевой	18
2.3. Прогноз ВНГО методом В.М. Ярковой	20
2.4. Прогноз ВНГО по полуэмпирическим формулам	21
3. Исходные материалы и их обработка	21
3.1. Физико-географическое и климатическое описание аэропорта Вологды .	21
3.2. Исходные данные	23
3.3 Типичные синоптические ситуации связанные с ВНГО 300 м и ниже	35
3.4 Оценка успешности использования методов прогнозирования ВНГО для аэропорта Вологды	43
Заключение	55
Список литературы	57
Приложение 1	59

Перечь условных обозначений и сокращений

ВНГО – высота нижней границы облачности

ВПП – взлетно-посадочная полоса

ВС – воздушное судно

ТФ – теплый фронт

Az – антициклон

Cb (Cumulonimbus) – кучево-дождевые облака

Cu (Cumulus) – кучевые облака

Ns (Nimbostratus) – слоисто-дождевые облака

Sc (Stratocumulus) – слоисто-кучевые облака

St (Stratus) – слоистые облака

UTC (Coordinated Universal Time) – Всемирное координированное время

Zn – циклон

Введение

Наличие низкой облачности и высота ее нижней границы, наряду с горизонтальной видимостью, являются критически важными погодными характеристиками, оказывающими существенное влияние на нормальное функционирование авиации. Особенно велико значение этих факторов для этапов взлета и посадки ВС. Взлет обычно выполняется визуально, требуя от пилота сохранения прямолинейности разбега и соблюдения строгих мер безопасности. Если условия для визуального взлета отсутствуют из-за низкой облачности, тумана или сильных осадков, ВС должно быть оснащено специальной аппаратурой, обеспечивающей возможность видеть ВПП. Еще более значительное влияние низкая облачность оказывает на процесс посадки. Посадка в сложных метеорологических условиях, включающих плохую видимость и низкую облачность, считается наиболее трудным и опасным участком полета. К сожалению, значительное количество летных происшествий происходит именно на этапе посадки в подобных условиях. В связи с этим к точности и надежности прогнозов наличия низкой облачности, а также к оценке высоты ее нижней границы, предъявляются крайне высокие требования.

Целью моей работы является анализ особенности образования низкой облачности и оценка эффективности прогнозирования на основе полуэмпирических формул для аэропорта Вологды.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Изучить литературу о процессах образования низкой облачности.
2. Создать архив случаев низкой облачности в аэропорту Вологды.
3. Провести анализ и систематизировать синоптические ситуации, при которых возникает ВНГО 300 м и ниже.
4. Определить ключевые метеорологические параметры и факторы, влияющие на образование низкой облачности в районе аэропорта Вологды.
5. Апробировать методы прогнозирования низкой облачности и выявить наилучшие.

Для достижения поставленных целей в данной работе были использованы данные аэродромных наблюдений с 01.01.2020 по 26.02.2025.

Данная работа состоит из трех разделов.

В первом разделе рассматриваются виды облачности, ее структура и классификация, условия образования, а также влияние низкой облачности на авиацию.

Во втором разделе рассматриваются методики прогнозирования низкой облачности, их особенности и применение в различных ситуациях.

В третьем разделе представлены климатические характеристики аэропорта Вологды и исходные данные, сделаны выводы об условиях образования низкой облачности.

1. Физические характеристики и классификация облаков

Облаком называют видимую совокупность взвешенных в атмосфере и находящихся в процессе непрерывной эволюции капель воды и кристаллов льда. Для описания облаков используются следующие характеристики: количество, форма, ВНГО. Все характеристики, кроме формы облаков, могут быть измерены количественно.

Количество облаков может определяться в баллах или октантах (табл. 1). При балльной оценке небо условно разделяется на 10 частей, и степень закрытия неба облаками оценивается от 0 (ясно) до 10 баллов (сплошная облачность). В случае использования октантов, количество облаков варьируется от 0 до 8 октантов [1].

Таблица 1 – Перевод количества облаков из баллов в октанты

Баллы	Октанты
0 (ясно/безоблачно)	0 (ясно - SKC)
1 (безоблачно)	1 (незначительно/рассеянные облака – FEW)
2-3 (малооблачно)	2 (незначительно/рассеянные облака – FEW)
4 (переменная облачность)	3 (разбросанные/отдельные облака – SCT)
5 (переменная облачность)	4 (разбросанные/отдельные облака – SCT)
6 (переменная облачность)	5 (значительные/разорванные облака – BKN)
7-8 (переменная/значительная облачность)	6 (значительные/разорванные облака – BKN)

9 (значительная облачность)	7 (значительные/разорванные облака – BKN)
10 (сплошная облачность)	8 (сплошная облачность – OVC)

Данные об облачности, представленные в метеорологических сводках METAR и SPECI, должны отражать условия, характерные для аэродрома и его окрестностей. В эти сводки включается информация о количестве, типе облаков и ВНГО, имеющая значение для выполнения полетов. В частности, указывается облачность с ВНГО ниже 1500 метров или ниже верхнего предела минимальной высоты в секторе, а также информация о кучево-дождевых и мощно-кучевых облаках на любой высоте.

1.1. Характеристики облачности

Восходящие движения воздуха способствуют конденсации или сублимации водяного пара в атмосфере, что является причиной образования облаков. В пограничном слое атмосферы конденсация водяного пара происходит главным образом из-за охлаждения воздуха или в результате испарения влаги с поверхности земли или дождевых капель.

Существует несколько механизмов охлаждения воздуха, способствующих образованию облачности. Упорядоченный подъем воздуха в циклонах и ложбинах вызывает адиабатическое охлаждение - около 0,98 °С на каждые 100 метров подъема. Другие факторы включают адвективное охлаждение, возникающее при перемещении воздушной массы над более холодной поверхностью, и радиационное охлаждение земной поверхности, приводящее к потере тепла. Во многих случаях для достижения насыщения воздуха водяным паром и последующей конденсации, с образованием низких облаков, достаточно даже небольшого снижения температуры.

Облака формируются на уровне конденсации, и их состав меняется с высотой. Ниже нулевой изотермы преобладают водяные капли, выше – появляются переохлажденные капли, а затем, на больших высотах, где

температура воздуха от $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$, происходит сублимация и замерзание, приводящие к преобладанию ледяных кристаллов. Важно отметить, что в облаке нет четких границ между жидкими и твердыми фазами воды [2].

Верхняя граница облака определяется уровнем конвекции. Внутри облака постоянно происходят вертикальные движения воздуха, влияющие на температуру, влажность и состояние облачных частиц. Горизонтальное перемещение облаков происходит под воздействием ветра, а турбулентность способствует перемешиванию. Облака окружены ненасыщенным воздухом, вызывающим испарение, которое компенсируется поступлением влаги из восходящих потоков. Существование облаков поддерживается до тех пор, пока сохраняются благоприятные условия для их образования; в противном случае они рассеиваются.

Существуют различные способы классификации облаков. Один из них основан на фазовом состоянии и выделяет три группы.

1. Водяные облака состоят из капель воды, которые могут сохраняться в переохлажденном состоянии даже при отрицательных температурах, обычно в диапазоне от -10 до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Смешанные облака содержат переохлажденные капли и ледяные кристаллы и характерны для температур от -20 до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Ледяные облака, состоящие только из ледяных кристаллов, образуются при низких температурах, обычно от -30 до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Содержание жидкой воды, или водность, в облаках варьируется в широких пределах, от $0,01\text{ г/м}^3$ в верхних слоях до нескольких г/м^3 в мощных облаках [4].

Облака подвергаются классификации по различным критериям. Морфологическая классификация, основанная на внешнем виде, выделяет 10 основных форм облаков. Генетическая классификация учитывает условия и причины образования, разделяя облака на слоистообразные, волнистообразные и кучевообразные типы. Кроме того, существует классификация по

микрофизическому строению, учитывающая агрегатное состояние, тип, размер и распределение облачных частиц.

Несмотря на эти разнообразные подходы, для практических метеорологических наблюдений и прогнозов наиболее распространена морфологическая классификация. Хотя она не дает прямого представления о происхождении или внутреннем строении облаков, форма облаков позволяет косвенно оценить происходящие атмосферные процессы.

В зависимости от ВНГО выделяют три основных яруса: верхний (облака выше 6000 метров), средний (2000-6000 метров) и нижний (до 2000 метров). Отдельно рассматриваются облака вертикального развития, включающие кучевые, мощно-кучевые и кучево-дождевые облака.

1.2. Авиационно-опасные виды облачности

1.2.1. Облака нижнего яруса

Нижний ярус облачности включает в себя облака, находящиеся в диапазоне высот от 30 м до 2 км.

Sc обычно располагаются на высоте 0,5–1,5 км и имеют толщину слоя от 0,2 до 0,8 км. Они состоят в основном из мелких водяных капель (около 5–7 мкм), которые зимой могут быть переохлажденными. Иногда в них встречаются ледяные кристаллы и снежинки [4].

Слоисто-кучевые облака могут наблюдаться одновременно с высококучевыми.

Характерным признаком Sc является их внешний вид, четкая нижняя граница и, как правило, отсутствие или небольшая прерывистая интенсивность осадков.

Среди слоисто-кучевых облаков выделяют два основных вида: волнистообразные (рис. 1) и кучевообразные (рис. 2).



Рисунок 1 – Слоисто-кучевые волнистые (*Stratocumulus undulatus* – Sc un.) [13]



Рисунок 2 – Слоисто-кучевые кучевые (*Stratocumulus cumuliformis* – Sc cuf.)

[13]

St – самые низкие, обычно располагаются на высоте 0,03-0,4 км и имеют толщину 0,1-0,6 км. Они состоят из очень мелких водяных капель около 2-5 мкм, но встречаются и 1-20 мкм [4].

St могут переходить в Sc. В теплое время года разорванно-слоистые облака (St fr.) при прогреве поверхности и развитии конвекции могут трансформироваться в Sc. Важно, что волнистость слоистых облаков выражена слабо из-за большой длины волн и небольшой высоты облаков.

При идентификации St важно учитывать текущие погодные условия, так как они часто формируются в однородных воздушных массах и являются облаками местного происхождения.

Различают три вида слоистых облаков: туманообразные (рис. 3), волнистообразные (рис. 4) и разорванно-слоистые (рис. 5).



Рисунок 3 – Слоистые туманообразные (Stratus nebulosus — St neb) [13]



Рисунок 4 – Слоистые волнистые (Stratus undulatus — St un) [13]

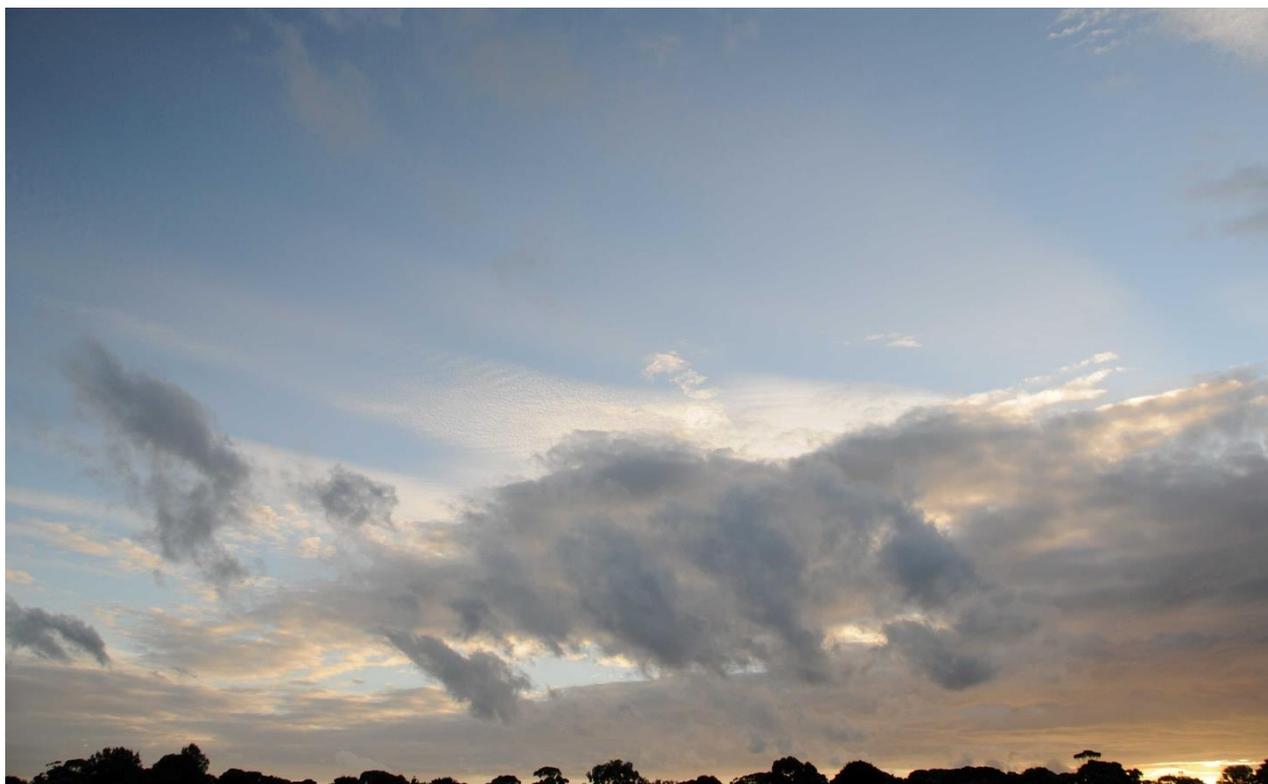


Рисунок 5 – Слоистые разорванные (Stratus fractus — St fra) [13]

Ns, изображенные на рисунке 6, обычно располагаются на высоте 0,5-1,9 км, минимальной у фронта. Толщина слоя варьируется от 2-3 км, хотя может быть и 1-2 км с прослойкой между Ns и вышележащими высокослоистыми (As) [4].



Рисунок 6 – Слоисто-дождевые (Nimbostratus — Ns) [13]

Ns состоят из переохлажденных капель и ледяных кристаллов (вверху – столбики, внизу – пластинки), а в нижней части преобладают мелкие капли с примесью снежинок или крупных капель.

Главный признак Ns – выпадение обложных осадков, что помогает отличить их даже при маскировке разорванно-дождевыми облаками (Frnb). Если осадки не достигают земли из-за испарения, Ns можно отличить от высокостратосферных туманообразных непросвечивающих облаков (As neb. op.) по более темному цвету, непрозрачности и размытости основания.

1.2.2 Облака вертикального развития

Cu и Cb облака, относящиеся к облакам вертикального развития, представляют особую опасность для авиации из-за турбулентности, обледенения и грозовой активности. Однако, данная облачность ниже 300 м обычно не наблюдается.

Высота нижней границы Cu зависит от влажности, в умеренных широтах около 0,6-1,2 км, а вертикальная протяженность – от сотен метров до нескольких километров [4].

Cu состоят из водяных капель, которые при отрицательных температурах переохлаждены.

Основная причина образования Cu – мощные восходящие потоки воздуха из-за неравномерного нагрева поверхности (термическая конвекция). Выделяют три вида кучевых облаков: плоские (рис. 7), средние (рис. 8) и мощные (рис. 9).



Рисунок 7 – Кучевые плоские (*Cumulus humilis* — Cu hum) [13]



Рисунок 8 – Кучевые средние (*Cumulus mediocris* — Cu med) [13]



Рисунок 9 – Кучевые мощные (*Cumulus congestus* — *Cu con*) [13]

Cb обычно имеют нижнюю границу на высоте 0,6-1,2 км, а верхняя может достигать 4-5 км, а иногда и тропопаузы [4].

Выделяют два вида *Cb*: лысые (рис. 10) и волосатые (рис. 11).



Рисунок 10 – Кучево-дождевые лысые (*Cumulonimbus calvus* — *Cb cal*) [13]



Рисунок 11 – Кучево-дождевые волосатые (*Cumulonimbus capillatus* — Cb cap)
[13]

Микрофизический состав Cb включает капли воды размером от нескольких мкм до 1 см, ледяные кристаллы, снежные зерна и град.

Cb легко идентифицировать по темному основанию, ливневым осадкам и волокнистому строению или перистовидной вершине.

