



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Прогноз нижней границы облачности
в г. Псков»

Исполнитель Чубатюк Александр Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

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

Топтунова Ольга Николаевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой


(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 20 » июня 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

СОКРАЩЕНИЯ

ВНГО	—	Высота нижней границы облачности
ВПП	—	Взлётно-посадочная полоса
КТА	—	Контрольная точка аэродрома
СР	—	Средняя полоса России
ТАФ	—	Прогноз по аэродрому
ВС	—	Воздушное судно
ЕТР	—	Европейская территория России
ФО	—	Федеральный округ

СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ	2
ВВЕДЕНИЕ	4
1.ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБЛАЧНОСТЬЮ В АЭРОПОРТУ ..	7
1.1Основные минимумы погоды.	8
1.2Структура и морфология облачности.	13
1.3 Нижняя граница облачности.	13
2. МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ	15
2.1 Метод Гоголевой Е.И.	17
2.2. Метод ГАМЦ	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Основные полуэмпирические формулы для расчета ВНГО	26
2.4 Инструментальное измерение ВНГО. использование систем по типу LIDAR	17
3.1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА АЭРОПОРТА ..	27
3.2 Климатическая характеристика аэродрома Псков	29
3.3 Систематизация и анализ исходных данных	30
3.4 Прогнозирование высоты нижней границы облаков при помощи полуэмпирических формул	40
3.4 Меры оценки успешности прогнозов	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	46

ВВЕДЕНИЕ

Точный прогноз высоты нижней границы облачности (ВНГО) имеет решающее значение для безопасной и эффективной организации полетов. Низкая облачность может создавать серьезные опасности для самолетов, включая ухудшение видимости, турбулентность и обледенение.

Точные и своевременные данные о ВНГО позволяют оперативно работать синоптикам на аэродроме, а также обеспечивать надежность полетов авиации. На взлет, посадку и полет самолета большое влияние оказывает низкая облачность. Понимание и прогнозирование ВНГО являются важнейшими факторами для обеспечения безопасности полетов и минимизации задержек и отмен рейсов.

Полет в облаках затруднен из-за: плохой видимости, наличия обледенения при низких температурах и сильного развития турбулентного обмена. Погодные условия, при которых самолет может взлететь или приземлиться, определяются минимумом, составной частью которых является нижняя граница облачности и метеорологическая дальность видимости. Высота нижней границы облачности наряду с другими метеорологическими элементами указывается в оперативных прогнозах по аэродрому (TAF), в прогнозах по районам (районам полетов) содержится в штормовой информации.

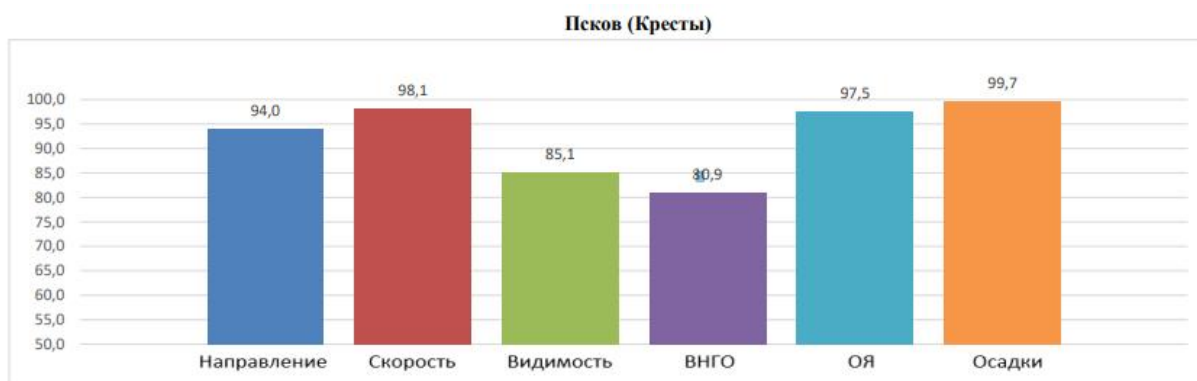


Рисунок 1 Данные об оправдываемости данных ВНГО

Согласно результатов оценки оправдываемости прогнозов АМЦ АМСГ за 2022 год, мы видим, что прогноз высоты нижней границы облачности имеет самый низкий процент оправдываемости среди других метеоявлений.

Всем вышесказанным подтверждается *актуальность* работы.

Цель работы заключается в выявлении условий появления низкой облачности и определении наилучшего метода прогнозирования ВНГО для аэропорта Пскова.

Для выполнения цели, были поставлены следующие задачи:

1. Рассмотреть синоптические ситуации при понижении ВНГО до 300м и ниже на аэродроме г. Псков
2. Собрать исходные данные для возможности проведения анализа и систематизации ВНГО;
3. С помощью полуэмпирических формул, используя собранные систематизированные данные, произвести расчеты ВНГО;
4. Произвести анализ оправдываемости прогноза предикторов, используемых в расчетных формулах для прогноза ВНГО.

Для решения поставленных задач использовались различные литературные источники и интернет-ресурсы, данные аэродромных наблюдений с дискретностью три часа, за период два года. Источником данных о высоте нижней границы облачности, температуре, количестве осадков послужил сайт С

В первом разделе содержится главные характеристики облачности, которые оказывают наибольшее влияние на эксплуатацию аэродромов. Дано краткое описание характеристика установленных минимумов погоды. Так же здесь рассмотрена структура облаков и их особенности.

Второй раздел содержит описание основных методов прогноза ВНГО.

Третий раздел содержит краткое описания физико-географических и климатических особенностей аэродрома Псков. Так же здесь представлены

результаты анализа исходных данных, приведены расчеты данных ВНГО с использованием полуэмпирических формул.

1. Особенности наблюдения за облачностью в аэропорту

Метеорологическое обеспечение полетов организуется в целях наиболее полного и обоснованного, опирающегося на достижения современной науки и передового опыта использования метеорологических условий для эффективного решения задач обеспечения безопасности полетов.

Непосредственные работы по метеорологическому обеспечению всех этапов подготовки и проведения полетов осуществляются составом штатных метеорологических подразделений в соответствии с требованиями руководящих документов, фактического и ожидаемого состояния метеорологических условий, влияния физико-географических и других местных особенностей.

Главной задачей метеорологического обеспечения полетов является своевременное представление руководителям полетов, органов управления воздушного движения, экипажам воздушных судов всех видов фактической и прогностической метеорологической информации, необходимой для планирования, организации и обеспечения безопасности полетов, а также для решения других задач

Метеорологическое обеспечение полетов включает в себя целый комплекс взаимосвязанных мероприятий и работ, выполняемых составом метеорологического подразделения. Для обеспечения полетов прежде всего, нужны достоверные сведения о фактических метеорологических условиях в районе аэропорта и полетов. С этой целью в аэропорту организуются инструментальные измерения метеорологических величин и визуальные наблюдения за явлениями погоды. Одним из наиболее оперативных средств получения полной и достоверной информации о метеорологических условиях в районе аэродрома и полетов являются воздушная и радиолокационная разведка погоды. Важнейшую роль в обеспечении безопасности полетов, является своевременное доведение информации о возникновении, эволюции и перемещении опасных для авиации явлений погоды в районе аэропорта и

полетов. Так же не маловажную роль играет четкая организация и осуществление штормового оповещения и предупреждения. Безопасность полетов обеспечивается также своевременным информированием о запусках аэростатов (шаров-зондов) и траекториях их перемещения над территорией района аэропорта и полетов.

Основными и наиболее ответственными видами работ по метеорологическому обеспечению полетов являются:

1. обработка и анализ всей поступающей в распоряжение метеоподразделения метеорологической информации;
2. разработка авиационных прогнозов погоды и непрерывное информирование о фактическом состоянии погоды по району, маршрутам полетов и запасным аэродромам;
3. сведения об ожидаемых изменениях погоды в течение полетов.

Непременным условием успешной работы метеоподразделений по метеорологическому обеспечению полетов является также четкое ведение информационно-прогностической и других видов метеорологической документации

Среди различных погодных явлений, которые оказывают влияние на регулярность и безопасность полетов воздушных судов, выделяется низкая облачность, а также связанные с ней осадки и туманы, ухудшающие видимость. Совокупность параметров, которые оказывают негативное влияние на проведения полетов называют минимумом погоды.

1.1 Основные минимумы погоды.

Посадкой в установленном минимуме погоды (УМП) называют посадку, при которой один из параметров метеорологических условий минимален для этого воздушного судна. У каждого самолёта минимум свой, и чем меньше скорость, точнее системы посадки на самолёте, тем меньше этот метеоминимум. Также существует метеоминимум аэродрома.