2. Методы прогнозирования ВНГО

В специализированной литературе, посвященной метеорологии, наблюдается тенденция к уменьшению предельной ВНГО, определяемых как “низкие”. Если в 1950-х годах к низкой облачности относили облака с высотой нижней границы 300 м и ниже, то в 1980-х этот предел снизился до 200 м, а в настоящее время – до 100 м. Данная динамика не является ошибочной, а отражает изменение критериев, связанных с «минимумом погоды» [1].

Минимум погоды – это предельные значения ВНГО или высоты принятия решения и видимости/дальности видимости на ВПП, необходимые для безопасного взлета, полета, захода на посадку и ВС.

Со временем требования к минимуму погоды меняются, что связано с развитием авиационной техники, навигационного оборудования, квалификации

летного состава и метеорологического обеспечения. Поэтому перед метеорологами стоит задача точного прогнозирования ВНГО, с погрешностью не более 100 метров.

Со временем требования к минимуму погоды меняются, обусловлено это рядом таких факторов, как развитие авиационной техники и навигационного оборудования, повышение квалификации летного состава и совершенствование метеорологического обеспечения авиации. В связи с этим, перед нами, метеорологами, стоит задача освоить методы прогнозирования ВНГО с точностью до 100 м и ниже.

Для прогнозирования ВНГО применяются преимущественно синоптико-статистические методы, использующие статистические зависимости, основанные на многолетних наблюдениях в конкретном регионе для повышения точности.

2.1. Прогноз низкой облачности по методу А.К. Лугченко

Для прогнозирования низкой облачности, формирующейся при адвекции тепла, используется график, разработанный А.К. Лугченко (рис. 12).

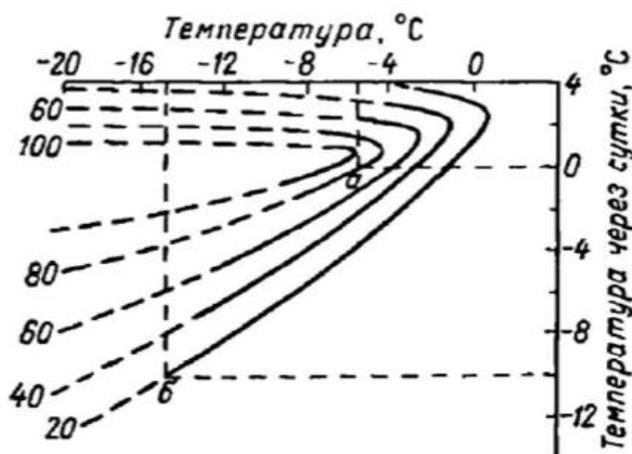


Рисунок 12 – График А.К. Лугченко для определения вероятности появления внутримассовых облаков высотой 200 м и ниже на северо-западе ЕЧР [3]

Метод прогноза использует в качестве предикторов текущую температуру воздуха на метеостанции (исходная точка) и её прогнозное значение через 24 часа. Он особенно эффективен при прогнозировании облачности, связанной с

адвекцией тепла: чем ниже начальная температура и выше прогнозируемая, тем больше вероятность образования низкой облачности.

2.2. Прогноз ВНГО методом Е.И. Гоголевой

Для прогнозирования ВНГО также используется график, разработанный Е.И. Гоголевой (рис. 13). Этот метод эффективен при медленных изменениях синоптической обстановки и хорошо выраженном переносе воздушных масс.

В качестве предикторов в этом методе используются: текущая температура воздуха в точке прогноза (T_0) и температура точки росы в начале траектории воздушной частицы (T_d'). Оптимальный срок прогноза – 9 часов, но при необходимости можно составить прогноз и на 12 часов.

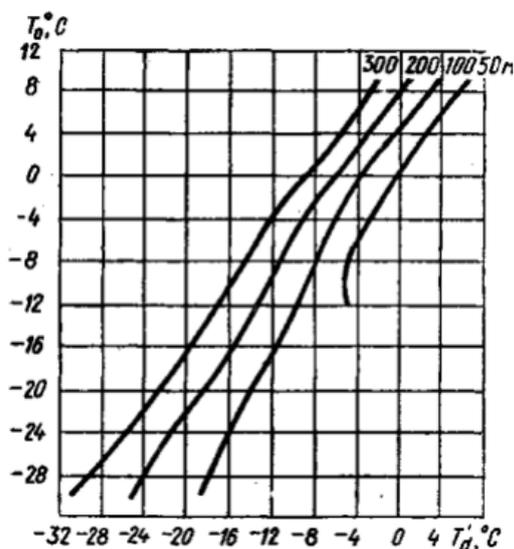


Рисунок 13 – График для прогноза ВНГО по методу Е.И. Гоголевой [1]

Для прогнозирования низкой облачности К.Г. Абрамович предложил ряд критериев: при адвекции тепла и изменении температуры воздуха более чем на 4°C за 12 часов ожидается понижение облачности, а при адвекции холода – повышение. При изменении температуры на 6°C и более за 12 часов, в случае адвекции тепла происходит образование или резкое понижение облачности, а при адвекции холода – повышение или рассеяние облаков.

Для прогнозирования ВНГО на срок до 12 часов можно использовать график, представленный на рисунке 14.

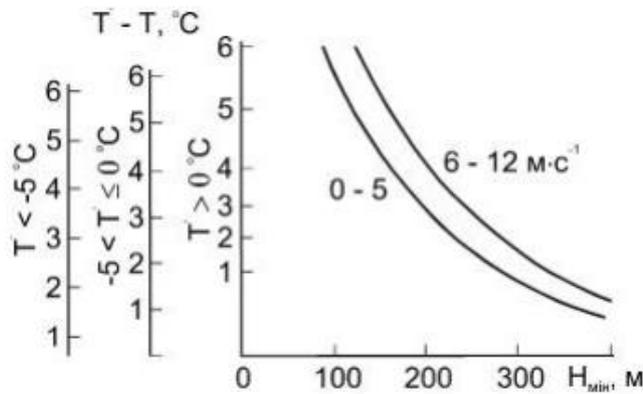


Рисунок 14 – График для прогноза минимальной ВНГО [1]

На графике по вертикальной оси отображается адвективное изменение температуры у земли ($T'-T$) за период прогноза. Наклонные линии учитывают прогноз скорости ветра у земли, а значение ВНГО определяется по горизонтальной оси.

График на рисунке 15 позволяет оценить вероятность формирования облаков с ВНГО менее 300 метров в холодное время года.

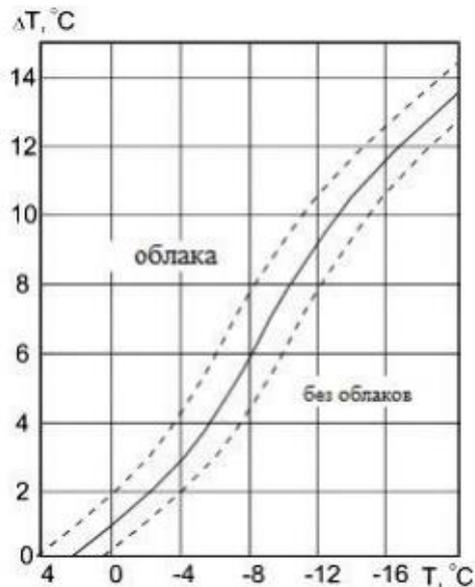


Рисунок 15 – График для прогноза облачности с высотой 300 м и ниже при адвекции тепла в зимний период [1]

Текущая температура у поверхности (T) отображена по горизонтальной оси, а ожидаемый нагрев (ΔT) - по вертикальной. График разделен на две области. Если точка, соответствующая значениям T и ΔT , попадает в область «Облака», то

прогнозируется наличие низкой облачности. В противном случае прогнозируется отсутствие низкой облачности

2.3. Прогноз ВНГО методом В.М. Ярковой

Для прогнозирования ВНГОво фронтальной зоне используется метод В.М. Ярковой (рис. 16), основанный на графиках, построенных по данным наблюдений в аэропорту Толмачево (Новосибирск). Для каждого сезона выделены зоны с высотой облаков менее 100 м, 101-200 м, 201-300 м и более 300 м [3].

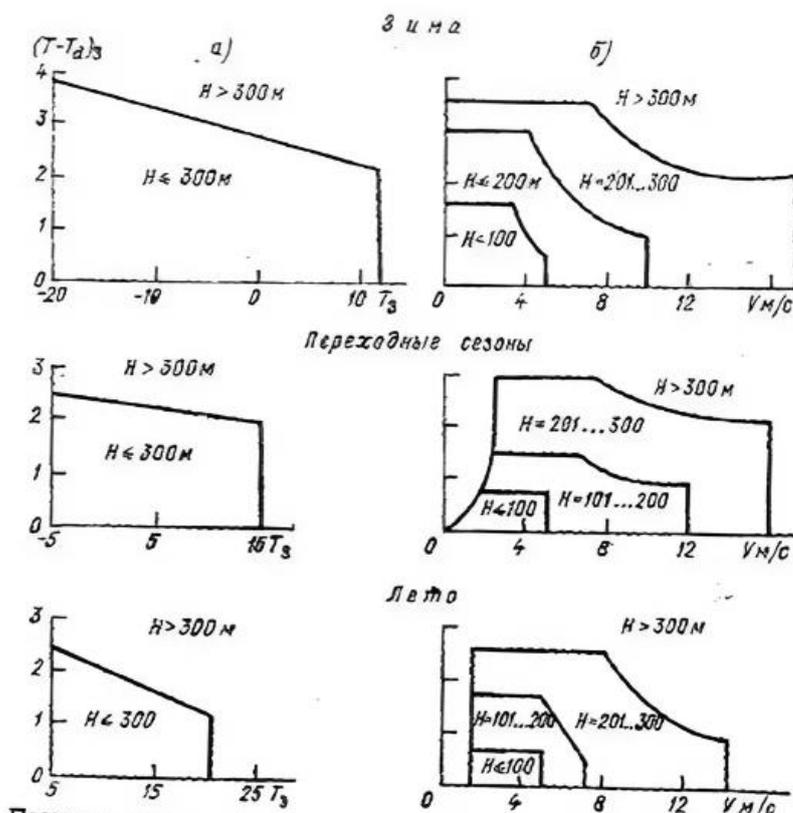


Рисунок 16 – Прогностические графики для расчета нижней границы фронтальной облачности методом Ярковой В.М. [6]

Сначала необходимо определить положение и скорость смещения фронта, а также температурные контрасты. Далее определяется район поступления воздушной массы, значения температуры, точки росы и ожидаемая сила ветра. Вероятность понижения облаков до 300 м и ниже оценивается по рисунку 16, а. По рисунку 16, б определяется прогнозируемая высота. Точность прогноза высоты увеличивается при скорости фронта до 30 км/ч или расстоянии до фронта

не более 300 км. Надежность прогноза конкретной высоты ниже 300 м выше при наличии задерживающего слоя с растущей или постоянной влажностью и усилением ветра с высотой (10-16 м/с на границе). В противном случае прогнозируемую высоту следует увеличить в 1,5 раза.

2.4. Прогноз ВНГО по полуэмпирическим формулам

Для определения ВНГО наибольшее распространение получили следующие формулы:

$$H = 24(100 - f) \text{ формула Ипполитова}$$

$$H = 122(T - T_d)_0 \text{ формула Ферреля}$$

$$H = 122(T - T_d)_0 - m \text{ модифицированная формула Ферреля}$$

Во всех этих формулах H – ВНГО, м; T – температура воздуха у земли, °С; T_d – температура точки росы у поверхности земли, °С; f – относительная влажность, %; m – коэффициент, учитывающий наличие осадков. При мороси $m = 80$, при других видах осадков $m = 50$ и $m = 0$ при отсутствии осадков [1].

Формулы получены путём обработки своего ряда наблюдений, и отличаются только коэффициентами.

3. Исходные материалы и их обработка

3.1. Физико-географическое и климатическое описание аэропорта Вологды

Вологодская область обладает умеренно-континентальным климатом, который характеризуется коротким и теплым, но влажным летом, продолжительной и дождливой осенью, длительной многоснежной холодной зимой и короткой весной. На протяжении всего года область подвержена влиянию циклонов арктического фронта. Часто приток тропического или арктического воздуха приводят к аномальным изменениям температуры в течение сезона и оказывают влияние на погоду в целом. Холмистость района также способствует перераспределению влаги и тепла в зависимости от высоты и крутизны склона.

У города Вологда имеется 3 аэропорта, один из них «Вологда».

Географические координаты контрольной точки аэродрома: 59° 16' 54" с.ш.
039° 56' 41" в.д.

Направление и расстояние от центра города: 8 км севернее г. Вологда.

Абсолютная высота/расчетная температура: 388 фт/118 м/+2,4 °С

Волна геоида в месте превышения аэродрома: 41 фт/12,5 м

Магнитное склонение/годовые изменения: 10°В (2025)/8.8'В

Разность между местным и UTC составляет 3 часа [10].

Лётное поле аэропорта «Вологда» имеет форму неправильного многоугольника с наибольшими размерами 2140x300 метров. На аэродроме имеется искусственная взлётно-посадочная полоса размером 1500x42 метров, класса "В" с искусственным покрытием. Установленные магнитные курсы посадки 150 и 330 градусов. Превышение аэродрома + 118,37 м. Светосигнальное оборудование: для обеспечения полётов ВС ГА с МКП=150° и МКП=330° оборудована комплексом светосигнального оборудования ОМИ М-2 (системой визуальной индикации глиссады PAPI).

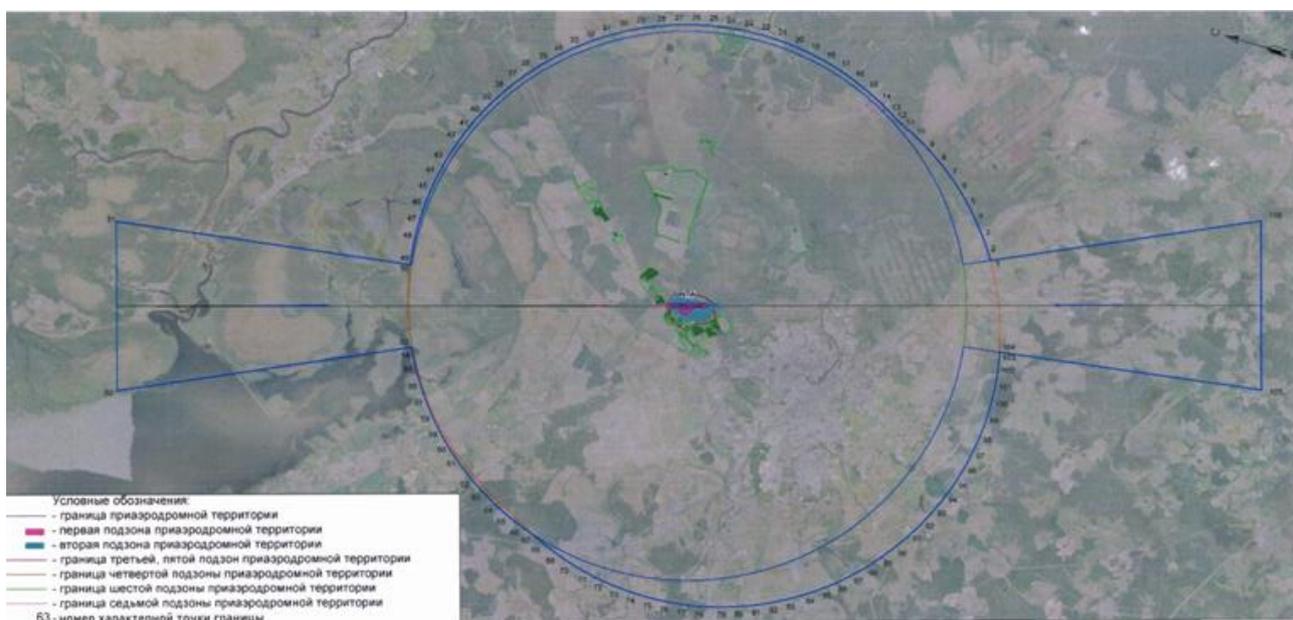


Рисунок 17 – Графическое изображение границы приаэродромной территории аэродрома гражданской авиации Вологда [9]

Климат в аэропорту Вологды характеризуется следующими особенностями:

- Температура. Теплый сезон – среднесуточная температура выше 17°C – длится с 20 мая по 31 августа, самый теплый месяц – июль (максимум около 22°C, минимум около 12°C). Холодный сезон – среднесуточная температура ниже -2°C – длится с 17 ноября по 8 марта, самый холодный месяц – январь (минимум около -14°C, максимум около -7°C).
- Осадки. За период с 1938 по 2025 гг. среднегодовое количество – 570 мм. Преобладают дождь с 22 марта по 15 ноября (максимум дней в июне) и снег с 15 ноября по 22 марта (максимум дней в декабре). Наибольшее количество осадков зафиксирован в 2019 г. (792 мм), минимальное – в 1944 г. (342 мм).
- Влажность. Средняя годовая относительная влажность – 80%. Наибольшая влажность – с ноября по январь (87%), наименьшая – в мае (65%).
- Ветер. Преобладают южное и юго-западное направления. Среднегодовая скорость – 3 м/с. Штили – летом.
- Облачность. Общая облачность – около 7 баллов, максимум осенью и зимой. Количество облаков нижнего яруса – 4,5 балла. Ясных дней: около 19 (общая облачность), около 100 (нижняя облачность). Пасмурных дней: 186 (общая облачность), 67 (нижняя облачность).
- Прочие явления. В среднем за год наблюдается 46 дней с туманом, 23 дня с грозой преимущественно в июне-июле.

Минимальные условия погоды, необходимые для взлета и посадки, зависят от типов воздушных судов и возможностей их оборудования, оборудования аэродрома, условий подхода к нему, подготовленности летного состава и других факторов, влияющих на безопасность [11].

3.2. Исходные данные

Исходными данными для исследования послужили метеорологические наблюдения, проводившиеся каждые три часа на метеорологической станции Вологда (аэропорт) в период с 1 января 2020 по 26 февраля 2025 года. Исходя из общего количества учтенных дней (1884), теоретически должно было быть

зарегистрировано 15072 срока. Однако, в процессе анализа данных, были выявлены пропущенные сроки, указанные в Приложении 1.

Таким образом, всего было проанализировано 14929 сроков наблюдений, однако лишь в 523 случаях/сроках была зафиксирована низкая облачность с высотой нижней границы 300 метров и менее [13].

Основными видами низкой облачности в районе аэропорта Вологды являются слоистые туманообразные (St neb.), разорванно-слоистые (St fr.) и слоисто-кучевые (Sc). Часто слоистые туманообразные облака наблюдаются в сочетании с разорванно-слоистыми.

Дополнительно, были проанализированы сопутствующие погодные явления в сроки, когда наблюдалась низкая облачность (рис. 18). Нередко низкая облачность сопровождается осадками в виде снега – 137 случаев и дождя – 92 случаев. В отдельные дни отмечался мокрый снег – 19 случаев. Также облачность нередко наблюдалась совместно с дымкой – 116 случаев. Довольно часто низкая облачность сопровождалась моросью (79 случая), реже туманом (16 случаев). В течение рассматриваемого периода было отмечено 64 дня, когда не наблюдалось никаких погодных явлений.

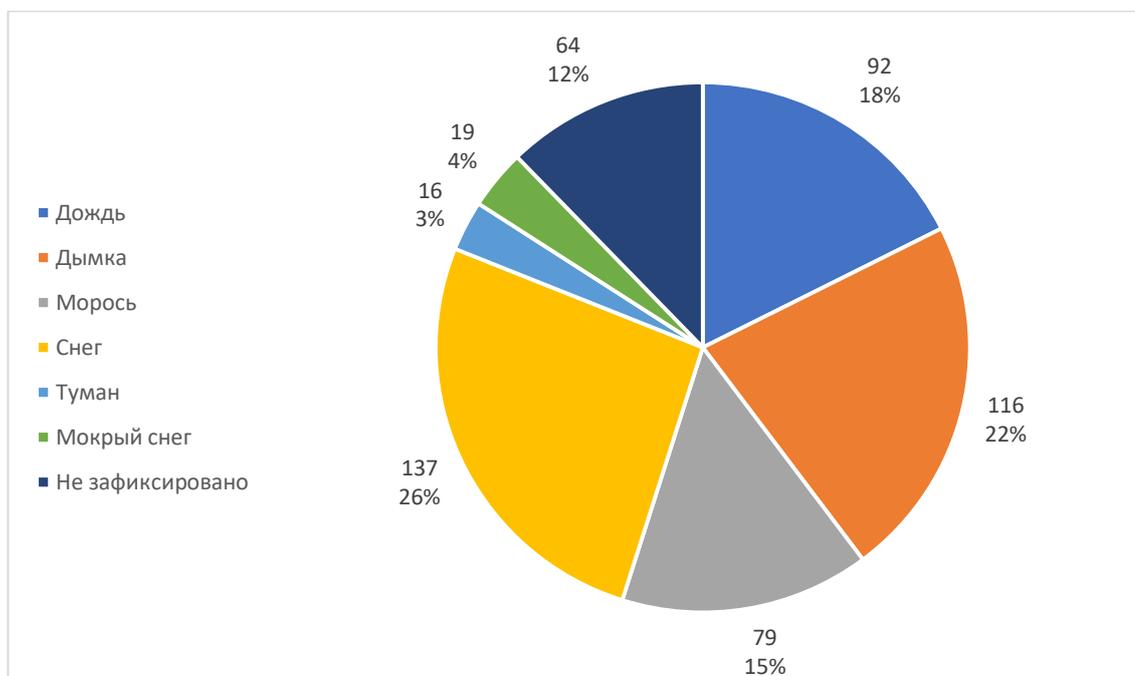


Рисунок 18 – Сопутствующие погодные явления при ВНГО 300 м и ниже на аэродроме Вологды

Как видно из рисунка 19, повторяемость низкой облачности в аэропорту «Вологда» имеет четко выраженный годовой ход с максимумом в январе (20,5% от общего числа рассмотренных случаев) и минимумом в июне (менее 1% от общего числа рассмотренных случаев).

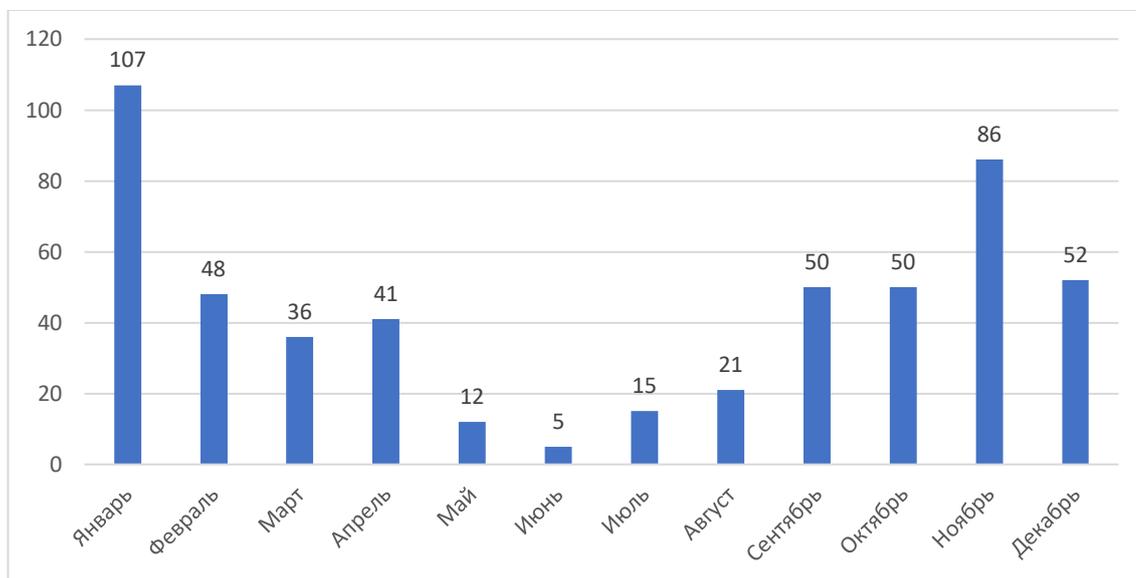


Рисунок 19 – Многолетний ход случаев ВНГО до 300 м

Столь значительная повторяемость низкой облачности в холодное полугодие обусловлена взаимосвязанным влиянием термических, синоптических и орографических факторов [2].

Во-первых, в результате интенсивного радиационного выхолаживания земной поверхности в ночные и утренние часы формируются приземные инверсии температуры, которые препятствуют вертикальному перемешиванию воздуха и способствуют конденсации водяного пара у земли, приводя к образованию низкой облачности.

Во-вторых, в холодный период наблюдается более частая циклоническая активность, приносящая с собой атмосферные фронты и зоны повышенной облачности (многослойность и бóльшая плотность облаков). Преобладание адвекции холодного воздуха над относительно более теплой поверхностью также способствует образованию тумана и низкой облачности.

В-третьих, орографические особенности создают благоприятные условия для образования низкой облачности в районе аэропорта Вологды. Холмистый

рельеф приводит к перераспределению влаги и тепла. Холмы и низменности могут создавать микроклиматические зоны, где происходит аккумуляция холодного воздуха в низинах. Это, в свою очередь, способствует образованию приземных инверсий, препятствующих вертикальному перемешиванию воздуха и способствующих конденсации влаги у земли. Преобладание небольших низменностей и возвышенностей усиливает вышеупомянутый эффект. Низменности служат ловушками для холодного и влажного воздуха, а возвышенности могут влиять на ветровой режим.

Рассмотрим ситуацию за каждый год, кроме 2025 г. В 2020 году общее количество сроков с зафиксированной низкой облачностью составило 155 (рис. 20). Наибольшее количество случаев низкой облачности отмечено в ноябре – 29 случаев и декабре – 28 случаев, что составляет 18,7% от годового количества. Также значительное количество наблюдалось в марте – также 28 случаев, что соответствует периоду весеннего межсезонья. В начале года количество случаев также относительно высоко: январь (19) и февраль (9). Летние месяцы, напротив, характеризуются минимальной частотой: июнь – 1 случай и май – 3 случая. Умеренные значения демонстрируют апрель (7), июль (9), август (6) и сентябрь (6). Октябрь (10) показывает тенденцию к увеличению частоты с приближением к зимнему периоду.

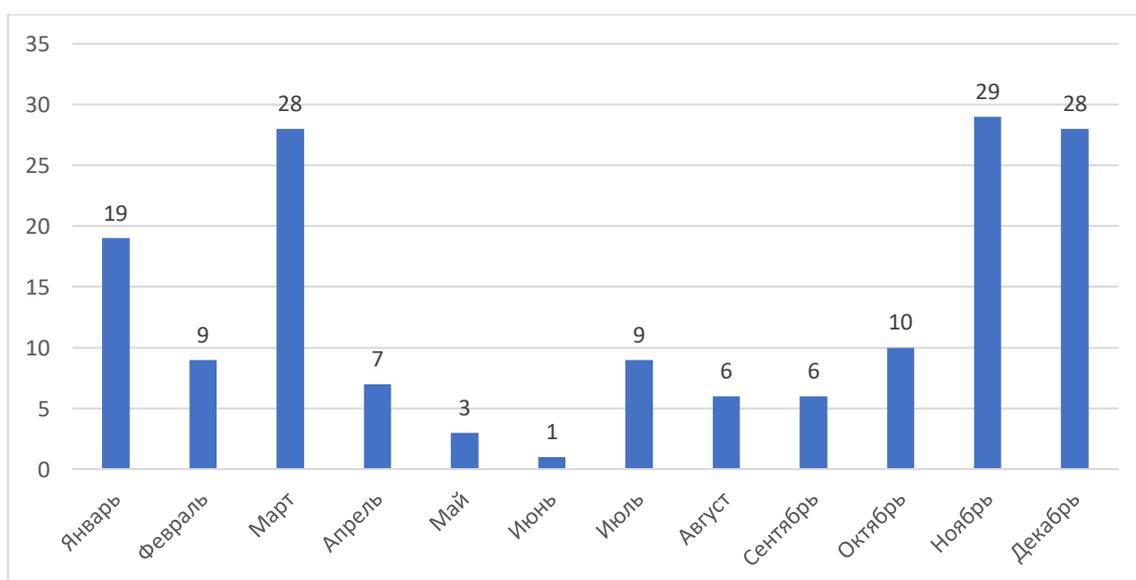


Рисунок 20 – Годовой ход случаев ВНГО до 300 м в аэропорту Вологды (2020 г.)

Данное распределение, вероятно, обусловлено из-за повышенной влажности, температурных инверсий и циклонической активности в зимний период. Летом, напротив, активная конвекция поднимает теплый воздух, способствуя образованию облаков на большей высоте и снижая частоту низкой облачности.

В 2020 году было отмечено 138 случаев, когда низкая облачность наблюдалась в сочетании с другими погодными явлениями (рис. 21). Дождь наблюдался относительно равномерно в течение года, с небольшим преобладанием весной и осенью. Дымка чаще всего отмечалась в марте – 13 случаев, а также в ноябре и декабре. Морось также имела тенденцию к учащению в осенне-зимний период. Снег, как ожидается, являлся типичным зимним явлением, с наибольшим количеством случаев в ноябре, декабре, январе и феврале. Туман, в свою очередь, фиксировался исключительно в холодные месяцы. Мокрый снег был редким явлением, отмеченным лишь несколько раз за год (4 случая).

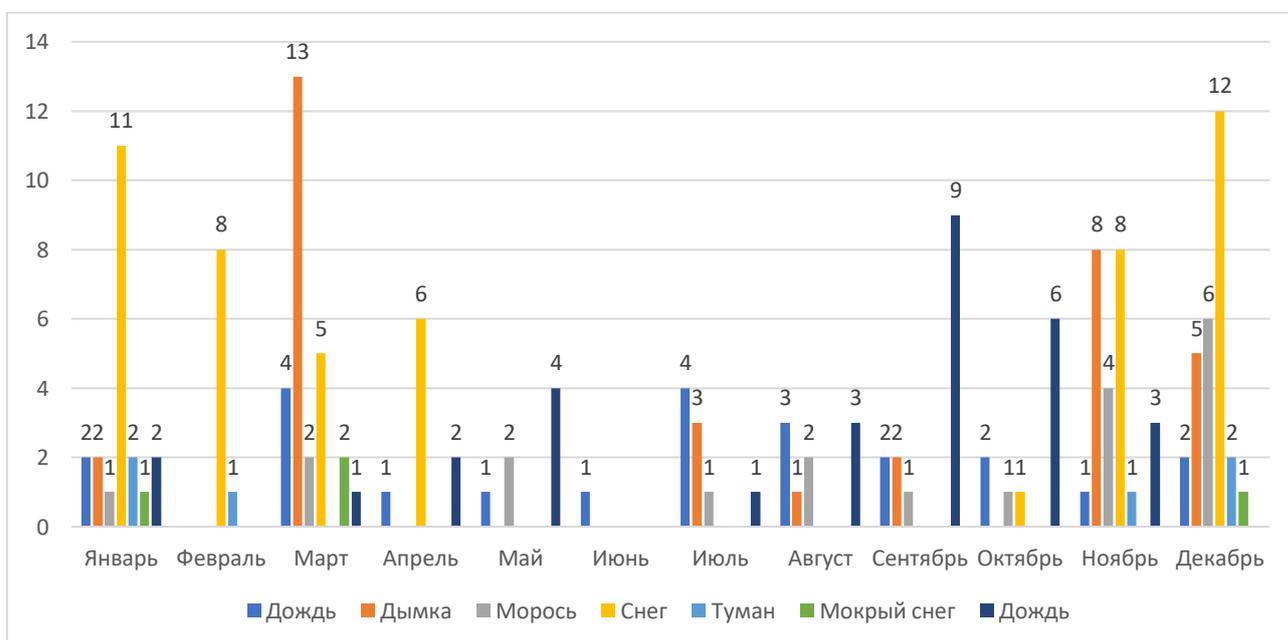


Рисунок 21 – Годовой ход явлений погоды, сопутствующих низкой облачности в аэропорту Вологды (2020 г.)

В 2021 году зафиксировано 135 случаев наблюдения низкой облачности (рис. 22). Распределение по месяцам крайне неравномерное, с ярко выраженным

пиком в январе – 47 случаев. После резкого спада в феврале – 2 случая, частота остается низкой в течение большей части года. Начиная с сентября – 18 случаев, наблюдается постепенное увеличение частоты низкой облачности к концу года. В ноябре количество сроков наблюдения низкой облачности достигло 21.