Минимум состоит из двух параметров — это горизонтальная видимость в метрах или километрах и высота нижней границы облачности в метрах. Отдельно выделяют минимумы для взлета и посадки. Например, для Ту-134 минимум может быть 60х800, то есть ВНГО =60м, видимость на посадке=800м

Полёт в УМП является одним из самых сложных элементов подготовки любого лётчика. Если заход идет по правилам визуальных полетов, то днём и ночью минимумы отличаются, отдельно выделяют минимум по правилам приборных полетов.

1.2 Наблюдение за количеством облачности и метеорологическая дальность видимости

Для получения информации о наличии низкой облачности и её высоте используются данные аэродромных наблюдений, передаваемые в специальном формате METAR. После декодирования, эти данные собираются в базу для дальнейшей компьютерной обработки.

Традиционно измерение количества облаков проводится посредством визуального наблюдения. Инструментальные методы в настоящее время широко приняты и используются в оперативной практике для многих применений при определении количества и высоты облаков. Определяется количество облаков в каждом конкретном слое и общее количество облаков, обозримое с пункта наблюдения. Общее количество облаков, или общая облачность, определяется как часть небосвода, покрытая всеми видимыми облаками. Следовательно, оценка общего количества облаков состоит в оценке того, какая часть общей видимой площади небосвода покрыта облаками. Частичное количество облаков представляет собой часть площади небосвода, покрытую облаками одного вида или слоем облаков, как если бы это был единственный тип облачности на небе. Сумма частичного

количества облаков может превышать как общее количество облаков, так и восемь октантов.

Для записи количества облаков в коде КН-01 используются следующие рекомендации (таблица 1.1)

Таблица 1.1 – Кодирование количества облачности в коде КН-01

Кодовая цифра		Значение
0	0	0
1	1 октант или менее, но не 0	1/10 или менее, но не 0
2	2 октанта	2/10–3/10
3	3 октанта	4/10
4	4 октанта	5/10
5	5 октантов	6/10
6	6 октантов	7/10–8/10
7	7 октантов или более, но не 8 октантов	9/10 или более, но не 10/10
8	8 октантов	10/10
9	Небо не видно из-за тумана и/или других метеорологических явлений	
/	Облачный покров неразличим по причинам, не связанным с наличием тумана или другими метеорологическими явлениями, либо наблюдение не производилось	

Прогноз метеорологической дальности видимости тесно связан с прогнозом синоптического положения. В зависимости от ожидаемой синоптической ситуации определяются условия погоды и в соответствии с этим разрабатывается прогноз видимости. При этом важно учитывать, усиливаются или ослабевают явления, ухудшающие видимость.

Можно выделить следующие условия, приводящие к ухудшению видимости у земли:

1. явления, связанные с конденсацией или сублимацией водяного пара;

2. помутнения атмосферы за счет поступления в нее мельчайших частиц пыли и песка, а также снега, поднимаемых ветром с поверхности почвы или снежного покрова;
3. выпадение осадков;
4. поступление в атмосферу продуктов неполного сгорания;
5. сочетание перечисленных выше условий.

Ухудшение видимости может иметь как локальный характер (при радиационном тумане, тумане испарения, ливневых осадках внутримассового характера), так и распространяться на относительно большие площади (при адвективном и фронтальном туманах, обложных осадках, пыльных и песчаных бурях).

Изменение видимости может быть вызвано так называемыми влажными или сухими процессами. Влажные процессы сопровождаются повышением относительной влажности воздуха у земли при устойчивой стратификации атмосферы. Чем выше относительная влажность и чем более устойчиво стратифицирована атмосфера, тем меньше значение видимости. Установлено, что при положительных температурах воздуха и относительной влажности 70% среднее значение видимости равно 7 км, при относительной влажности 80% около 3 км, а при влажности 90% около 2 км. При отрицательной температуре воздуха указанным значениям относительной влажности обычно соответствуют меньшие значения видимости. Наиболее четко эта связь прослеживается в районе населенных пунктов.

В рамках влажных процессов можно рассматривать зависимость видимости от высоты облаков. Установлено, что при высоте облаков около 100 м дальность видимости у земли в светлое время суток в 80% случаев не превышает 4 км. При высоте облаков более 200 м в таком же числе случаев видимость оказывается более 4 км.

В условиях небольшой влажности воздуха (сухие процессы) помутнение атмосферы может возникать за счет взвешенных частиц пыли или дыма. Это явление происходит над засушливыми районами при

сухоадиабатической стратификации атмосферы и хорошо развитой термической конвекции. Аналогичным образом переносится вверх дым городов и промышленных предприятий. Относительная влажность при этом, как правило, не превышает 50%, а видимость может изменяться в широких пределах. Наиболее значительные ухудшения видимости (до десятков метров) наблюдаются при пыльных и песчаных бурях.

Суточный ход видимости связан с суточным ходом температуры, влажности и ветра. Именно вследствие суточного хода этих величин наибольшая повторяемость ухудшенной видимости приходится на утренние часы. В это же время создаются наиболее благоприятные условия для образования тумана и дымки.

При прохождении фронтов видимость часто бывает ухудшена выпадающими осадками, дымкой, туманом, пыльной бурей или метелью.

Обложной дождь ухудшает видимость до 4—6 км. Видимость в ливневом дожде ухудшается до 1—2 км, а нередко до нескольких десятков метров.

Очень сильно ухудшают видимость снегопады и метели. При слабом и умеренном снеге видимость обычно колеблется от 4 до 1 км, а при сильном может ухудшаться до нескольких десятков метров.

Следует учитывать, что не всегда самые плохие условия видимости наблюдаются в непосредственной близости к линии фронта. Так, например, осадки иногда прекращаются за 100—200 км перед линией фронта, и видимость значительно улучшается. Минимальные значения видимости в зоне фронта наблюдаются лишь тогда, когда дефицит точки росы у земли в непосредственной близости к фронту не превышает 1° .

Особенно значительные ухудшения видимости до нескольких сотен и даже десятков метров наблюдаются в зонах малоподвижных фронтов при смешении фронтальных туманов с производственными дымами

1.2 Структура и морфология облачности.

Различимая с места проведения наблюдений совокупность мельчайших капель воды, кристаллов льда или того и другого вместе, нижняя граница которой находится над поверхностью Земли. Предельный диаметр жидких частиц составляет порядка 200 мкм; более крупные капли представляют собой морось или дождь.

За исключением некоторых редких типов (например, перламутровые или серебристые облака) и случайного появления перистых облаков в нижней стратосфере, облака не выходят за пределы тропосферы. Как правило, они образуются в результате конденсации водяного пара на ядрах конденсации в атмосфере. Образование облака происходит во время вертикального движения воздуха, при конвекции, при вынужденном подъеме над возвышенностью или при широкомасштабном вертикальном движении, связанном с депрессиями и фронтами. Облака могут образовываться при определенных значениях вертикального градиента температуры и влажности в результате турбулентности нижних слоев атмосферы и других менее значимых причин. Такие виды деятельности человека, как авиация или промышленность, также могут привести к образованию облаков путем увеличения ядер конденсации в атмосфере. При температурах ниже 0 °C облачные частицы зачастую состоят полностью из капель воды, переохлажденных приблизительно до –10 °C в случае слоистых облаков и приблизительно до –25 °C в случае конвективных облаков. При температурах ниже этих весьма приблизительных предельных значений и выше примерно –40 °C множество облаков являются «смешанными» с преобладанием ледяных кристаллов в нижней части указанного диапазона температур.

1.3 Нижняя граница облачности.

ВНГО - самая нижняя зона, в которой ухудшение видимости, соответствующее изменению состояния атмосферного воздуха от чистого воздуха или дымки до водяных капель или кристаллов льда, вызывает существенные изменения в профилях обратного рассеяния и коэффициентах угасания. Высота нижней границы облаков определяется как высота над уровнем земной поверхности. Для авиационных метеорологических станций уровень земли (поверхности) определяется как официальная высота аэродрома над уровнем моря. Изменения ВНГО зависят от перемены величины дефицита температуры точки росы а также коэффициента турбулентности. Нижняя граница облачности может стремительно меняться за короткое время

Согласно общепринятой информации, граница нижнего яруса облаков находится на высоте до 2 км над землей. Средние облака располагаются между 2 и 6 км, присутствуя на нескольких уровнях одновременно. Верхние облака находятся ниже тропопаузы и достигают высоты от 6 до 13 км. Наблюдается суточный ход в зависимости от времени года: летом облака выше, чем зимой. Чем плотнее облака, тем ниже высота, но их мощность растет.

Температура нижней границы облаков изменяется случайно и не имеет однозначного значения. Они тесно связаны с землей, что влияет на корреляцию их температур. Максимальная температура верхних облаков находится в пределах от -45° до -55° С. Температура облаков изменяется в зависимости от количества облачных слоев.

Измерение высоты нижней границы облаков затрудняется отсутствием четкого определения этой высоты. Воздушные суда ориентируются на естественный горизонт или зрительный контакт при посадке.

Основная цель измерения высоты нижней границы облаков для обеспечения полетов заключается в предоставлении информации о высоте, на которой пилот установит зрительный контакт с землей.

2. Методы диагноза и прогноза высоты нижней границы облачности

Прогнозирование нижней границы облачности является важным аспектом метеорологии и авиации, поскольку плотность и высота облаков существенно влияют на безопасность полетов и видимость. Существует несколько методов и работ, направленных на прогнозирование нижней границы облачности.

Одним из распространенных методов является использование данных синоптических наблюдений с поверхности земли и атмосферных показаний для оценки облачности. Кроме того, современные спутниковые технологии и радары позволяют наблюдать и анализировать облачность в реальном времени, что также помогает в прогнозировании нижней границы облаков. Другим подходом является применение атмосферных моделей и численных прогнозов для оценки облачности.

Однако в моделировании расчет высоты нижней границы облачности выполняется на этапе постпроцессинга и имеет свои сложности. Кроме того, ограничения в разрешении моделей вносят свои коррективы, хорошо отображаются на сетке только процессы, в 8 раз превосходящие разрешение клетки. Таким образом, даже при разрешении модели в 1 км хорошо отображаться будут только процессы, масштабы которых больше 8 км. Облачность к таким параметрам не относится, а потому ее прогноз вызывает определенные трудности.

Таким образом, для прогнозирования нижней границы облачности используются разнообразные методы и технологии, включая анализ наблюдений, численное моделирование атмосферы и современные средства дистанционного зондирования. Комбинирование этих подходов позволяет повысить точность и достоверность прогнозов погоды, что важно для многих отраслей, включая авиацию, сельское хозяйство и строительство.

Для метеорологического обеспечения полетов необходима подробная информация об облачности, особенно о таких ее характеристиках, как высота

нижней и верхней границ, форма и количество облаков, расслоенность, толщина облачных слоев и безоблачных прослоек, а также фазовое состояние облачных элементов.

Прогноз указанных характеристик тесно связан с прогнозом синоптического положения и разрабатывается на основе закономерностей, отражающих связь между образованием облачности и различными атмосферными объектами (барическими образованиями, фронтами, воздушными массами). При разработке прогноза облачности прежде всего учитываются перемещение и эволюция барических образований и атмосферных фронтов, адвекция и трансформация воздушных масс, суточный ход ряда метеорологических величин и влияние местных физико-географических особенностей.

Перемещение и эволюция фронтальных облачных систем прогнозируются исходя из ожидаемого перемещения и эволюции барических образований и фронтальных разделов. Поскольку фронтальные облачные системы на протяжении периода краткосрочного прогноза (до 36 ч) часто претерпевают сравнительно не большие изменения, успешность прогноза их характеристик в этих случаях зависит главным образом от наличия в распоряжении прогнозиста информации о фактическом состоянии облачности на фронте и от точности предсказания перемещения фронта. Однако в условиях активных атмосферных процессов необходимо прогнозировать и эволюцию фронтальных облачных систем.

Значительные сложности могут возникать и при прогнозе внутримассовой облачности. Характеристики этой облачности, как правило, существенно изменяются на протяжении периода, прогноза и не могут быть определены путем простого переноса облачных полей, наблюдавшихся в исходный момент.

2.4 Инструментальное измерение ВНГО. Использование систем по типу LIDAR

Дистанционное зондирование атмосферы в оптическом диапазоне является эффективным способом получения информации о ее физико-химических и динамических характеристиках. Лидарные системы атмосферного мониторинга применяются в метеорологии, для обеспечения безопасности полетов. В последние десятилетия произошёл значительный прогресс в развитии лазерной техники, что послужило основой для создания и внедрения коммерчески доступных систем дистанционного измерения параметров атмосферы.

В зависимости от того, как излучение взаимодействует с веществом, можно получить разнообразную информацию о состоянии и составе изучаемого объекта или среды, в которой он находится. Лидары нашли своё применение в различных областях, таких как 3D-сканирование, сенсорика беспилотных транспортных средств и обеспечение воздушной безопасности. Сегодня лидарные системы широко используются для анализа атмосферы с целью определения скорости и направления ветра, а также высоты нижней границы облачности.

В методах лидарного зондирования, основанных на аэрозольном рассеянии, используются зависимость лидарных сигналов от формы и размера частиц, в следствии этого они отличаются интенсивностью или сечениями взаимодействия, что позволяет достоверно регистрировать сигналы.

Среди мобильных лидарных комплексов можно выделить серию многоволновых лидаров, установленных на автомобильных шасси. Они предназначены для решения комплексных задач зондирования атмосферы.



Рисунок 2.4. Подвижные станции с системами LIDAR

Также были разработаны специализированные мобильные ветровые лидары. Каждый из них оснащён набором измерительных лидарных каналов, основанных на разных физических эффектах, для эффективного решения поставленных задач.

В некоторых случаях достаточно знать относительное распределение аэрозольных частиц в вертикальном направлении. Это важно, например, для метеорологического обеспечения безопасности полётов, поскольку облака оказывают сильное влияние на режимы полёта и взлёта-посадки самолётов. Измерение вертикального профиля распределения аэрозольного состава атмосферы позволяет определить нижнюю границу облачности, плотность и количество облачных слоёв.

Для получения информации о распределении аэрозольных образований, определения нижней границы облачности, а также количества и высотности облачных слоёв используются вертикально направленные стационарные одноволновые аэрозольные лидары. Их называют облакомерами.

В настоящее время за рубежом разработано и серийно производится несколько моделей облакомеров, предназначенных для измерения

параметров облачности и мониторинга приземного слоя. Среди них — CL31 от VAISALA, CHM15K «NIMBUS», CS135 и другие. Из российских разработок стоит отметить датчик высоты облаков ДОЛ-2 ЛОМО.

На авиаметеорологической сети станций РФ используются светолокационные измерители высоты облаков (ИВО и РВО), а также средства измерений нового поколения, которые применяют лазерную технологию обработки измерительной информации (лидары).

К основным недостаткам светолокационных измерителей можно отнести их неработоспособность в условиях осадков, особенно если это снег. Это связано с параметрами зондирующего светового импульса. Его длительность (порядка одной микросекунды) слишком велика для обнаружения неоднородностей оптической плотности атмосферы в направлении зондирования. В результате профиль оптической плотности сильно сглаживается, что не позволяет получать достоверные данные о высоте нижней границы облаков в сложных метеорологических ситуациях, когда присутствуют осадки и подоблачная дымка.

Эхо-сигнал от осадков формируется слоем атмосферы толщиной в несколько сотен метров. Это создаёт помеху встречного рассеяния, которая затушёвывает положение нижней границы облаков. В настоящее время светолокационные измерители заменяются приборами нового поколения. Они используют очень короткие импульсы оптического излучения и современную технологию обработки измерительной информации.

Лазерный облакомер ДОЛ-2 -датчик облаков лазерный предназначен для постоянного дистанционного измерения высоты нижней границы облаков, определения количества облачных слоёв, вертикальной видимости. Он также документирует результаты измерений и отображает информацию для обеспечения безопасности взлёта и посадки воздушных судов на аэродромах. Измерения можно проводить в любое время суток. Датчик можно использовать отдельно или в составе автоматизированных метеостанций.

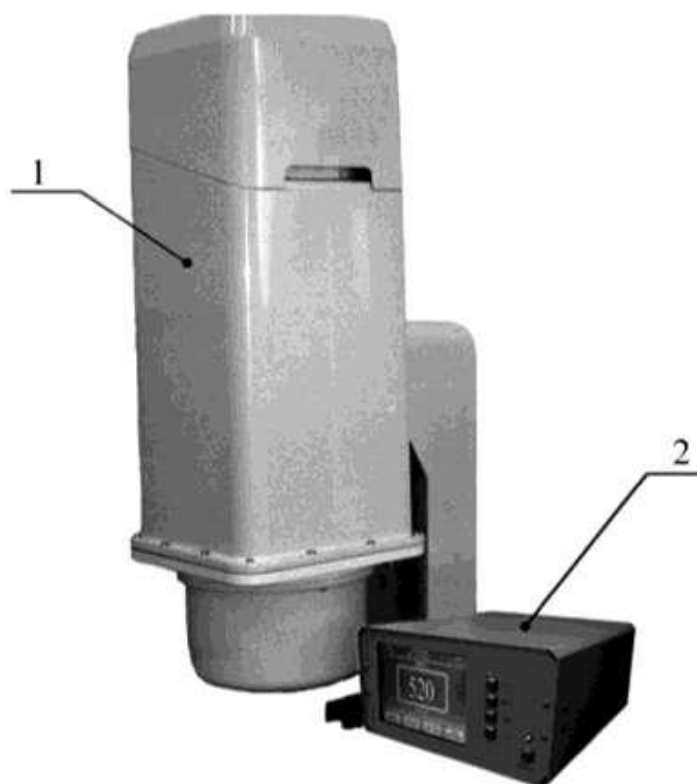


Рисунок 2.5 ДОЛ-2, УПП и БУ

Датчик состоит из управляющего пульта (УПП) и блока управления (БУ), соединённых между собой аэродромной линией связи. УПП предназначен для работы на открытом воздухе и содержит опτικο-электронные узлы, которые собирают и обрабатывают информацию об обнаружении облаков, их высоте и слоистости.