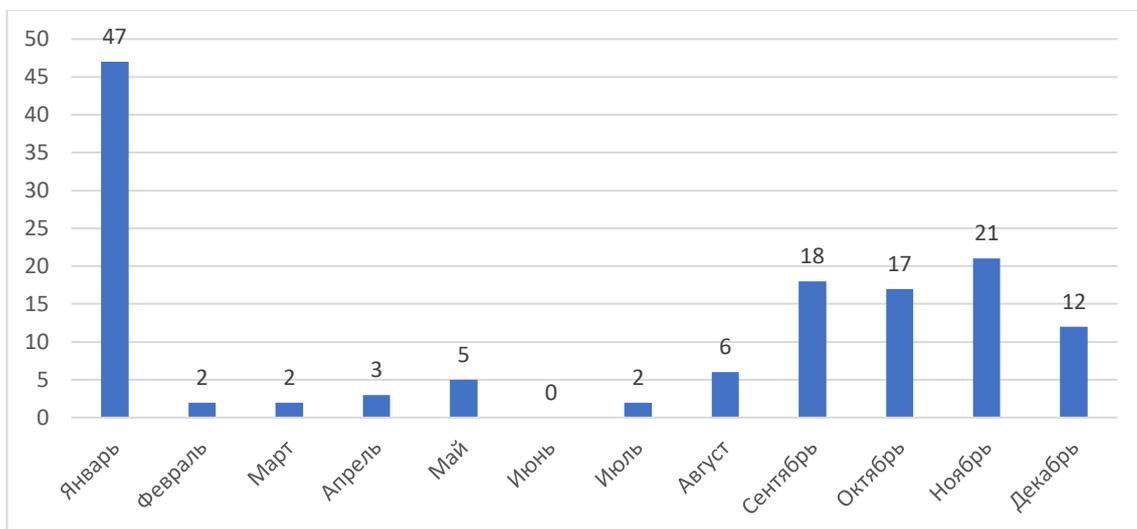


Рисунок 22 – Годовой ход случаев ВНГО до 300 м в аэропорту Вологды (2021 г.)

В 2021 году было отмечено 123 случая, когда низкая облачность наблюдалась в сочетании с другими погодными явлениями (рис. 21).

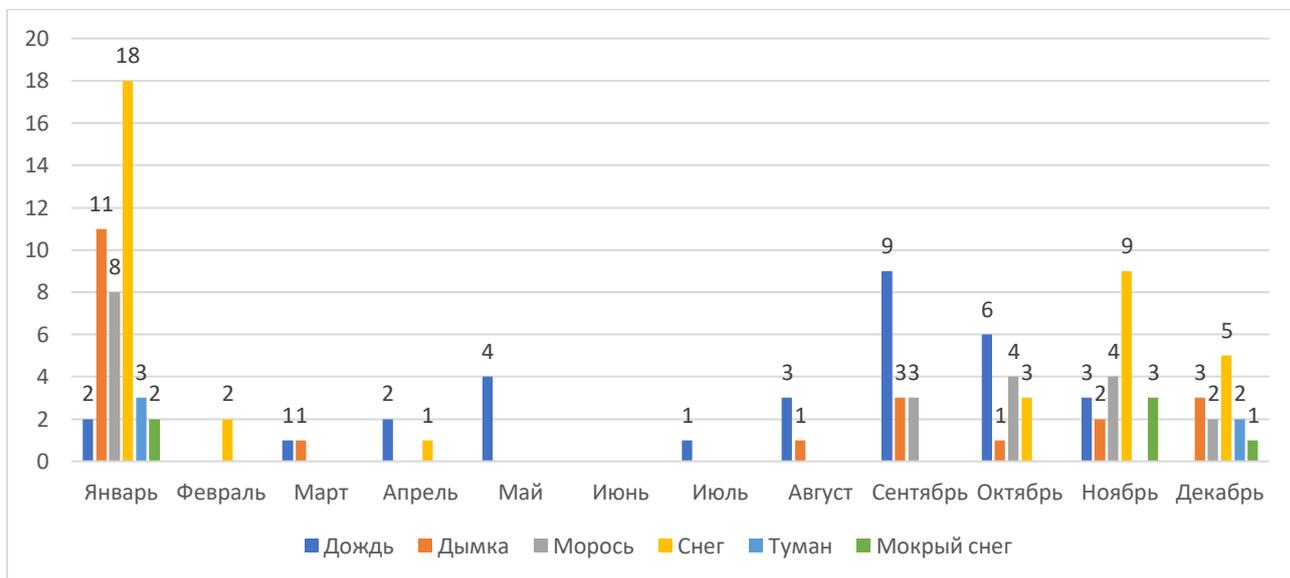


Рисунок 23 – Годовой ход явлений погоды, сопутствующих низкой облачности в аэропорту Вологды (2021 г.)

Дождь наблюдался в течение всего года, с наиболее частыми случаями в сентябре – 9 случаев и октябре – 6 случаев. Дымка была относительно редким явлением, за исключением выраженного пика в январе – 11 случаев. Морось, в

основном, отмечалась в осенне-зимний период, с наибольшей частотой также в январе – 8 случаев. Снег также имел пик в январе – 18 случаев и ноябре – 9 случаев, что ожидаемо для зимнего времени года. Туман наблюдался только в январе и декабре, а мокрый снег – преимущественно в зимний период.

В 2022 году зафиксировано 87 случаев наблюдения низкой облачности (рис. 24). Самым облачным месяцем оказался сентябрь – 25 случаев, за которым с большим отрывом следуют ноябрь – 14 случаев и январь – 13 случаев. С февраля по август количество случаев было незначительным, а в мае и вовсе не было зафиксировано низкой облачности. Однако, в апреле отмечалось 12 случаев низкой облачности. Следует отметить, что замечен значительный спад количества дней с низкой облачностью по сравнению с предыдущими двумя годами.

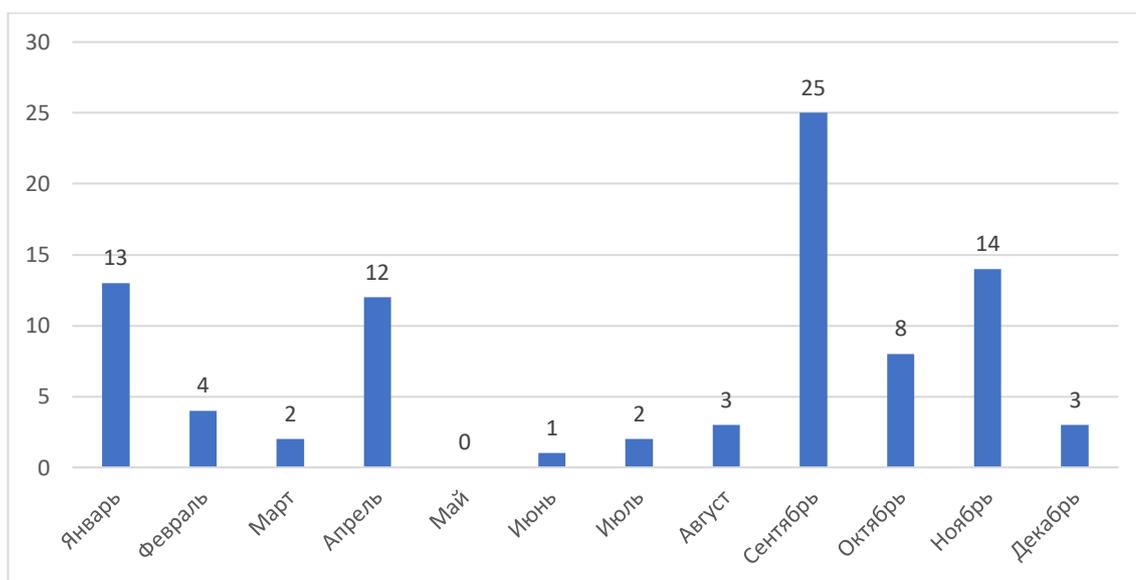


Рисунок 24 – Годовой ход случаев ВНГО до 300 м в аэропорту Вологды (2022 г.)

Согласно анализу совместно явлений и низкой облачности в 2022 году (рис. 25), дождь чаще всего наблюдался в сентябре – 10 случаев и октябре – 6 случаев, а реже – в июне, августе и ноябре – по 1 случаю. Максимальное количество случаев дымки было зафиксировано в январе – 8 случаев, также она отмечалась в апреле и сентябре – 6 и 5 случаев соответственно. Морось чаще всего встречалась в сентябре – 8 случаев, реже – в июле и ноябре – по 2 случая. Снег

был распределен равномерно в течение зимнего периода. Важно отметить, что в 2022 году не было зафиксировано случаев тумана и мокрого снега.

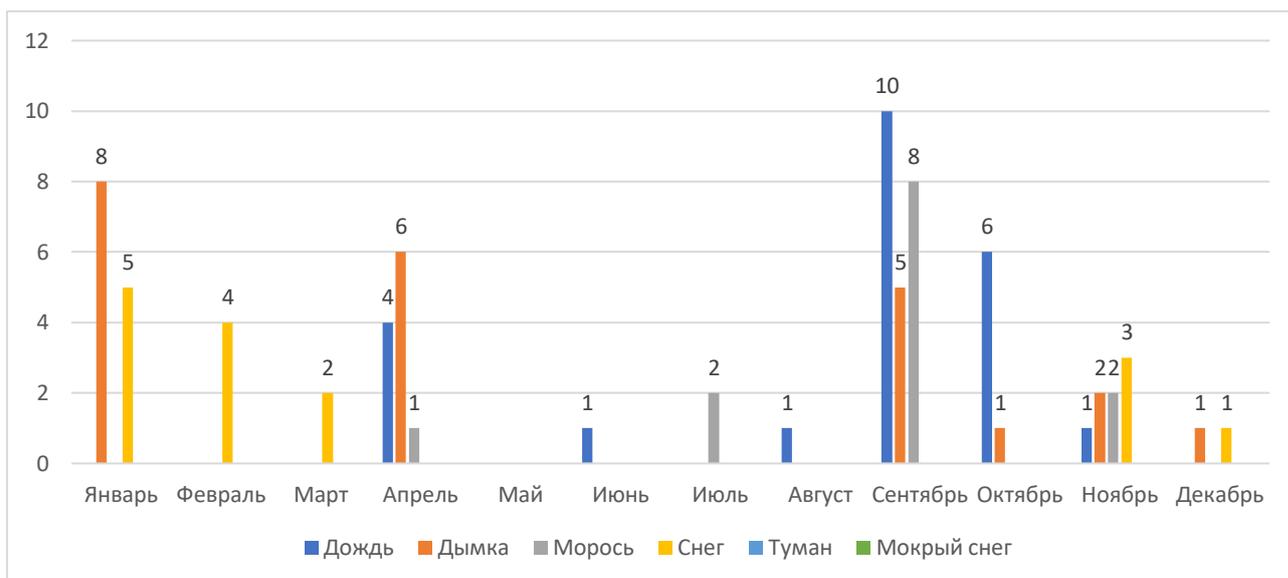


Рисунок 25 – Годовой ход явлений погоды, сопутствующих низкой облачности в аэропорту Вологды (2022 г.)

В 2023 году зафиксировано 74 случая наблюдения низкой облачности (рис. 26). Самым облачным месяцем оказался апрель – 19 случаев, за ним ноябрь и январь – 13 и 12 случаев соответственно. С май по октябрь количество случаев было незначительным. Следует отметить, что количество дней с низкой облачностью снова уменьшилось.

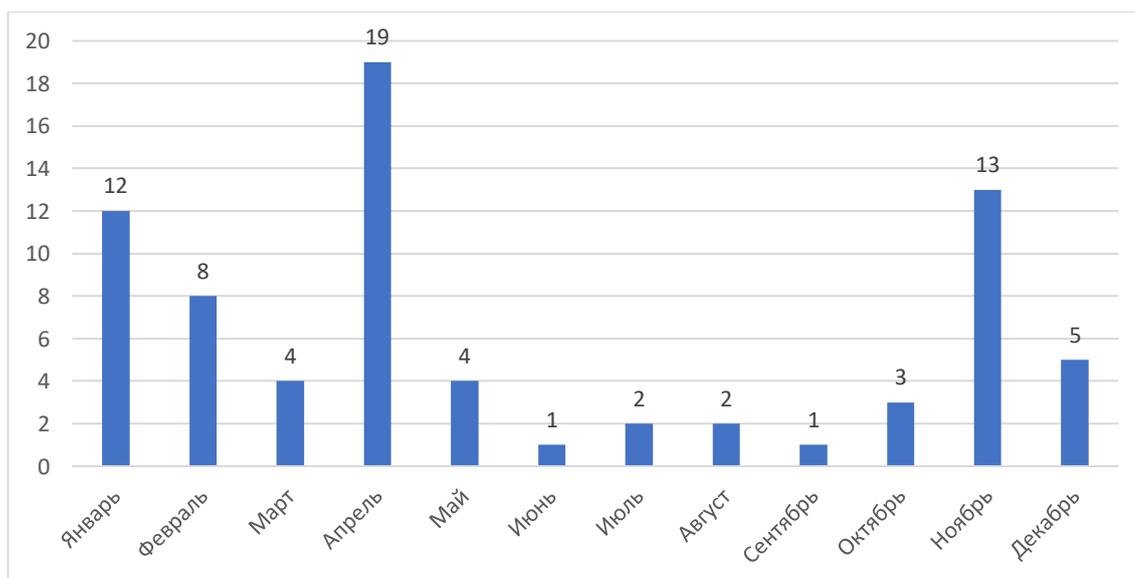


Рисунок 26 – Годовой ход случаев ВНГО до 300 м в аэропорту Вологды (2023 г.)

Анализ совместных явлений с низкой облачностью в 2023 году (рис. 27) показывает, что дождь встречался преимущественно в весенне-летний и осенний периоды. Дымка отмечалась чаще в весенние месяцы с пиком в апреле – 8 случаев. Максимальное количество случаев мороси зафиксировано также в апреле – 7 случаев, еще она отмечалась поздней осенью. Снег наблюдался преимущественно в зимние месяцы с пиком в феврале – 7 случаев. Туман отмечался лишь один раз в апреле, а мокрый снег – с ноября по январь.

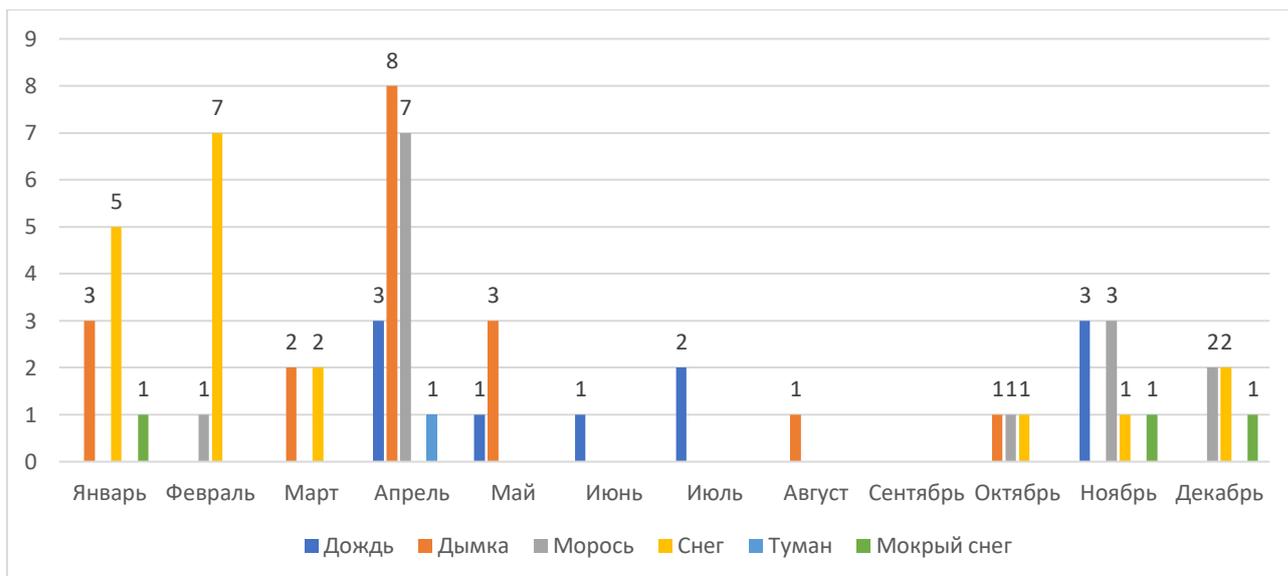


Рисунок 27 – Годовой ход явлений погоды, сопутствующих низкой облачности в аэропорту Вологды (2023 г.)