БУ управляет работой УПП, контролирует её, а также отображает результаты измерений, статистически обрабатывает данные, архивирует их и передаёт результаты измерений на автоматизированные метеостанции (АМС) или персональные компьютеры (ПЭВМ).

Принцип работы датчика основан на измерении времени прохождения атмосферы лазерным импульсом. Импульс достигает нижней границы облаков, отражается от неё и принимается приёмником. В датчиках используется лазерная технология, которая позволяет формировать пачки лазерных импульсов и осуществлять зондирование в вертикальной плоскости. Фотоприёмное устройство (ФПУ) принимает излучение, рассеянное за счёт

тумана, дымки, осадков и облачных слоёв, и формирует результирующий профиль обратного рассеяния. Этот профиль проходит цифровую обработку для получения необходимой информации. В результате выделяются до двух слоёв облачности, определяется высота их нижних границ.

Электронная схема фотоприёмного устройства преобразует отражённые лазерные импульсы в электрические сигналы. Эти сигналы преобразуются в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП).



Рисунок 2.6 Индикация отсутствия низких облаков

При отсутствии облаков в диапазоне более 3000 м на блоке управления выдается информация об отсутствии облаков «>3000».



Рисунок 2.7 Индикация о значении вертикальной видимости

На рисунке 2.7 изображён случай, когда УПП не может точно определить высоту нижней границы облаков из-за сильного дождя или тумана. Кроме того, на рисунке указана информация о вертикальной видимости.



Рисунок 2.8 Индикация многослойной облачности

На рисунке 2.8 представлен случай, когда УПП сообщает о наличии многослойной облачности, отображается информация о высоте двух нижних слоев



Рисунок 2.9 отображение архива данных в системе

В процессе работы БУ сохраняет данные измерений в архиве. Срок хранения данных в архиве составляет 30 дней. Принцип работы архива

основан на правиле «первый вошёл — первый вышел». Это означает, что через 30 дней после начала работы устройства данные за первые сутки автоматически удаляются.

Управление архивом осуществляется через специальное меню, доступное из ручного режима. В меню можно увидеть графическое представление облачной обстановки, скопировать архив на внешний носитель через USB-порт, а также сгенерировать и распечатать отчёт об измерениях, сделанных датчиком в предыдущие сутки.

Информация об облачной обстановке отображается на поле 1, выделенном на рисунке 2.9. Ось ординат (высота, м) градуируется в зависимости от выбранного временного диапазона. Ось абсцисс (время, ч) соответствует масштабу.

2.1 Методы прогноза ВНГО

Одним из методов прогноза высоты нижней границы облачности является метод Гоголевой Е.И. В его основе лежат два предиктора: температура и температура точки росы. График определения ВНГО представляет собой пересечение двух осей, по которым отмечается по вертикали температура, а по горизонтали прогностическая температура точки росы. Размещенные на графике наклонные линии разделяют области с преобладанием облаков указанных пределов.

Данный метод хорошо себя показывает при медленно меняющейся синоптической ситуации и достаточно хорошо выраженном переносе воздушных масс. Самый оптимальный срок прогноза с использованием данного метода составляет около 9 часов, но при необходимости руководствуясь данным методом прогноза можно составлять прогнозы с заблаговременностью сроком до 12 часов

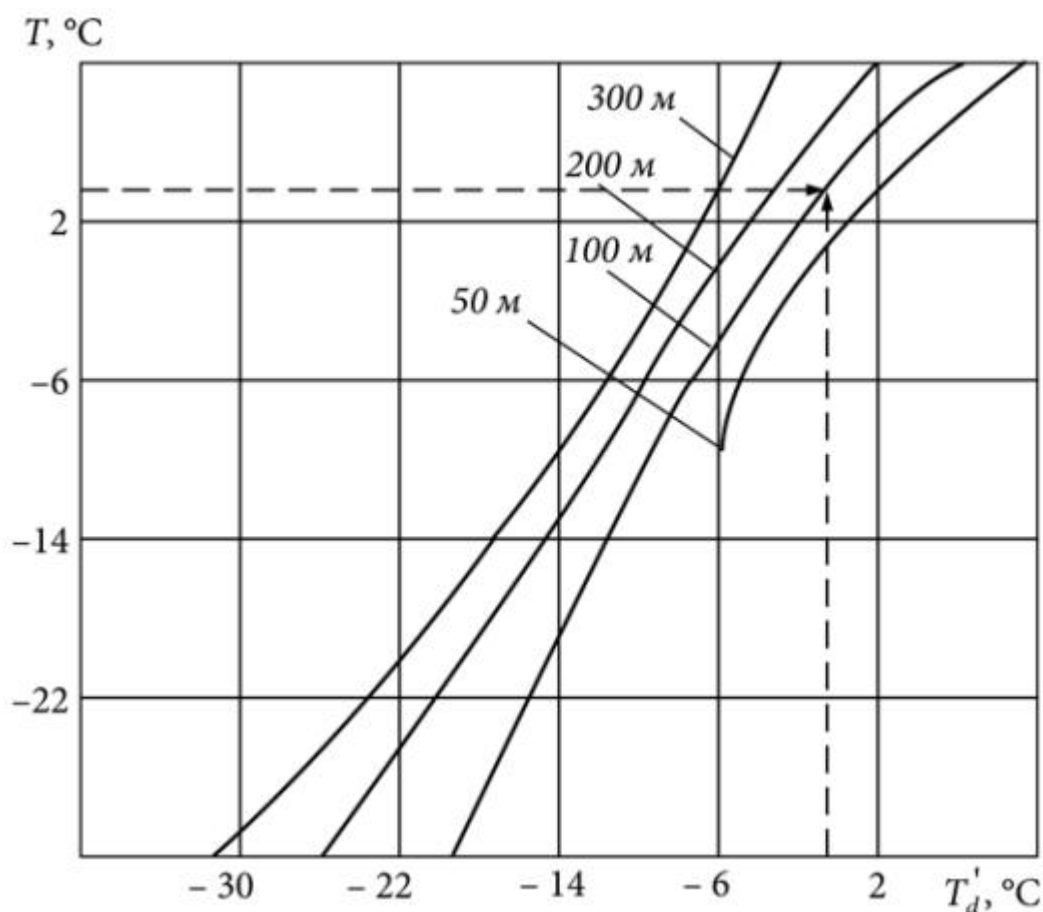


Рисунок 2.1 - График для прогноза ВНГО по методу Е. И. Гоголевой

В процессе использования данного метода, Абрамович К.Г. внес дополнительные поправки, в целях получения более точного прогноза. При превышении температуры воздуха более чем на 4°C за 12 часов, то наблюдается понижение облачности при адвекции тепла и повышение при адвекции холода. При превышении температуры более чем 6°C/ за 12 ч, при адвекции тепла возможно образование или стремительное снижение облачности, а при адвекции холода рост ВНГО или растекание облаков. По данным наблюдений для центральной части России оправдываемость этого метода составляет около 70-80 процентов.

Метод Е. И. Гоголевой положен в основу многих различных методов определения нижней границы облачности. Так, например, на основе вышеописанного метода был создан метод ГАМЦ. Здесь тоже используются данные о фактической температуре и температуре точки росы. Приведенные

ниже графики предоставляют хороший процент оправдываемости для прогноза ВНГО сроком от 6 до 12 часов

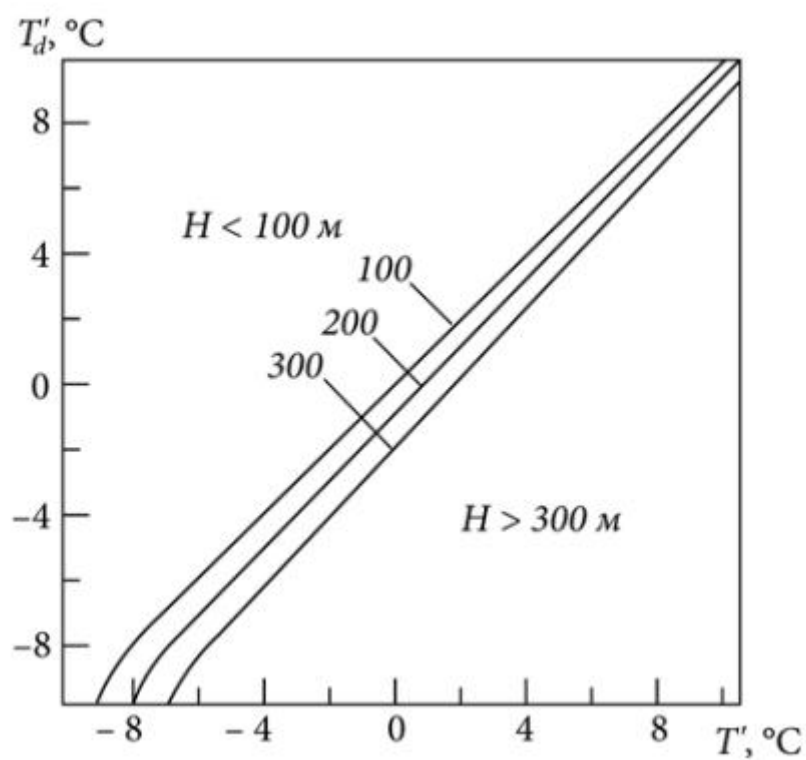


Рисунок 2.2 График прогноза ВНГО с использованием прогностических значений температуры T' и температуры точки росы T_d'

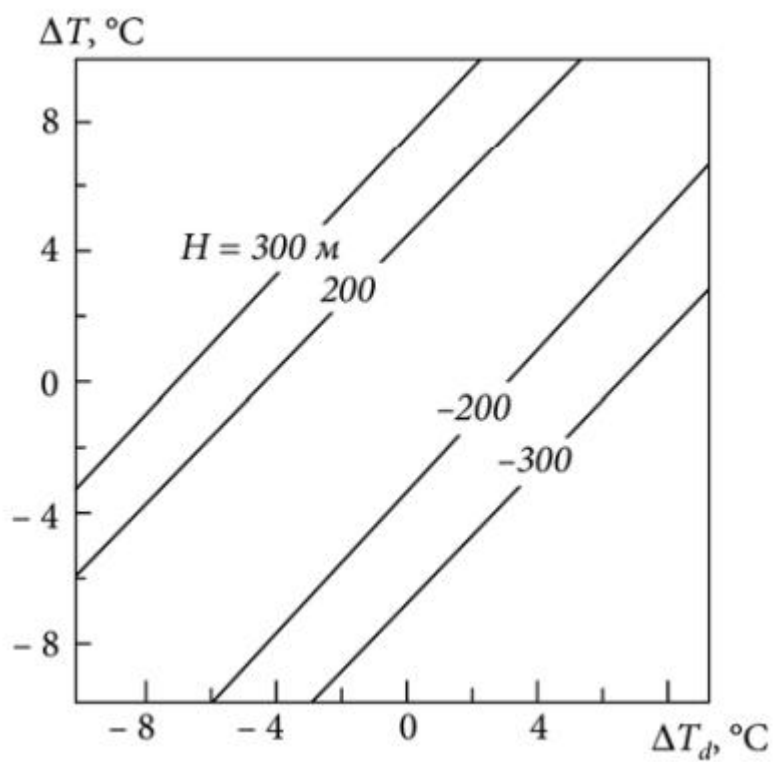


Рис. 2.3. График для оценки изменений ВНГО

Зачастую в расчетах применяется уровень ВНГО вместо уровня конденсации, для нахождения которой удобно использовать аэрологическую диаграмму. С помощью синоптико- статистического метода можно определить высоту НГО

При осадках и тумане, ухудшающих видимость до 4 км в средних широтах России, верхняя граница облачности находится в пределах 100—200 м, а при видимости менее 1,5 км — 30—60 м.

2.3 Основные полуэмпирические формулы для расчета ВНГО

При расчете ВНГО полуэмпирическим методом большое распространение получили следующие формулы, которые использованы в данной работе:

формула Ипполитова:

$$H=24*(100-R) \quad (2.1)$$

формула Ферреля:

$$H=122*(T-T_d)_0 \quad (2.2)$$

безымянная формула:

$$H=122*(T-T_d)_0-m \quad (2.3)$$

Во всех формулах, которые приводятся: h - высота нижней границы облаков, м; t - температура воздуха на поверхности земли, °C; t_d - температура точки росы на поверхности земли, °C; r - относительная влажность, %; m - коэффициент, учитывающий осадки. При налипании $m =$

80, для других форм осадков $m = 50$ и при отсутствии осадков $m = 0$ (в этом случае формула становится формулой Ферреля). Помимо указанных выше формул существует еще множество других, некоторые анонимные, а другие приписываемые определенным авторам. Однако не будем останавливаться на них, так как они основаны на тех же параметрах, их различие заключается только в коэффициентах. Другими словами, остальные формулы были получены из анализа определенного набора наблюдений

3.1 Физико-географическое описание района аэропорта.

Международный аэропорт Псков имени княгини Ольги— международный аэропорт федерального значения в городе Пскове находится в 4,5 км к юго-западу от центра города. Контрольная точка аэродрома имеет следующие координаты (КТА) $-57^{\circ}78'18''$ с.ш. и $28^{\circ}39'40''$ в.д. Длина ВПП составляет 2520 метров.

Большая часть аэродрома находится на равнине без значительных перепадов высот. С запада и востока аэродром окружен лесным массивом. На востоке от расположения аэродрома протекает река Великая, а на севере в неё впадает приток, река Черёха.

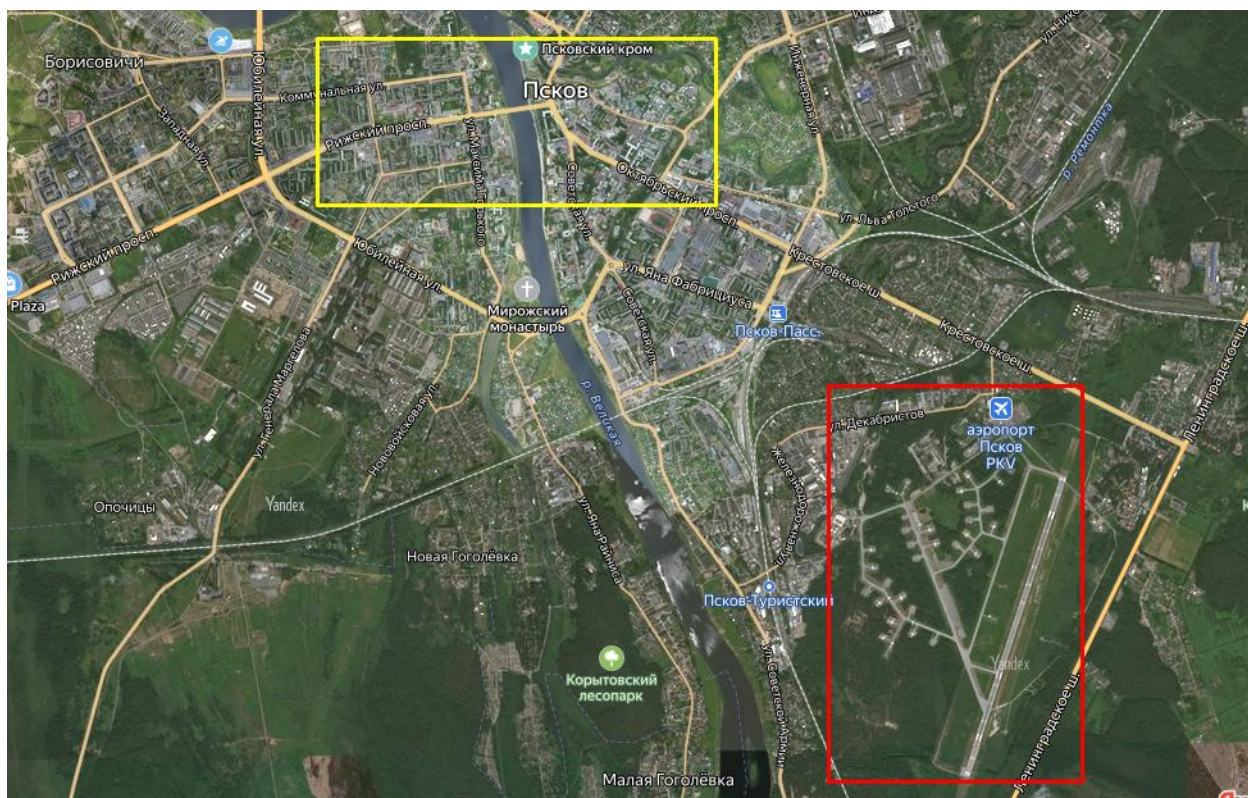


Рисунок 3.1 - Расположение аэропорта относительно центра города
Псков

На аэродроме в городе Пскове также имеется широкий спектр обслуживающих объектов, включая ангары для хранения и ремонта самолетов, зоны технического обслуживания, пассажирский терминал и другие сооружения. Благодаря своему статусу "А" аэродром может принимать самолеты различных типов и классов, от небольших частных самолетов до крупных пассажирских лайнеров.