В 2024 году зафиксировано всего 41 случай наблюдения низкой облачности (рис. 28). Самым облачным месяцем оказался октябрь – 12 случаев, за ним ноябрь и февраль – по 9 случаев. В остальные месяцы количество случаев наличия низкой облачности было незначительным. Этот год характеризуется минимальным количеством зафиксированных случаев низкой облачности.

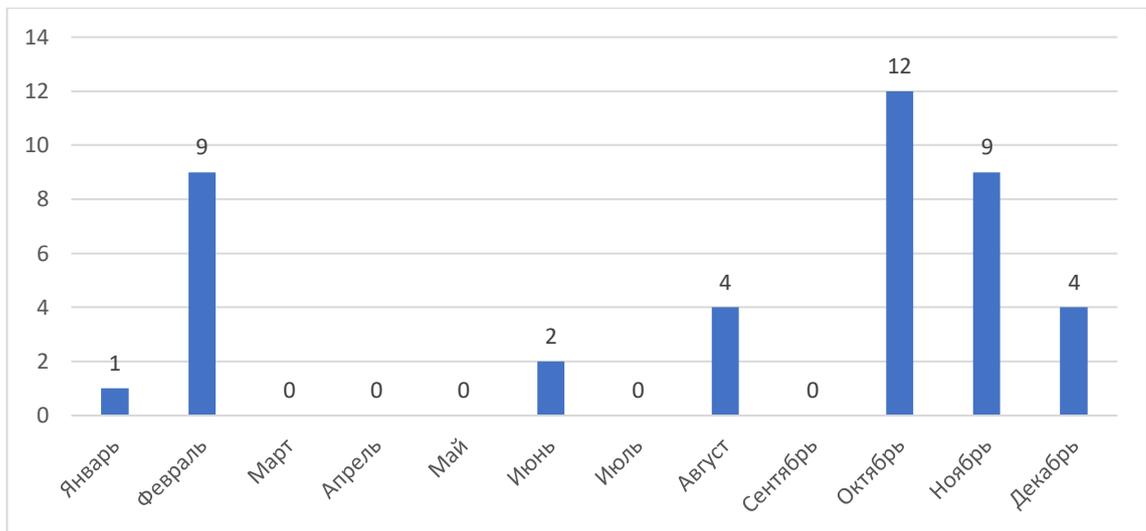


Рисунок 28 – Годовой ход случаев ВНГО до 300 м в аэропорту Вологды (2024 г.)

Анализ совместно явлений и низкой облачности в 2024 году (рис. 29), показал следующую картину: дождь чаще всего наблюдался с августа по декабрь, за исключением сентября. Дымка также наблюдалась редко – в июне, августе и ноябре. Морось отмечалась лишь в октябре и ноябре. Чаще всего наблюдался снег – 13 случаев из общего числа – с пиком в феврале (8 случаев). Туман отмечался один раз в декабре, а мокрый снег – в октябре и ноябре.

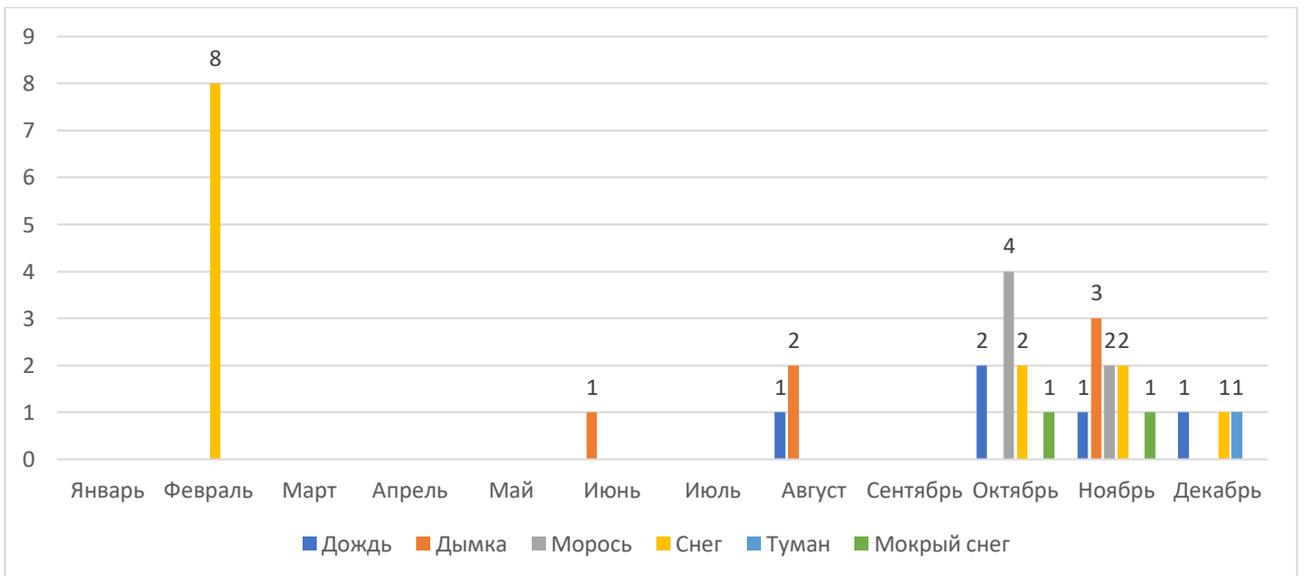


Рисунок 29 – Годовой ход явлений погоды, сопутствующих низкой облачности в аэропорту Вологды (2024 г.)

Анализ повторяемости низких облаков (табл. 2) показывает, что в большинстве случаев низкая облачность наблюдается в утренние часы, а рассеивание происходит преимущественно с 12 до 21 часов.

Таблица 2 – Повторяемость облаков с ВНГО ≤ 300 м в различные часы суток

Время	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	11	1	6	4	3	1	7	0	5	4	12	4
3	13	2	7	6	3	1	2	0	9	5	11	4
6	15	11	7	5	3	2	4	6	10	10	7	7
9	24	9	4	7	0	0	5	6	8	12	11	11
12	9	8	1	6	2	0	1	1	4	5	12	10
15	14	7	2	3	0	0	0	1	4	6	11	7
18	12	8	2	5	0	0	0	3	6	6	15	5
21	9	2	7	5	1	1	2	4	4	2	7	4

В итоге, за период с 1 января 2020 года по 26 февраля 2025 года была выявлена следующая частота регистрации случаев низкой облачности в зависимости от времени суток (UTC): 00:00 – 52 случая, 03:00 – 63 случая, 06:00 – 87 случаев, 09:00 – 97 случаев, 12:00 – 59 случаев, 15:00 – 55 случаев, 18:00 – 62 случая, 21:00 – 48 случаев. Пик приходился на утренние часы и связано это было преимущественно с рассеиванием радиационных туманов.

Для более наглядного примера, результаты представлены в гистограмме (рис. 30). Обобщим выводы для каждого времени года и возможные причины разброса значений.

Зима (январь). Пик повторяемости низкой облачности приходится на утро (6:00-9:00). Преобладают устойчивые инверсии, длительное выхолаживание, короткий световой день.

Весна (апрель). Суточный ход выражен слабо. Увеличено поступление солнечной радиации и случаев развития конвекции. Колебания температуры и влажности в течение суток менее выражены.

Лето (июль). Низкая облачность наблюдается редко, но пик приходится на утренние часы.

Осень (октябрь). Появляется утренний пик (6:00-9:00), как и зимой, но выражен слабее. Постепенное увеличение повторяемости в течение дня.

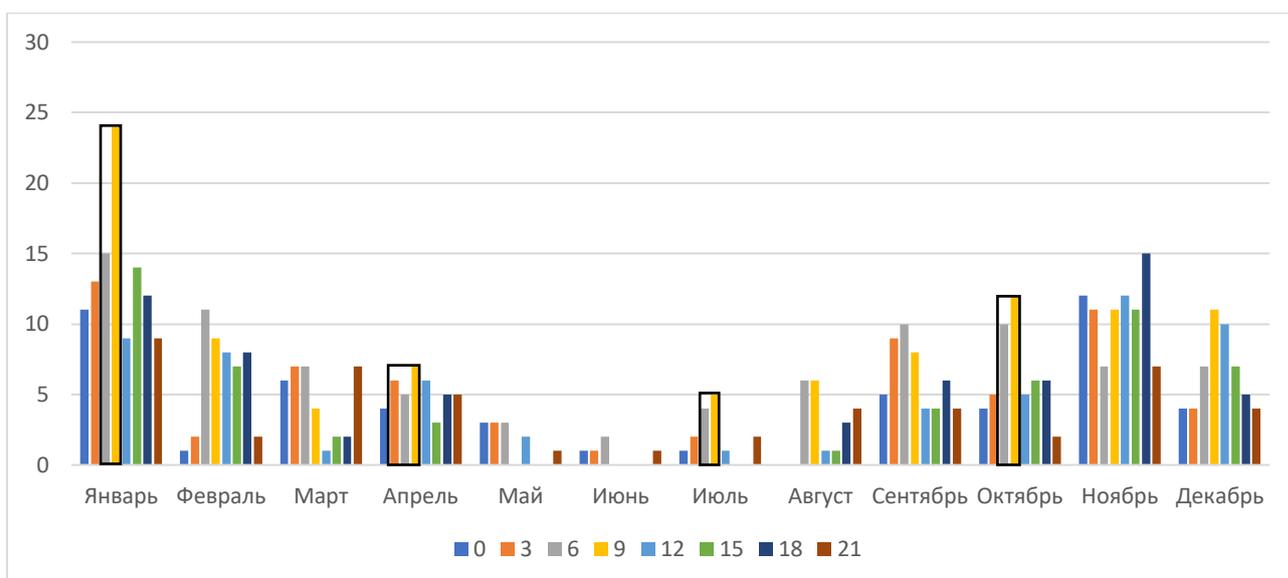


Рисунок 30 – Повторяемость облаков с ВНГО 300 м и менее в различные часы суток

В районе аэропорта «Вологда» низкая облачность в разные года наблюдается при разных направлениях ветра. Однако, чаще всего при ветрах южной четверти (Ю, ЮЗ, ЮВ). Скорость ветра, как правило, невелика и составляет около 4-5 м/с.

При развитии низкой облачности в дневные часы дефицит точки росы у поверхности земли (D_3) чаще всего колеблется в пределах от 0 до 2°C. В случаях, когда D_3 не менее 3°C, низкая облачность наблюдается редко (табл. 3).

Таблица 3 – Повторяемость значений D_3 при наличии низкой облачности

$D_3, ^\circ\text{C}$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0-2	98	42	33	38	11	4	14	20	46	43	85	50
$2 < D_3 \leq 3$	9	6	1	3	0	0	1	0	2	3	0	2
$3 < D_3 \leq 4$	0	0	1	0	0	1	0	0	2	3	0	0
>4	0	0	1 (7,1)	0	1 (~6)	0	0	1 (10,8)	0	1 (4,3)	1 (4,7)	0

Синоптические карты Гидрометцентра России и данные атмосферного зондирования аэрологической станции Вологда (27038) применяются для анализа синоптических условий, способствующих формированию низкой облачности.

При исследовании синоптических процессов, способствующих появлению низкой облачности, рассматривался период с января по 26 февраля 2025 года, когда наблюдалась низкая облачность. Основываясь на данных, установлено, что в этот период в районе Вологды преобладали условия, благоприятные для формирования низкой облачности: высокая влажность, малый дефицит точки росы, осадки в различных формах и умеренный ветер [1].

3.3 Типичные синоптические ситуации связанные с ВНГО 300 м и ниже

Рассмотрим типичную для формирования низкой облачности синоптическую ситуацию за 29 января 2025 года. В этот день температура воздуха составляла +1...+3 °С, ветер юго-восточной со скоростью 2 м/с, влажность от 95 до 100%, наблюдались слоистые туманообразные облака с ВНГО 200-300 м, местами туман. На синоптической карте за 00:00 UTC (рис. 31) видно, что ТФ вызванный двухцентральной депрессией, проходит над Вологдой. Облака покрывали более половины неба, наблюдался слабый непрерывный снег и диаметр отложения при гололеде составлял 4 мм.

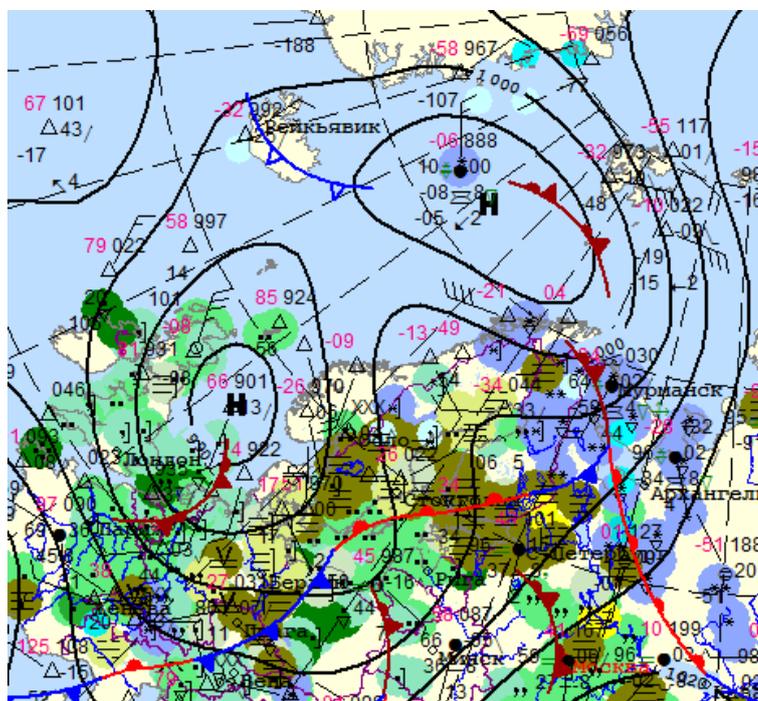


Рисунок 31 – Синоптическая карта за 29.01.2025 00 UTC [7]

К 12:00 UTC депрессия развилась и стала трехцентральной, а ТФ немного сдвинулся в северо-восточном направлении. На спутниковом снимке, сделанным

в ИК-канале, за 22:31 по МСК (рис. 32), прослеживается обширная зона облачности над европейской частью России с более плотной облачностью в районе фронта.