Так же является аэродромом совместного базирования. На аэродроме дислоцирован 334-й военно-транспортный Берлинский краснознамённый авиационный полк (334-й ВТАП 61-й Воздушной армии ВГК), вооружённый самолётами Ил-76МД 90А.

Важным аспектом функционирования международного аэропорта является обеспечение безопасности полетов и поддержание бесперебойной работы воздушного пространства.

Кроме того, такой аэродром играет важную роль для региона в плане развития транспортной инфраструктуры и стимулирования экономического роста благодаря притоку пассажиров, грузов и туристов.

3.2 Климатическая характеристика аэродрома Псков

Климат Псковской области характеризуется как умеренно-континентальный, влажный, с некоторыми чертами морского климата из-за близости Атлантического океана. Расположенная на границе зоны переходного климата, территория Псковской области имеет нестабильный характер погоды в течение всего года. Лето в области влажное и умеренно теплое, а зимы относительно мягкие.

Воздушные массы атмосферы с континентальным, морским и арктическим влиянием циркулируют над Псковской областью из-за ее расположения. Преобладают южные и юго-западные ветры (16–21%), а также юго-восточные и западные (12–16%).

Среднегодовая температура воздуха в пределах области колеблется от (+4,3) до (+4,8)°C. Самый холодный месяц, январь, имеет среднюю температуру (-7) – (-10)°C, иногда достигающую -30°C, а в отдельные годы даже -40°C. В июле, самом теплом месяце, средняя температура колеблется от (+16) до (+18)°C, а максимальная может достигать +32°C. В течение года в среднем насчитывается 178 дней с температурой выше +10°C.

Количество атмосферных осадков по территории области неравномерно. В среднем, ежегодно выпадает около 600 мм осадков, причем на возвышенностях этот показатель может достигать до 855 мм. Большинство осадков выпадает в теплый период года, а примерно 556 мм осадков приходится на апрель-октябрь. На подветренных склонах, равнинах и у побережья Псковско-Чудского озера осадков меньше, в среднем от 643 до 681 мм в год, что создает некоторую вариабельность осадков по региону.

В целом, климатические условия Пскова благоприятны для авиационной деятельности.

3.3 Систематизация и анализ исходных данных

Для проведения анализа и оценки оправдываемости прогноза были взяты данные с сайта ВНИИГМИ МЦД aisori-m.meteo.ru Для анализа привлекались данные за период с 01.01.2022 по 31.12.2023 года. Измерения метеорологических параметров производились каждые три часа. В исходные данные вошли результаты 3651 наблюдений, из которых в 206 случаях наблюдалась низкая облачность с высотой 300 метров и менее

Для отображения общей тенденции хода высоты ВНГО в аэропорту Псков, в работе отображены графики квартального хода нижней границы облачности. Для оптимизации, лучшей наглядности и удобства за низкую облачность при исследовании принималась высота НГО в 300 метров и менее. С помощью представленного ниже графика можно определить, когда наиболее вероятно повторение данных неблагоприятных условий.



Рисунок 3.2 - Повторяемость низкой облачности по месяцам, среднее значение за 2022- 2023 год.

Анализируя данный график, можно сделать вывод о том, что наибольшее число случаев возникало в зимний период. Для более четкого понимания причин возникновения ВНГО в этот период года, рассмотрим с синоптической точки зрения каждый месяц.

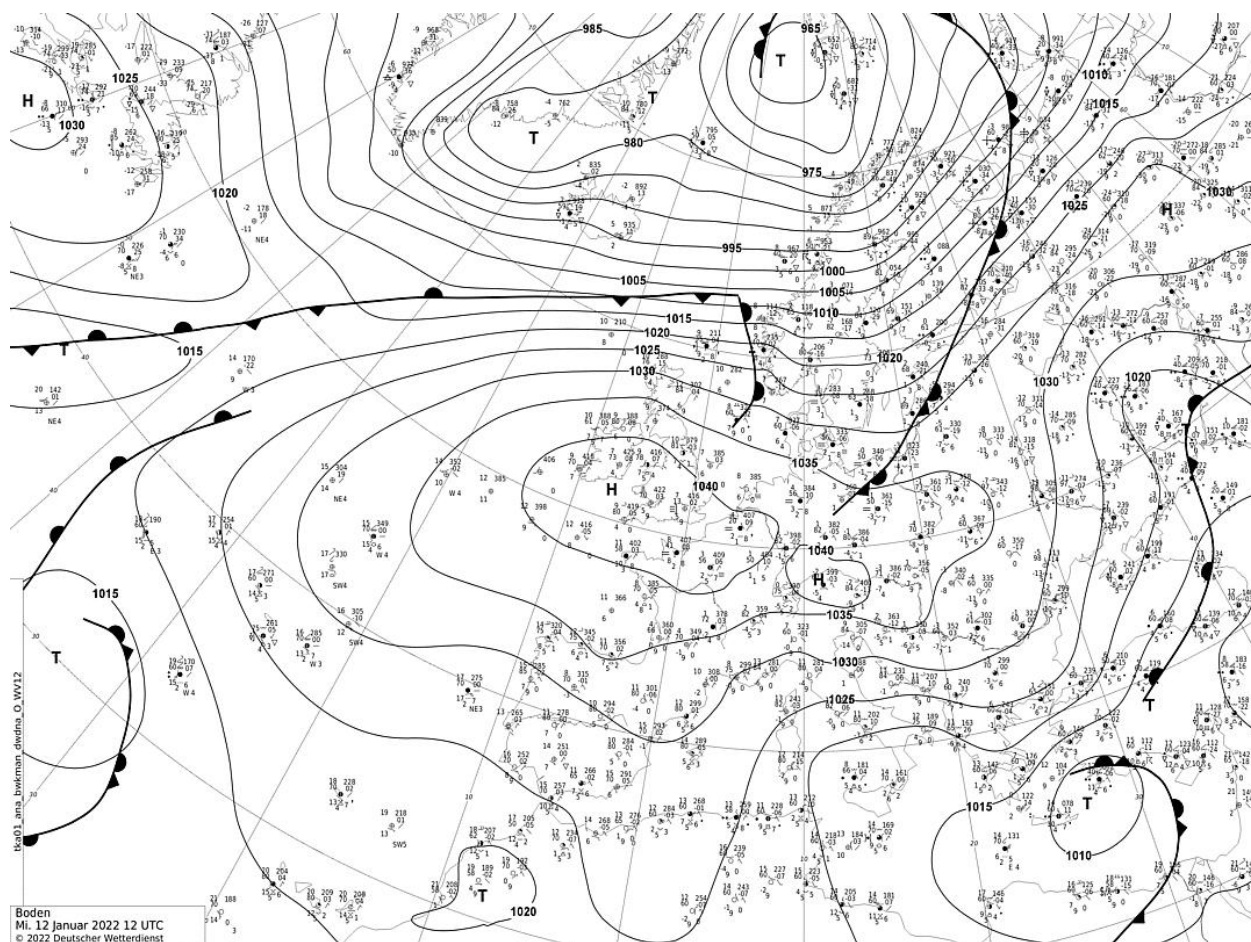


Рисунок 3.3 – Карта перемещения барических образований за 12 января 2022 года.

С 11 по 12 января на большей части европейской территории России (ЕТР) погоду определял западный антициклон. Он переместился на север Приволжского федерального округа (ФО). В конце периода на северо-западе ЕТР начал влиять Атлантический циклон с центром в районе Шпицбергена. В течение этого периода на большей территории ЕТР была морозная погода. Среднесуточная температура была примерно на 2-6 градусов, а местами на 8 градусов ниже климатической нормы. Ночью температура опускалась до -24 градусов на востоке Коми и до -31 градуса, а днём была в диапазоне от -15 до -7 градусов. На юге ЕТР температура ночью была от -3 до +4 градусов, а днём — от 0 до +10 градусов.



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ФГБУ «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР КОСМИЧЕСКОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ «ПЛАНЕТА»

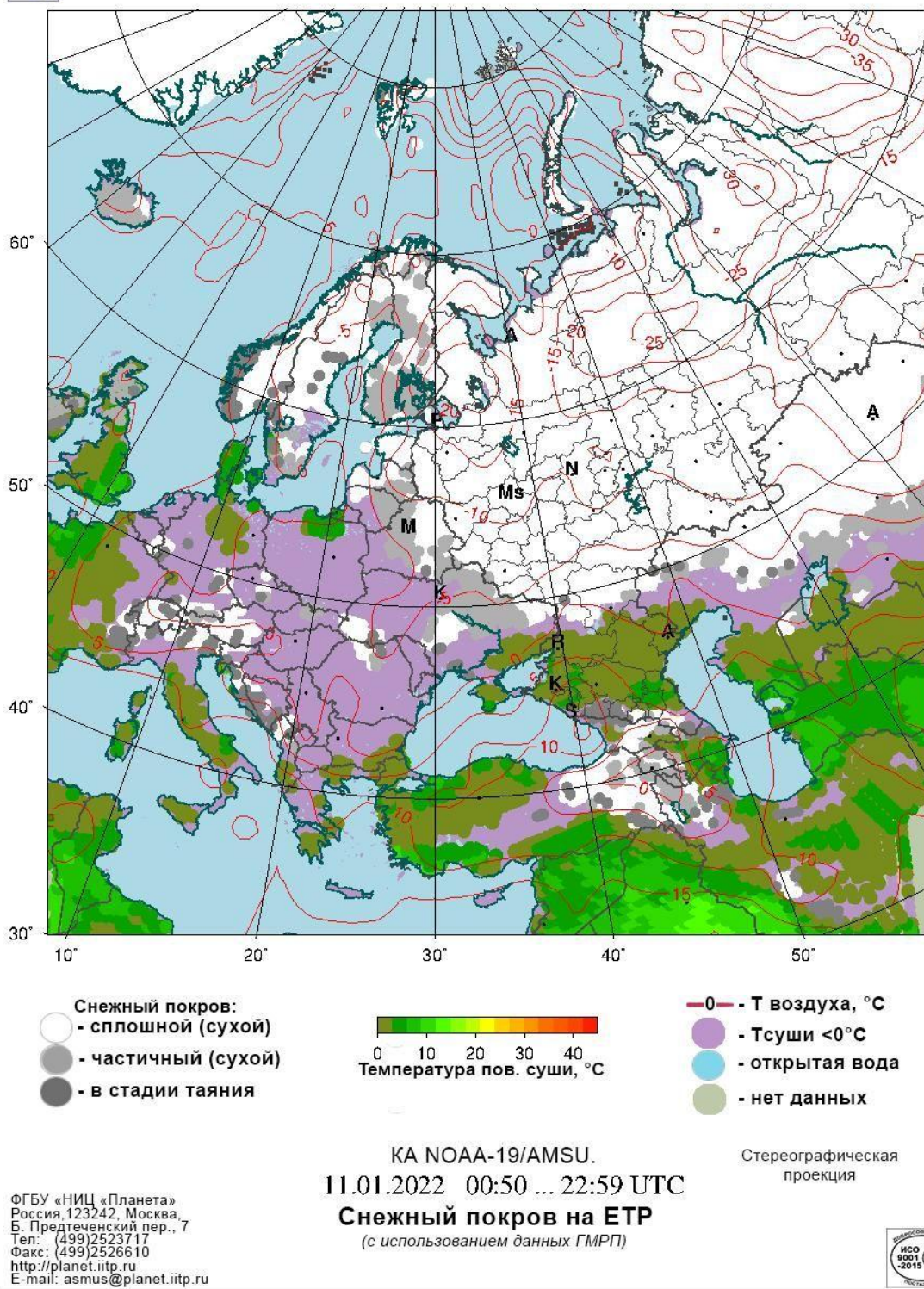


Рисунок 3.4 – Карта снежного покрова, совмещенная с температурой поверхности суши за 12 января 2022 года.

На спутниковой карте и в монтажном изображении, где спутниковые снимки совмещены с картой высоты снежного покрова, можно увидеть его

распределение по территории 11 января. В большинстве районов Европейской территории России высота снега составляет от 15 до 35 сантиметров. В некоторых местах Центрального, Приволжского и Северо-Западного федеральных округов она достигает 50 сантиметров и более.

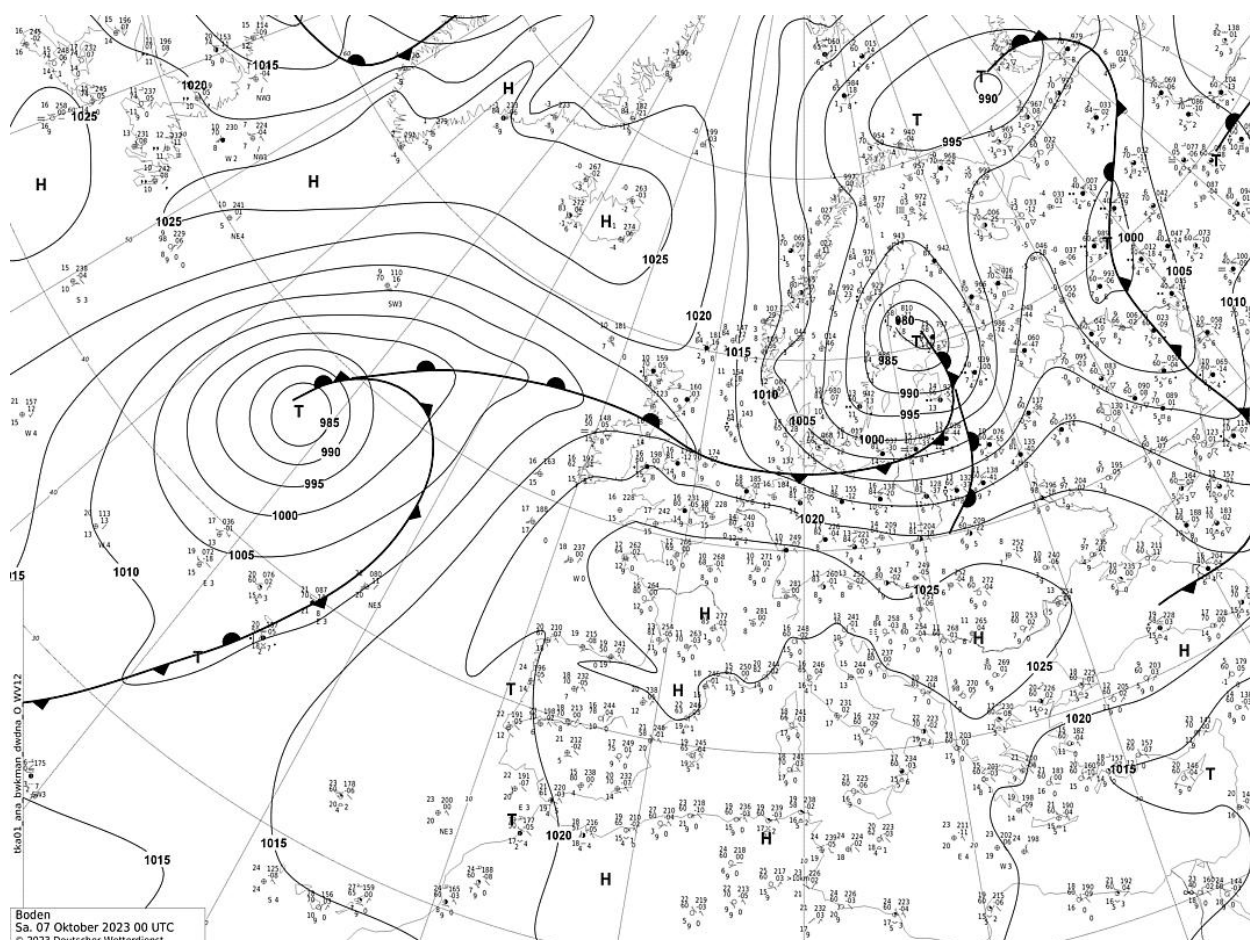


Рисунок 3.5 – Карта перемещения барических образований за 07 октября 2023 года.

В период с 7 по 9 октября на большей части европейской территории России метеорологические условия были обусловлены влиянием глубокого Атлантического циклона и его атмосферных фронтов. В начале этого периода в южных регионах ещё сохранялось влияние антициклона. В эти дни на севере и западе европейской территории России прошли слабые и умеренные осадки в виде снега, мокрого снега и дождя. В южных регионах

наблюдались дожди, местами с грозами. На большей части территории ветер усиливался до 14-19 м/с. В начале периода сильные дожди прошли в Новгородской, Вологодской, Архангельской, Московской, Ленинградской и Псковской областях. Количество выпавших осадков составило от 15 до 27 мм.