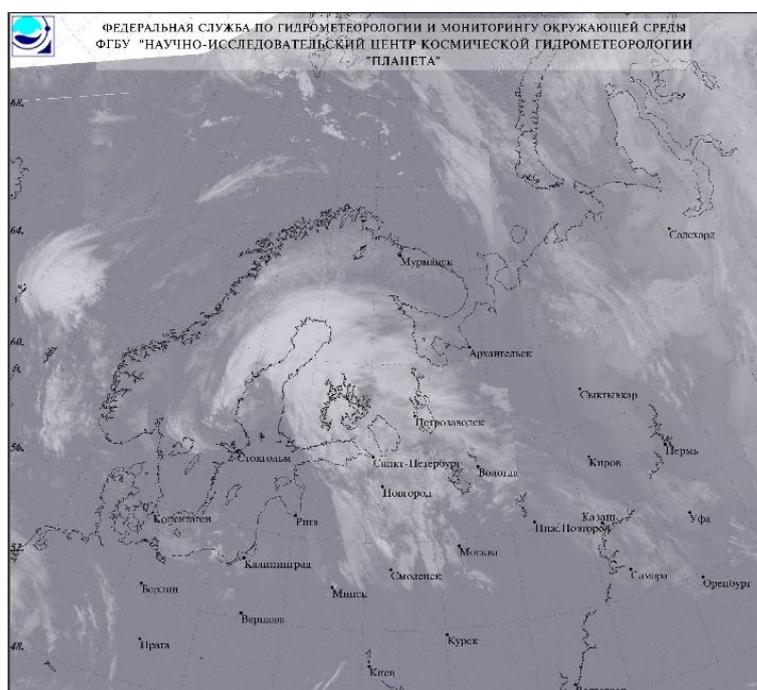
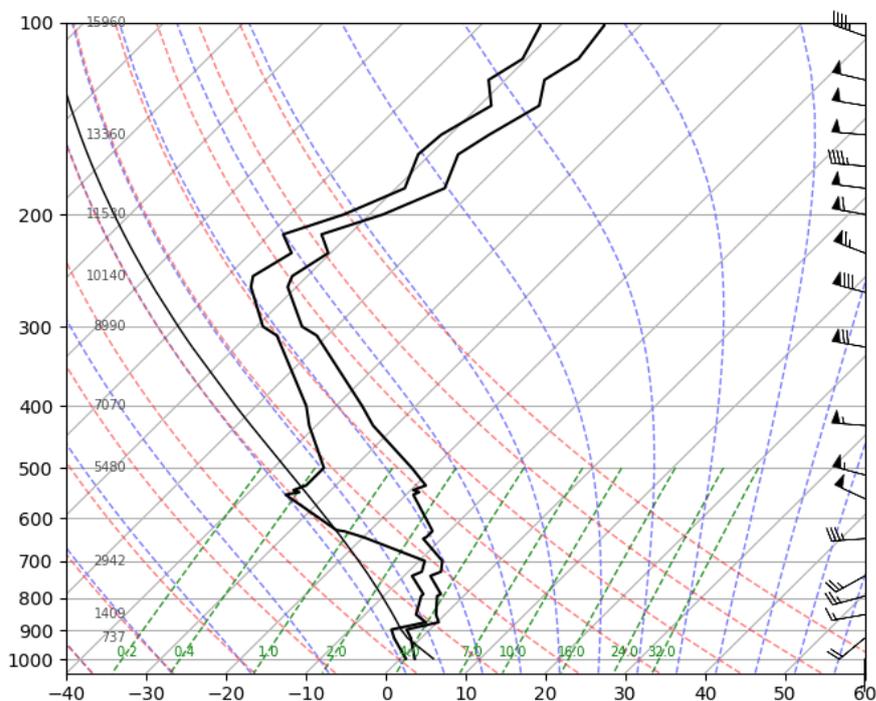


Рисунок 32 – Спутниковый снимок (ИК) за 22:31 по МСК [14]

По результатам зондирования (рис. 33) видно, что температура воздуха и температура точки росы довольно близки у поверхности. Это указывает на высокую относительную влажность вблизи земли. К тому же присутствует слой приземной инверсии, которая создает благоприятные условия для формирования низкой облачности: она подавляет вертикальное перемешивание, удерживает влагу в приземном слое, способствует быстрому охлаждению воздуха до точки росы и увеличивает количество ядер конденсации. Также можно сказать, что атмосфера имеет условно-неустойчивый характер. В нижней части диаграммы, примерно до 850 гПа, кривая стратификации располагается довольно близко к сухим адиабатам. Это означает, что, если бы сухая воздушная частица была поднята с поверхности, она бы быстро охладилась и стала тяжелее окружающего воздуха, препятствуя дальнейшему подъёму. Это признак устойчивости. Выше 850 гПа кривая стратификации становится круче, чем сухие адиабаты, и даже круче, чем влажные адиабаты. Это означает, что поднятая частица будет

продолжать подниматься из-за своей положительной плавучести, что указывает на неустойчивость.

Station 27038 at 00 UTC 29 Jan 2025
VOLOGDA, AR, RUSSIA



University of Wyoming Atmospheric Science

Рисунок 33 – Температурно-ветровое зондирование за 29.01.25 00 UTC [12]

Рассмотрим также ситуацию за 7 февраля 2025 года. В этот день температура воздуха составляла $-3...-5$ °C, ветер юго-восточной скоростью 3 м/с, влажность от 87 до 92%, наблюдались слоистые туманообразные облака с ВНГО 200-300 м, сопровождались снегом и дымкой. На синоптической карте за 00:00 UTC (рис. 34) видно, что регион находится под влиянием центра антициклона. Az оказывал стабильное влияние на погодные условия над Вологдой в течение трех суток. 9 февраля в 18:00 UTC произошло полное разрушение антициклонической циркуляции. После обильных ливневых дождей 6 февраля, можно предположить, что образование низкой облачности было вызвано радиационным выхолаживанием влажной поверхности земли. Юго-восточный ветер мог способствовать задержке холодного воздуха в низинах, что также могло привести к образованию слоистых туманообразных облаков.

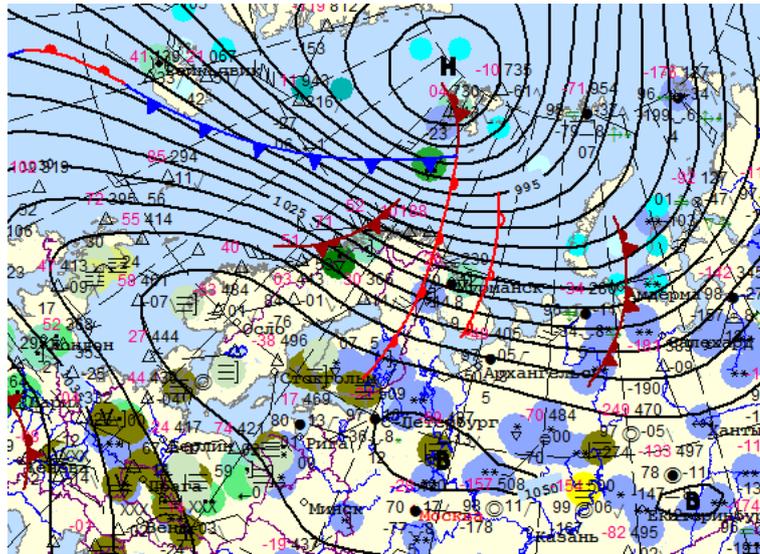


Рисунок 34 – Синоптическая карта за 07.02.2025 00 UTC [7]

Анализируя температурно-ветровое зондирование (рис. 35) можно сделать следующие выводы: температура воздуха и температура точка росы довольно близки у поверхности, что говорит о высокой влажности вблизи земли; определённно присутствует приземная инверсия температуры от поверхности до примерно 950 гПа; температура точка росы довольно быстро отходит от температуры с увеличением высоты над инверсией, что указывает на быстрое уменьшение влажности; ветер у поверхности довольно слабый, выше усиливается, и есть небольшие изменения в направлении.

Наличие инверсии и высокой влажности у поверхности – классическая ситуация для образования низкой слоистой облачности. Инверсия действует как "крышка", удерживая влажный воздух вблизи поверхности и препятствуя его рассеиванию. Инверсия подавляет конвекцию, так как воздух выше инверсии значительно теплее. Это также способствует формированию слоистых облаков, а не кучевых. Слабый ветер у поверхности также способствует образованию слоистой облачности, так как нет сильного перемешивания воздуха. Нет признаков сильной неустойчивости выше инверсии. Это подтверждает, что слоистые облака - наиболее вероятный сценарий.

циклона, особенно вблизи ТФ. ТФ может вызывать подъем влажного воздуха над холодным, что приводит к образованию слоистой облачности и мороси.

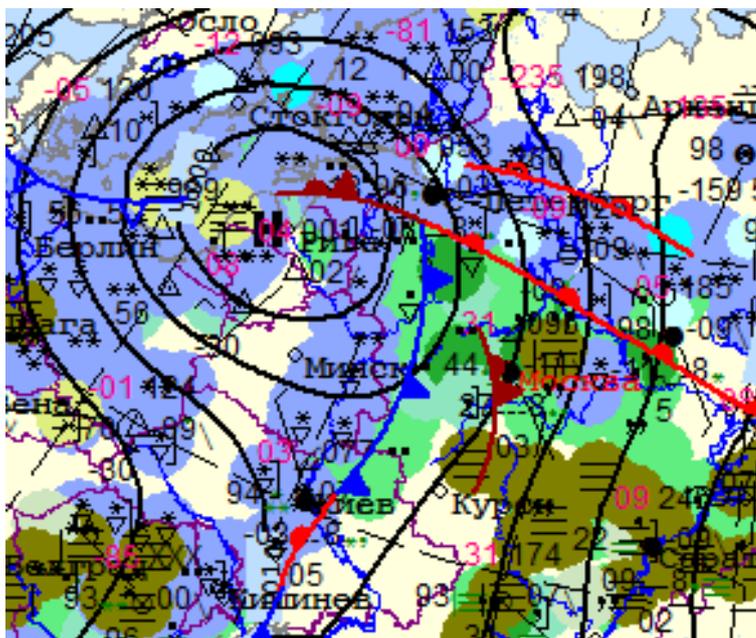
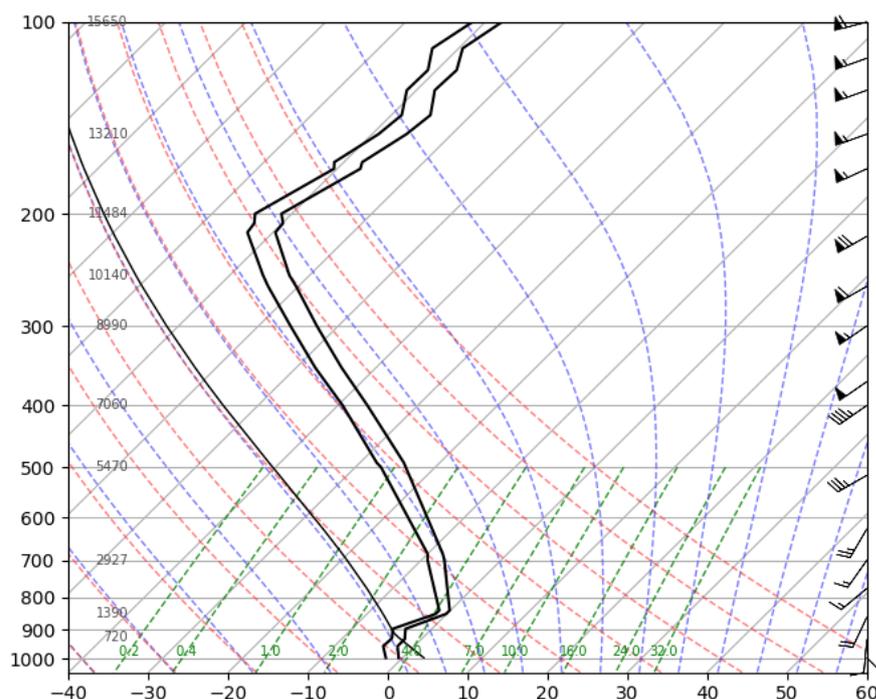


Рисунок 36 – Синоптическая карта за 11.01.2025 00:00 UTC [7]

По данным зондирования (рис. 37) можно сделать следующие выводы: присутствует высокая влажность вблизи земли, так как температура воздуха и температура точки росы достаточно близки; присутствует приземная инверсия в диапазоне от поверхности до примерно 950 гПа; после прохождения инверсии точка росы быстро удаляется от температуры, что указывает на быстрое уменьшение влажности с высотой; ветры умеренные, дуют с востока и юго-востока в нижних слоях, а выше становятся сильнее и меняют направление.

Как уже упоминалось выше, наличие высокой влажности у поверхности земли и инверсии создает благоприятные условия для формирования низкой слоистой облачности. Выше инверсии атмосфера кажется достаточно устойчивой. Кривая температуры расположена ближе к сухим адиабатам, что означает, что воздух не будет легко подниматься и конвекция подавлена. Толщина облаков, скорее всего, будет небольшой из-за не очень сильной инверсии и общей устойчивости атмосферы выше.

Station 27038 at 00 UTC 11 Jan 2025
VOLOGDA, AR, RUSSIA



University of Wyoming Atmospheric Science

Рисунок 37 – Температурно-ветровое зондирование за 11.01.25 00 UTC [12]

Стоит рассмотреть еще одну ситуацию за 12 февраля 2025 года. В этот день температура воздуха составляла $-6...-7$ °С, ветер западный скоростью 2-3 м/с, влажность 90-91%, наблюдались слоистые туманообразные облака с ВНГО 200-300 м, сопровождалось моросью и дымкой. На синоптической карте за 00:00 UTC (рис. 38) видно, что погода в районе Вологды формировалась под влиянием теплой волны на холодном фронте. Теплая волна приносит с собой адвекцию теплого и, как правило, более влажного воздуха. Этот воздух, вторгаясь в область, где уже находится холодный воздух, создает температурный контраст и условия для конденсации. В районе теплой волны могут наблюдаться следующие механизмы подъема воздуха, необходимые для образования облачности: надвигание теплого воздуха на холодный, фронтальный подъем и конвергенция у поверхности.

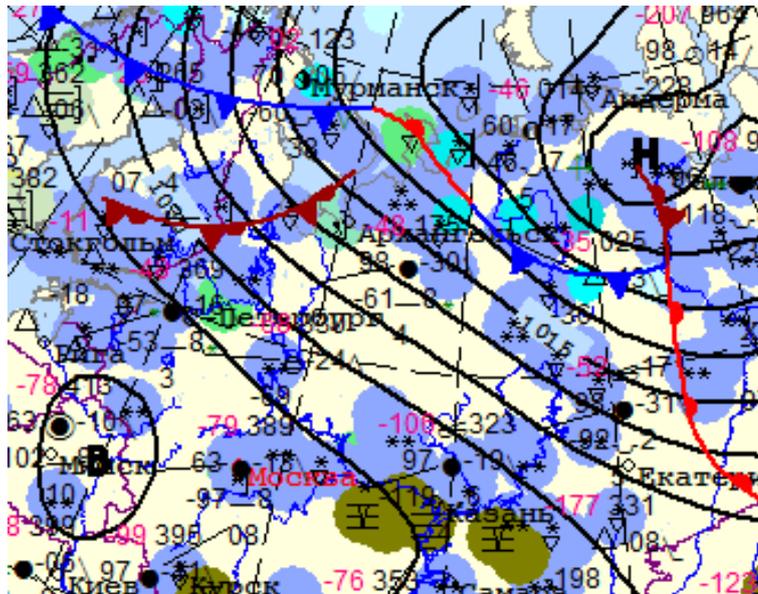
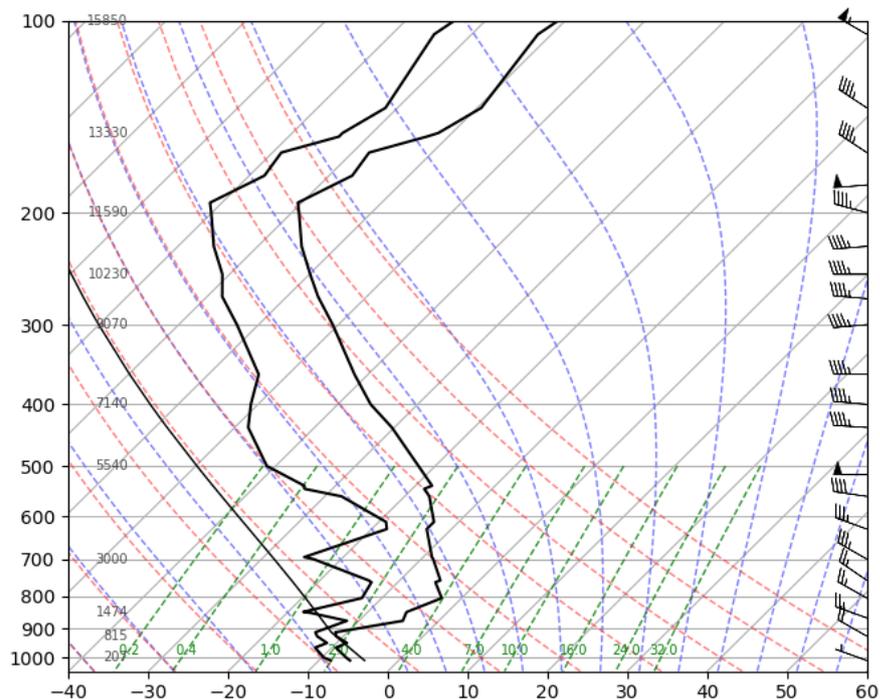


Рисунок 38 – Синоптическая карта за 12.02.2025 00:00 UTC [7]

По данным зондирования за 12:00 UTC (рис. 39) указывает на наличие условий, благоприятных для образования низкой облачности.

Station 27038 at 12 UTC 12 Feb 2025
VOLOGDA, AR, RUSSIA



University of Wyoming Atmospheric Science

Рисунок 39 – Температурно-ветровое зондирование за 12.02.25 00 UTC [12]

В нижних слоях атмосферы до 800-900 гПа наблюдается высокая влажность, о чем свидетельствует близость значений температуры и точки росы.

Фактическое совпадение этих параметров указывает на насыщение воздуха влагой и потенциальную возможность конденсации с образованием облачности. Кроме того, наличие инверсии в приземном слое от 1000 до 900 гПа, говорит об устойчивой стратификации атмосферы, препятствующей вертикальному перемешиванию и способствующей формированию слоистой низкой облачности. Слабый ветер в нижних слоях также способствует застою влажного воздуха и поддержанию условий для образования низкой облачности.

3.4 Оценка успешности использования методов прогнозирования ВНГО для аэропорта Вологды

Были проанализированы методы прогнозирования ВНГО для высоты 300 м и менее по полуэмпирическим формулам и дана оценка оправдываемости для аэропорта Вологды.

В Вологодском ЦГМС для определения нижней границы облаков на всех метеостанциях используется прибор ИВО-1. На аэродроме Вологда используются приборы РВО-5 и ДВО-2.

В настоящее время для прогнозирования нижней границы облачности на АМСГ Вологда используется метод Ярковой и Гоголевой, демонстрирующие оправдываемость чуть выше 80%.

Кажется нелогичным использовать полуэмпирические формулы для определения ВНГО на аэродроме, где проводятся регулярные инструментальные измерения этого параметра. Однако, ситуация меняется при планировании полетов в районе аэродрома или на удалении от него на 100-200 км. В таких случаях синоптикам необходимо знать ВНГО в районе полетов. К сожалению, в этих зонах, как правило доступна информация лишь с метеостанций, не имеющих оборудования для инструментальных измерений ВНГО. В таких случаях полуэмпирические формулы, описанные в главе 2.4, становятся полезным инструментом. Например, если наблюдательская метеостанция зафиксировала дефицит температуры в 2°C , то, используя формулу Ферреля, можно ориентировочно оценить ВНГО в этом районе в диапазоне 200-250

метров. Таким образом, полуэмпирические формулы позволяют оценить высоту облачности в зонах, где прямые измерения недоступны, что является критически важным для обеспечения безопасности полетов.

Кроме упомянутых в главе 2.4 формул существуют еще много других. Однако их рассматривать не будем, так как эти формулы различаются только коэффициентами, которые подбираются опытным путём для определенного ряда наблюдений.

Для оценки успешности прогнозов по полуэмпирическим формулам я использовала специальную таблицу, которая сравнивает прогноз и факт. Эта таблица, называемая матрицей сопряженности альтернативных прогнозов, показана в общем виде в таблице 4.

В качестве мер успешности прогнозов используются различные критерии, расчет которых я производила по формулам (3.3.1) – (3.3.11).

Таблица 4 – Матрица сопряженности альтернативных прогнозов n_{ij}

	П	$\bar{П}$	$\sum_{j=1}^{m=2} n_j$
Ф	n_{11}	n_{12}	n_{10}
$\bar{Ф}$	n_{21}	n_{22}	n_{20}
$\sum_{i=1}^{n=2} n_i$	n_{01}	n_{02}	N

Прежде чем рассчитывать критерии, надо выяснить, а существует ли в принципе статистическая связь между прогнозом и фактом. Это выполняется с помощью критерия независимости Пирсона или критерий хи-квадрат:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(n_{ij} - n_{ij}^{cл})^2}{n_{ij}^{cл}} \quad (3.3.1),$$

Общая оправдываемость альтернативного прогноза в процентах определяется по формуле:

$$P = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \cdot 100\% \quad (3.3.2),$$

Оправдываемость опасных градаций прогноза. Оправдываемость условной вероятности II типа:

$$P(\Pi|\Phi) = \widetilde{q}_{ij} = U = \frac{n_{ij}}{n_{i0}} \quad (3.3.3)$$

Критерий надежности по Н.А. Багрову:

$$H = \frac{P - P_{сл}}{P_{ид} - P_{сл}} \quad (3.3.4),$$

где H – индекс надежности прогноза (качество); P – оценка оправдываемости для рассчитываемого Π ; $P_{сл}$ – оценка оправдываемости для случайного прогноза; $P_{ид}$ – оценка оправдываемости для идеального прогноза. $P_{ид}$ равен 1 или 100%.

$H \in [0; 1]$. Прогноз считается успешным (надежным) если $H > 0,6$.

Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову:

$$Q = 1 - \left[\frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right] \quad (3.3.5),$$

где 1 – вероятность идеального прогноза, $\frac{n_{12}}{n_{10}}$ – вероятность ошибок I рода, $\frac{n_{21}}{n_{20}}$ – вероятность ошибок II рода.

$Q \in [-1; 1]$. Прогноз считается успешным (надежным) если $Q > 0,6$.

Коэффициент связей Юла. Критерий показывает степень согласованности (связи) между прогнозом и фактическим наступлением события.

$$I = \frac{n_{11} \cdot n_{22} - n_{12} \cdot n_{21}}{n_{11} \cdot n_{22} + n_{12} \cdot n_{21}} \quad (3.3.6)$$

$I \in [-1; 1]$, то есть $I = 1$ – полная согласованность прогноза. При $I = -1$ – полная обратная согласованность.

Коэффициент сходства (коэффициент качественной корреляции):

$$A = \frac{n_{11} \cdot n_{22} - n_{12} \cdot n_{21}}{\sqrt{n_{10} \cdot n_{20} \cdot n_{01} \cdot n_{02}}} \quad (3.3.7)$$

$A \in [-1; 1]$, то есть $A = 1$ – полная положительная связь. При $A = -1$ – полная отрицательная связь.

Меры Гутмана предназначены для оценки связи между известными признаками Π и Φ .

Три меры Гутмана характеризуют относительный прирост успешности прогноза выбранного признака в частных или общем случае:

$$\lambda(\Phi|\Pi) = \frac{\sum_{i=1}^n n_{imax} - n_{ojmax}}{N - n_{ojmax}} \quad (3.3.8),$$

$$\lambda(\Pi|\Phi) = \frac{\sum_{j=1}^m n_{jmax} - n_{ioimax}}{N - n_{ioimax}} \quad (3.3.9),$$

$$\lambda = \frac{(\sum_{i=1}^n n_{imax} - n_{ojmax}) + (\sum_{j=1}^m n_{jmax} - n_{ioimax})}{2N - n_{ioimax} - n_{ojmax}} \quad (3.3.10)$$

Меры Гутмана – ассиметричные меры связи. Область их изменения находится в пределах от 0 до 1.

Количество прогностической информации. Информационное отношение ν (ипсилон):

Поскольку погода по своей природе подвержена случайным изменениям, то есть может непредсказуемо переходить из одного состояния в другое, ей всегда присуща какая-либо степень неопределенности.

Для количественной оценки априорной (изначальной) неопределенности, присущей системе, используется понятие энтропии:

$$H(\Phi) = - \sum_{i=1}^n P(\Phi_i) \cdot \log P(\Phi_i) \quad (1)$$

Выразим (1) через элементы матрицы для альтернативного прогноза:

$$H(\Phi) = - \left(\frac{n_{10}}{N} \cdot \log \frac{n_{10}}{N} + \frac{n_{20}}{N} \cdot \log \frac{n_{20}}{N} \right) \quad (2)$$

Пусть имеются две зависимые системы Π и Φ . Предположим, система Π приняла состояние Π_j . Обозначим $P(\Phi_i|\Pi_j)$ как условную вероятность того, что система Φ примет состояние Φ_i при условии, что система Π находится в состоянии Π_j .

Определим условную энтропию:

$$H(\Phi|\Pi_j) = - \sum_{i=1}^n P(\Phi_i|\Pi_j) \cdot \log P(\Phi_i|\Pi_j) \quad (3)$$

Определим полную (среднюю или условно полную) энтропию системы Φ :

$$H(\Phi|\Pi) = \sum_{j=1}^m P(\Pi_j) \cdot H(\Phi|\Pi_j) \quad (4)$$

Далее подставим в (4) выражении (3):

$$H(\Phi|\Pi) = - \sum_{j=1}^m P(\Pi_j) \cdot \sum_{i=1}^n P(\Phi_i|\Pi_j) \cdot \log P(\Phi_i|\Pi_j) \quad (5)$$

На основании частот матрицы сопряженности альтернативных прогнозов распишем полную энтропию (5):

$$\begin{aligned} H(\Phi|\Pi) = & - [P(\Pi)(P(\Phi|\Pi) \log P(\Phi|\Pi) \\ & + P(\bar{\Phi}|\Pi) \log P(\bar{\Phi}|\Pi)) + P(\bar{\Pi}) \\ & \times (P(\Phi|\bar{\Pi}) \log P(\Phi|\bar{\Pi}) + P(\bar{\Phi}|\bar{\Pi}) \log P(\bar{\Phi}|\bar{\Pi}))] \end{aligned}$$

Учитывая, что $P(\Pi) = \frac{n_{01}}{N}$, $P(\bar{\Pi}) = \frac{n_{02}}{N}$, $P(\Phi|\Pi) = \frac{n_{11}}{n_{01}}$, $P(\bar{\Phi}|\Pi) = \frac{n_{21}}{n_{01}}$,

$P(\Phi|\bar{\Pi}) = \frac{n_{12}}{n_{02}}$, $P(\bar{\Phi}|\bar{\Pi}) = \frac{n_{22}}{n_{02}}$, получаем:

$$H(\Phi|\Pi) = - \frac{1}{N} \left[n_{11} \cdot \log \frac{n_{11}}{n_{01}} + n_{21} \cdot \log \frac{n_{21}}{n_{01}} + n_{12} \cdot \log \frac{n_{12}}{n_{02}} + n_{22} \cdot \log \frac{n_{22}}{n_{02}} \right]$$

Более универсальный критерий информационное отношение v (ипсилон):

$$v = \frac{I}{H(\Phi)} = \frac{H(\Phi) - H(\Phi|\Pi)}{H(\Phi)} = 1 - \frac{H(\Phi|\Pi)}{H(\Phi)} \quad (3.3.11)$$

Величина v показывает, насколько методические прогнозы способны снизить неопределенность, присущую климатологическим прогнозам (то есть, насколько они уменьшают природную непредсказуемость погодных явлений).

$v = 0$ – прогнозы на уровне случайных

$v = 1$ – прогнозы на уровне идеальных

$v = -1$ – все прогнозы ошибочны

Если $v = 0,4$ – прогнозы на уровне оперативных

В период с 01.01.2020 по 26.02.2025 на основе данных наблюдений были сформированы матрицы сопряженности для оценки прогнозов наличия высоты нижней границы облачности на уровне 300 метров и ниже. В качестве прогностических инструментов использовались формула Ферреля (табл. 5), формула Ипполитова (табл. 6) и модифицированная формула Ферреля (табл. 7), описанные в главе 2.4. Кроме того, для каждой матрицы были рассчитаны критерии успешности прогнозов (табл. 8).

Таблица 5 – Матрица сопряженности по результатам прогнозирования ВНГО формулой Ферреля

	П	$\bar{П}$	$\sum_{j=1}^{m=2} n_j$
Ф	388	135	523
$\bar{Ф}$	6121	8285	14406
$\sum_{i=1}^{n=2} n_i$	6509	8420	14929

Общее количество проанализированных случаев составило 14929. Из них в 523 случаях была зафиксирована низкая облачность. Прогноз наличия низкой облачности оправдался в 388 случаях. В 6121 случаях прогноз наличия низкой облачности не подтвердился (прогноз был, но облачности не было). В 135 случаях низкая облачность наблюдалась, хотя в прогнозе она отсутствовала. В 8285 случаях отсутствовали как прогноз наличия, так и фактическое наблюдение низкой облачности. При формировании матрицы данных для анализа не учитывались отрицательные и нулевые значения, возникавшие из-за отсутствия одного или обоих необходимых параметров.

Таблица 6 – Матрица сопряженности по результатам прогнозирования ВНГО формулой Ипполитова

	П	$\bar{П}$	$\sum_{j=1}^{m=2} n_j$
Ф	350	173	523
$\bar{Ф}$	4282	10124	14406
$\sum_{i=1}^{n=2} n_i$	4632	10297	14929

Прогноз наличия низкой облачности оказался точным в 350 случаях. Однако, в 4282 случаях прогноз наличия низкой облачности не подтвердился, а в

173 случаях низкая облачность была зафиксирована, хотя в прогнозе она отсутствовала. В остальных 10124 случаях не было ни прогноза, ни факта низкой облачности. При построении матрицы не включались нулевые значения.

Таблица 7 – Матрица сопряженности по результатам прогнозирования ВНГО модифицированной формулой Ферреля

	П	ᄀ	$\sum_{j=1}^{m=2} n_j$
Ф	349	174	523
ᄀ	6165	8241	14406
$\sum_{i=1}^{n=2} n_i$	6514	8415	14929

Прогноз наличия низкой облачности подтвердился в 352 случаях, не подтвердился – в 6162. В 171 случаях облачность была, хотя не прогнозировалась. В 8244 случаях облачности не было и не прогнозировалось. Следует также отметить, что в матрицу не были включены отрицательные и нулевые значения.

В соответствии с Федеральными авиационными правилами №60, минимально допустимая оправдываемость расчетных методов для авиационных прогнозов ТАФ высоты облаков составляет 70%.

Таблица 8 – Критерии успешности прогноза низкой облачности

Критерий	Формула Ферреля	Формула Ипполитова	Модифицированная формула Ферреля
χ^2	206,2	326,6	123,6
Общая оправдываемость прогноза	58,1%	70,2%	57,6%

Вероятность оправдавшихся опасных градаций	74,2%	66,9%	67,3%
Критерий надежности по Багрову	0.05	0.08	0.04
Критерий точности по Обухову	0.32	0.37	0.24
Коэффициент связей Юла	0.59	0.65	0.46
Коэффициент сходства	0.12	0.15	0.09
Меры Гутмана – влияние П на Ф	0.04	0.04	0.03
Меры Гутмана – влияние Ф на П	0	0	0
Меры Гутмана – общая связность	0.04	0.03	0.02
Информационное отношение	0,05	0,07	0,03

Для всех трех формул критерий χ^2 указывает на наличие статистически значимой связи между прогнозом (П) и фактическим наблюдением (Ф) низкой облачности. Это означает, что результаты прогнозирования не случайны, и формулы в какой-то степени отражают реальную ситуацию.

Формула Ипполитова демонстрирует самую высокую общую оправдываемость прогноза (70,2%). Это означает, что в большем количестве случаев прогноз, сделанный по этой формуле, оказался правильным по

сравнению с другими. Модифицированная формула Ферреля показывает наименьшую оправдываемость (57,6%).

Формула Ферреля демонстрирует самую высокую вероятность оправдавшихся опасных градаций (74,2%), хотя разница между формулами не очень велика. Это говорит о том, что формула Ферреля наиболее надежна при прогнозировании опасных метеорологических явлений.

Значения критерия надежности по Багрову и критерия точности по Обухову считаются успешными если полученные значения больше 0,6 – рекомендуемый условный порог. По этим критериям все три формулы на уровне случайных.

Формула Ипполитова показывает наибольшее значение коэффициента связей Юла (0,65), чем формула Ферреля (0,59) и модифицированная формула Ферреля (0,46). Однако, все значения указывают на умеренную, а не сильную положительную связь.

Все три формулы показывают низкий коэффициент сходства, что говорит о значительных расхождениях между прогнозом и реальностью.

Низкие значения мер Гутмана свидетельствуют о слабой взаимосвязи между прогнозом и фактическим наблюдением. Вероятность предсказания фактического наличия облачности по прогнозу крайне мала для всех трех формул, а вероятность предсказания прогноза по фактическому наблюдению невозможна.

Главное преимущество формулы Ипполитова перед двумя другими формулами – отсутствие отрицательных значений при расчетах. Это говорит о том, что формула, по крайней мере, более стабильна и дает физически обоснованные результаты.

Помимо обобщенной матрицы, охватывающей период с 1 января 2020 по 26 февраля 2025 года, были построены матрицы для каждого года отдельно, кроме 2025 (табл. 9 – табл. 13). Это позволило оценить годовую изменчивость в

эффективности и оправдываемости прогностических моделей, а также выявить возможные периоды, когда их результаты ухудшались или улучшались.

Таблица 9 – Матрица сопряженности по результатам прогнозирования ВНГО полуэмпирическими формулами за 2020 год

Ферреля			Ипполитова			Мод. Ферреля					
	П	$\bar{П}$	Σ		П	$\bar{П}$	Σ		П	Σ	Σ
Ф	143	12	155	Ф	128	27	155	Ф	145	10	155
$\bar{Ф}$	1014	1759	2773	$\bar{Ф}$	701	2072	2773	$\bar{Ф}$	1081	1692	2773
Σ	1157	1771	2928	Σ	829	2099	2928	Σ	1226	1702	2928

Таблица 10 – Матрица сопряженности по результатам прогнозирования ВНГО полуэмпирическими формулами за 2021 год

Ферреля			Ипполитова			Мод. Ферреля					
	П	$\bar{П}$	Σ		П	$\bar{П}$	Σ		П	Σ	Σ
Ф	93	42	135	Ф	81	54	135	Ф	82	53	135
$\bar{Ф}$	1036	1741	2777	$\bar{Ф}$	750	2027	2777	$\bar{Ф}$	1024	1753	2777
Σ	1129	1783	2912	Σ	831	2081	2912	Σ	1106	1806	2912

Таблица 11 – Матрица сопряженности по результатам прогнозирования ВНГО полуэмпирическими формулами за 2022 год

Ферреля			Ипполитова			Мод. Ферреля					
	П	$\bar{П}$	Σ		П	$\bar{П}$	Σ		П	Σ	Σ
Ф	53	34	87	Ф	45	42	87	Ф	37	50	87
$\bar{Ф}$	1404	1426	2830	$\bar{Ф}$	1053	1777	2830	$\bar{Ф}$	1346	1484	2830
Σ	1457	1460	2917	Σ	1098	1819	2917	Σ	1383	1534	2917

Таблица 12 – Матрица сопряженности по результатам прогнозирования ВНГО полуэмпирическими формулами за 2023 год

Ферреля			Ипполитова			Мод. Ферреля					
	П	$\bar{П}$	Σ		П	$\bar{П}$	Σ		П	Σ	Σ
Ф	41	33	74	Ф	41	33	74	Ф	28	46	74

$\bar{\Phi}$	1282	1549	2831	$\bar{\Phi}$	868	1963	2831	$\bar{\Phi}$	1283	1548	2831
Σ	1323	1582	2905	Σ	909	1996	2905	Σ	1311	1594	2905

Таблица 13 – Матрица сопряженности по результатам прогнозирования ВНГО полуэмпирическими формулами за 2024 год

Ферреля			Ипполитова			Мод. Ферреля					
	П	$\bar{П}$	Σ		П	$\bar{П}$	Σ		П	Σ	Σ
Ф	33	8	41	Ф	30	11	41	Ф	32	9	41
$\bar{\Phi}$	1096	1678	2774	$\bar{\Phi}$	733	2041	2774	$\bar{\Phi}$	1133	1641	2774
Σ	1129	1686	2815	Σ	763	2052	2815	Σ	1165	1650	2815

Из всего набора критериев для детального анализа были отобраны общая оправдываемость прогноза и вероятность оправдавшихся опасных градаций. Выбор обусловлен их высокой значимостью для оценки качества прогнозов, особенно в контексте авиационной безопасности. Для визуализации полученных результатов был построен график (рис. 40), позволяющий наглядно сравнить эффективность различных прогностических моделей по указанным критериям.

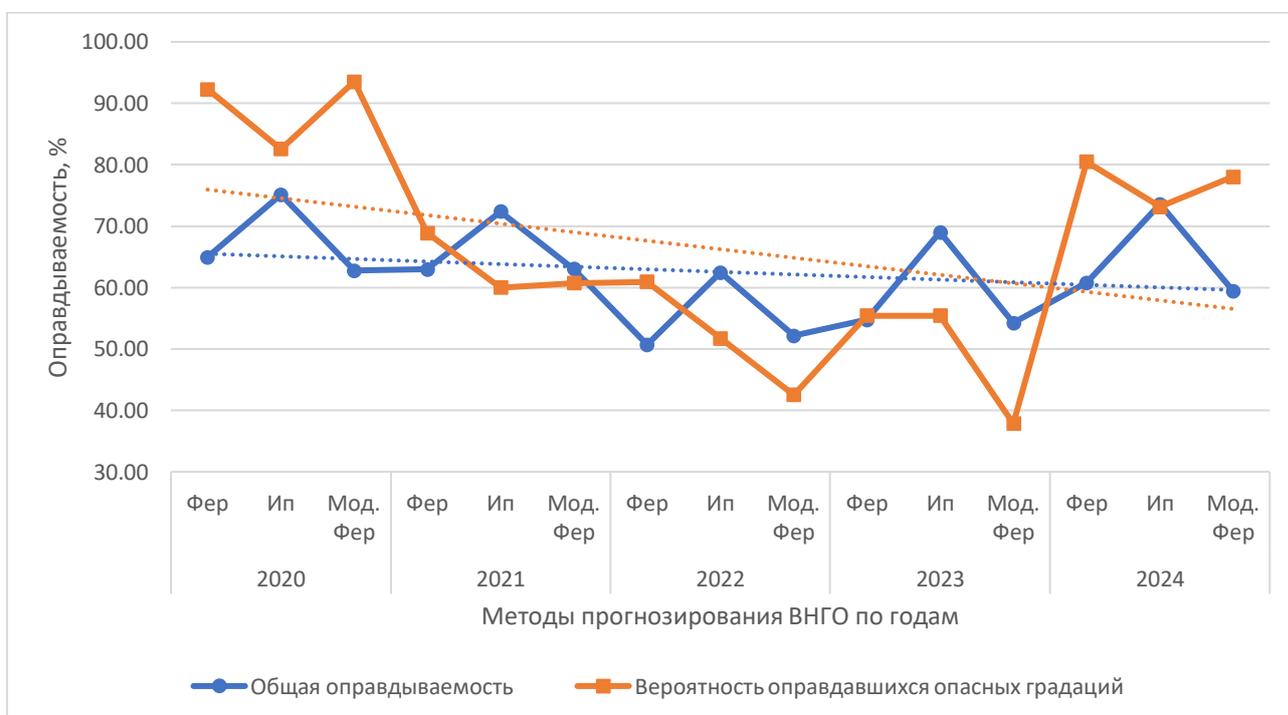


Рисунок 40 – Годовой ход оправдываемости с линиями тренда

Анализ общей оправдываемости прогнозов в период с 2020 по 2024 год показал тенденцию к незначительному снижению. В целом, наблюдаются

колебания значений, однако можно отметить, что средний уровень оправдываемости снижается с 65-75% в 2020 году до примерно 60% к 2024 году. В частности, формула Ипполитова показала максимальную оправдываемость в 2020 году – 75,1%, а также достаточно высокие значения в 2021 (72,4%) и 2024 (73,6%) годах. Наименьшее значение общей оправдываемости было зафиксировано в 2022 году с использованием формулы Ферреля, составив 50,7%.

Вероятность оправдавшихся опасных градаций – метрика более изменчивая и имеет более резкие колебания. В 2020 году вероятность оправдавшихся опасных градаций была очень высокой – около 90-95%, затем пошла на снижение, достигнув минимума около 40% в 2023 году. Однако в 2024 году зафиксирован резкий рост вероятности до уровня, близкого к 80%. Тренд также показывает снижение, но с резкими колебаниями.

В 2020 году вероятность оправдавшихся опасных градаций была значительно выше общей оправдываемости. В период с 2021 по 2023 эти показатели приблизились друг к другу. В 2024 году вероятность оправдавшихся опасных градаций резко выросла, превысив общую оправдываемость.

Важно отметить, что эти колебания могут быть связаны с изменением общего числа прогнозов, варьирующегося по годам: 2020 – 2928, 2021 – 2912, 2022 – 2917, 2023 – 2905, 2024 – 2815. Это требуется учитывать при интерпретации полученных результатов. В частности, уменьшение количества прогнозов в 2024 году может частично объяснять резкий рост вероятности оправдавшихся опасных градаций.

На основании приведенного анализа можно заключить, что применение полуэмпирических формул для прогнозирования низкой облачности требует большой осторожности. Формула Ипполитова представляется наиболее перспективной для прогнозирования низкой облачности в целом, благодаря своей стабильности и высокой общей оправдываемости. Однако, для прогнозирования опасных метеорологических явлений следует отдать предпочтение формуле Ферреля.

Заключение

Проведенный анализ позволил выявить ключевые факторы, определяющие условия образования низкой облачности в районе аэропорта «Вологда», за период с 2020-2025 гг. Анализ метеорологических данных и синоптических ситуаций подтвердил решающее влияние термических, синоптических и орографических факторов на формирование низкой облачности, которая, согласно полученным данным, чаще всего представлена слоистой и слоисто-кучевой формами.

В большинстве случаев образование низкой облачности связано с образованием приземной инверсии и высокой влажностью. Когда температура воздуха с высотой не понижается, а наоборот повышается, приземная инверсия создает устойчивый слой атмосферы, препятствующий вертикальному перемешиванию. Это означает, что воздух у поверхности земли не может свободно подниматься и рассеиваться. Инверсионный слой действует как “крышка”, удерживая влагу в приземном слое. При достаточно высокой влажности и охлаждении воздуха (особенно в ночные часы из-за радиационного выхолаживания) температура воздуха может достичь точки росы. Когда воздух достигает точки росы, водяной пар начинает конденсироваться, образуя мелкие капельки воды или кристаллики льда. Эти капельки или кристаллики образуют облака. Поскольку инверсия препятствует подъему воздуха, облака формируются непосредственно у поверхности земли, образуя низкую облачность (слоистые облака или туман).

Методы прогнозирования низкой облачности основаны на анализе синоптической ситуации и стратификации приземного слоя. Исходя из ожидаемой температуры и близости её к точке росы можно оценить вероятность образования низкой облачности и её нижней границы (высоты). Чем ближе температура воздуха к точке росы, тем выше вероятность образования облачности. Кроме того, для оценки вероятности образования низкой облачности могут применяться формулы, использующие в качестве параметра

относительную влажность. Высокая относительная влажность также является одним из ключевых факторов, способствующих конденсации водяного пара и формированию облаков. Чем выше относительная влажность, тем больше вероятность образования низкой облачности и, соответственно, ниже высота её нижней границы.

Список литературы

1. Богаткин О.Г. Информационно - справочная книга авиационного метеоролога. - СПб.: изд. РГГМУ, 2010 – 220 с.
2. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Издание второе, переработанное дополненное. Гидрометеиздат, Ленинград 1984г., – 751с.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Гидрометеиздат, Ленинград 1991 – 616 с.
4. Атлас облаков / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), ГГО им. А.И. Воейкова; [Д. П. Беспалов и др.; ред.: Л. К. Сурыгина]. – Санкт-Петербург: Д'АРТ, 2011. – 248 с.
5. Дробжева Я. В., Волобуева О. В. Метеорологические прогнозы и их экономическая полезность. Учебное пособие. — СПб: Адмирал, 2016 – 116 с.
6. Труды НР ГМЦ, 1971, вып. 5, с. 172-178
7. Сайт ФГБУ «Гидрометцентр России» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/>
8. Справочно-информационный портал «Погода и климат» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/>
9. Приказ Росавиации от 12.01.2024 N 8-п " Об установлении приаэродромной территории аэродрома гражданской авиации Вологда" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 12.02.2024 N 77219) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minjust.consultant.ru/documents/51109?items=10&page=1>
10. Сайт филиала «Центр Аэронавигационной информации» ФГУП «Государственная корпорация по организации воздушного движения в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.caiga.ru/ANI_Official/Aip/aipsource4/aip/ad/ad2/ulww/4-ad2-ulww-txt.pdf
11. Приказ Минпромторга России от 05.12.2018 N 4855 (ред. от 07.11.2022) Об утверждении Федеральных авиационных правил подготовки к полетам воздушных судов экспериментальной авиации и их экипажей, осуществления

контроля за их готовностью и выполнения полетов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sudact.ru/law/prikaz-minpromtorga-rossii-ot-05122018-n-4855/>

12. Сайт университета Вайоминг [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://weather.uwyo.edu/wsgi/sounding?datetime=2025-02-](https://weather.uwyo.edu/wsgi/sounding?datetime=2025-02-12%2000:00:00&id=27038&type=INVENTORY&src=FM35)

[12%2000:00:00&id=27038&type=INVENTORY&src=FM35](https://weather.uwyo.edu/wsgi/sounding?datetime=2025-02-12%2000:00:00&id=27038&type=INVENTORY&src=FM35)

12. Сайт «rp5» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rp5.ru/>

13. Международный атлас облаков. Наставление по наблюдению за облаками и другими метеорами (ВМО-№ 407) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cloudatlas.wmo.int/ru/clouds.html>

14. ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://planet.rssi.ru/index.php?page_type=oper_prod&page=product&prod=489

Таблица 1.1. Отсутствующие данные по срокам наблюдений за период с 01.01.2020 по 26.02.2025

Год	Дата	Срок
2021 Всего – 8	18.09	03:00
	25.11	18:00 и 21:00
	27.11	15:00
	29.11	03:00 и 12:00
	30.11	06:00
	13.12	09:00
2022 Всего – 3	29.07	15:00 и 21:00
	30.07	00:00
2023 Всего – 15	01.08	21:00
	02.08	00:00, 03:00 и 21:00
	03.08	00:00 и 03:00
	20.08	00:00
	31.10	00:00 и 03:00
	4.12	21:00
	5.12	03:00
	8.12	03:00
	14.12	00:00
	15.12	03:00
	29.12	03:00
2024 Всего – 113	01.01	03:00
	02.01	00:00, 03:00 и 21:00
	03.01	00:00, 03:00 и 21:00
	04.01	00:00, 03:00 и 21:00
	05.01	00:00, 03:00 и 21:00
	06.01	00:00, 03:00 и 21:00

	07.01	00:00, 03:00 и 21:00
	08.01	21:00
	10.01	00:00
	13.01	00:00 и 03:00
	09.02	21:00
	11.02	03:00
	16.02	00:00 и 03:00
	17.02	03:00 и 21:00
	19.02	00:00 и 03:00
	22.02	03:00
	04.04	21:00
	31.05	21:00
	01.06	00:00
	26.09	21:00
	09.10	21:00
	10.10	00:00, 03:00 и 21:00
	11.10	00:00, 03:00 и 21:00
	12.10	00:00, 03:00 и 21:00
	13.10	00:00, 03:00 и 21:00
	14.10	00:00, 03:00 и 21:00
	15.10	00:00, 03:00 и 21:00
	16.10	00:00, 03:00 и 21:00
	17.10	00:00, 03:00, 18:00 и 21:00
	18.10	00:00, 03:00 и 21:00
	19.10	00:00, 03:00 и 21:00
	20.10	00:00 и 03:00
	21.10	03:00 и 21:00
	22.10	00:00
	23.10	03:00

	24.10	00:00, 03:00 и 21:00
	25.10	03:00
	26.10	00:00, 03:00 и 21:00
	27.10	00:00
	29.10	00:00 и 21:00
	30.10	00:00 и 21:00
	01.11	00:00 и 21:00
	02.11	03:00 и 21:00
	03.11	00:00
	04.11	21:00
	05.11	00:00
	06.11	00:00 и 21:00
	07.11	00:00, 03:00 и 21:00
	08.11	00:00, 03:00 и 21:00
	09.11	03:00
	10.11	00:00, 03:00 и 21:00
	11.11	00:00, 03:00 и 21:00
	12.11	00:00, 03:00 и 21:00
	13.11	00:00 и 03:00
2025 (до 26.02)	08.01	03:00
Всего – 4	23.02	03:00
	26.02	18:00 и 21:00