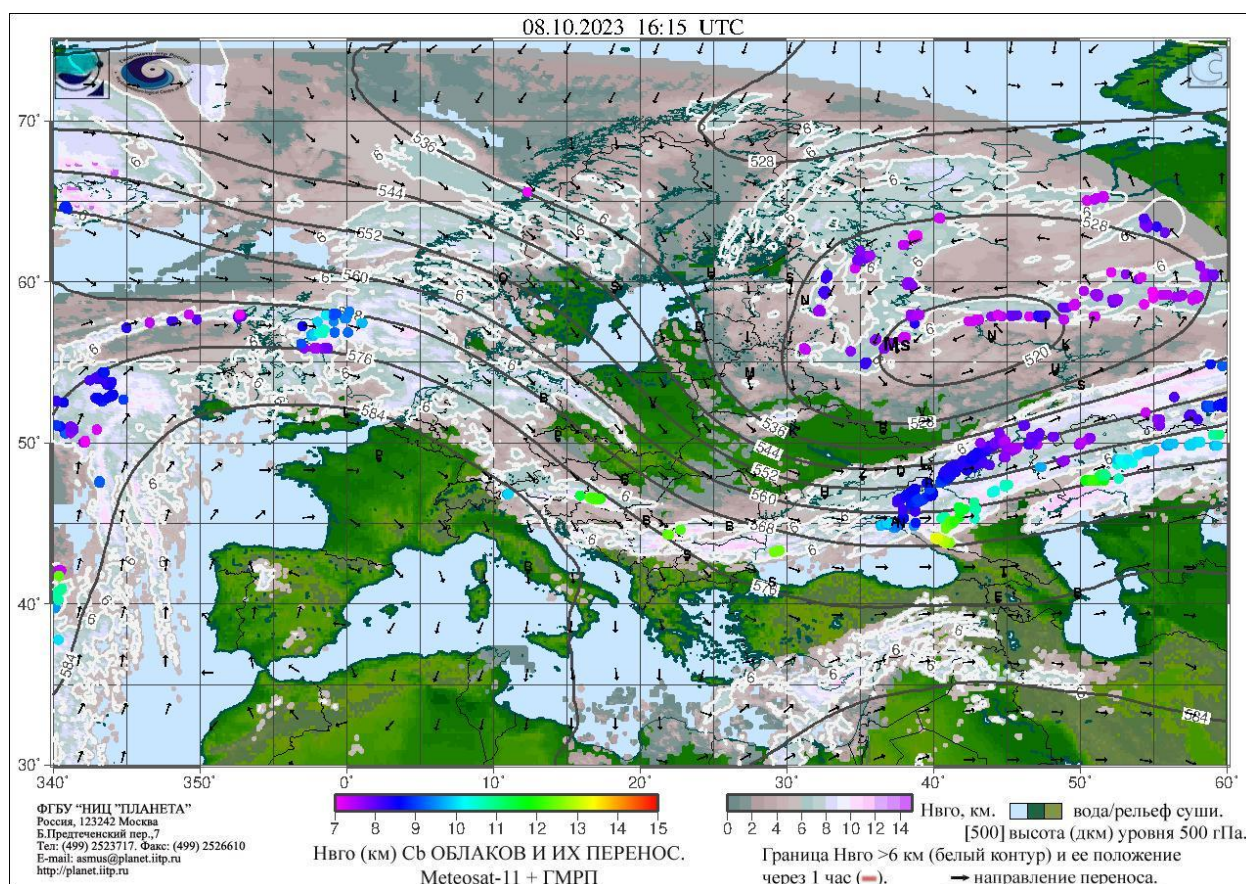


Рисунок 3.6 – карта переноса облаков за 08 октября 2023 года.

Согласно спутниковым данным, 8 октября на большей части европейской территории России (ЕТР) высота верхней границы кучево-дождевых облаков достигала 9 километров, а на юге — даже 12 километров. Местами прошли слабые и умеренные осадки, а на юге с грозой. Порывы ветра достигали 20 метров в секунду.

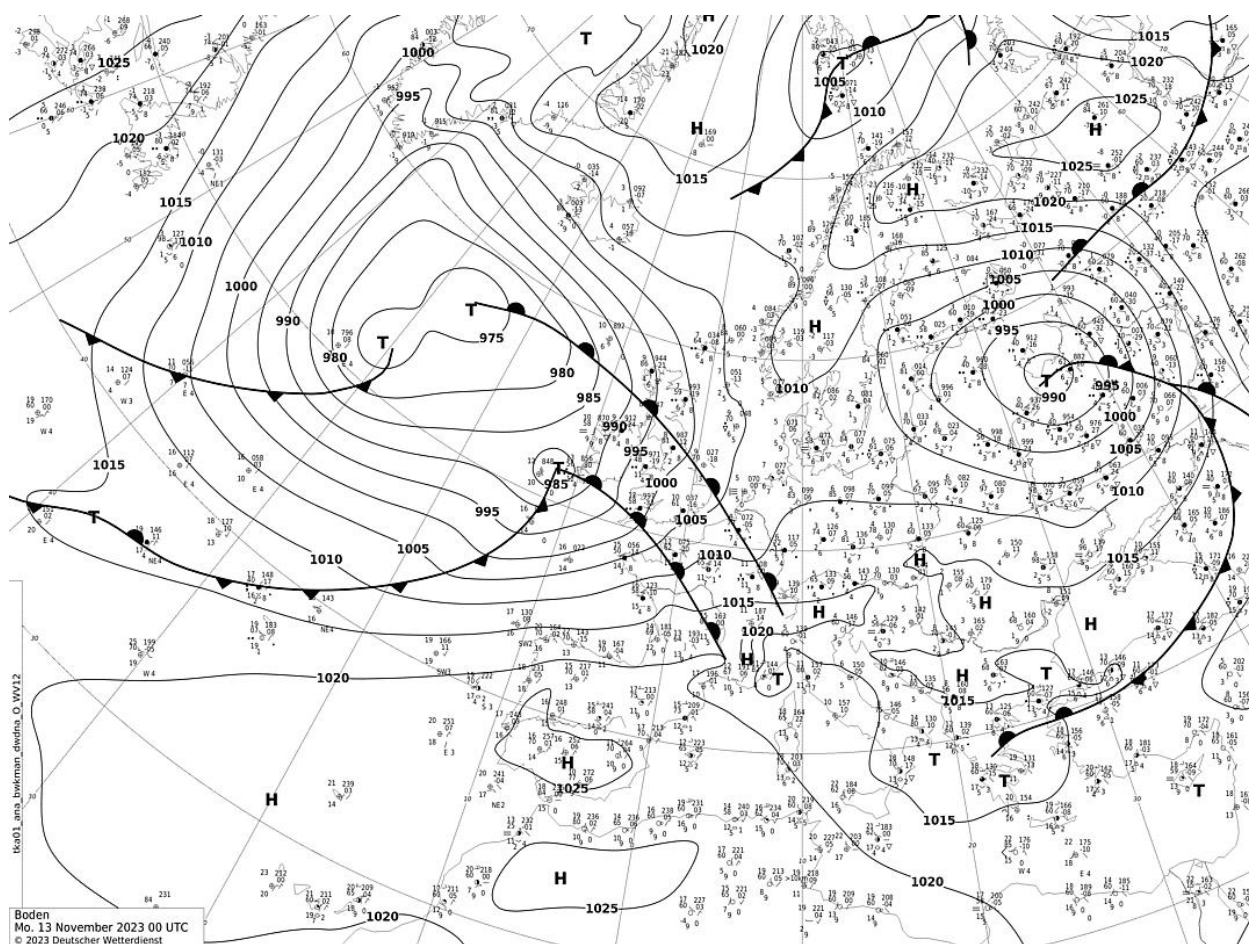


Рисунок 3.7 – Карта перемещения барических образований за 13 ноября 2023 года.

В период с 11 по 13 ноября на большей части европейской территории России (ЕТР) погодные условия были обусловлены прохождением циклона. Циклон перемещался с запада на север Центрального федерального округа. В начале этого периода на севере Скандинавского полуострова образовался антициклон, который двигался вдоль арктического побережья. В эти дни на севере и востоке ЕТР температура ночью составляла от -9 до -1 °С. На большей части ЕТР, включая центральные районы, прошли осадки. В основном это был дождь, а на севере — сильный дождь и снег. Особенно сильные осадки в виде дождя, снега и мокрого снега наблюдались в Псковской и Тверской областях. В этих регионах выпало от 13 до 15 миллиметров осадков в водном эквиваленте. В частности, в Псковской

области зафиксировано налипание мокрого снега диаметром до 30 миллиметров.

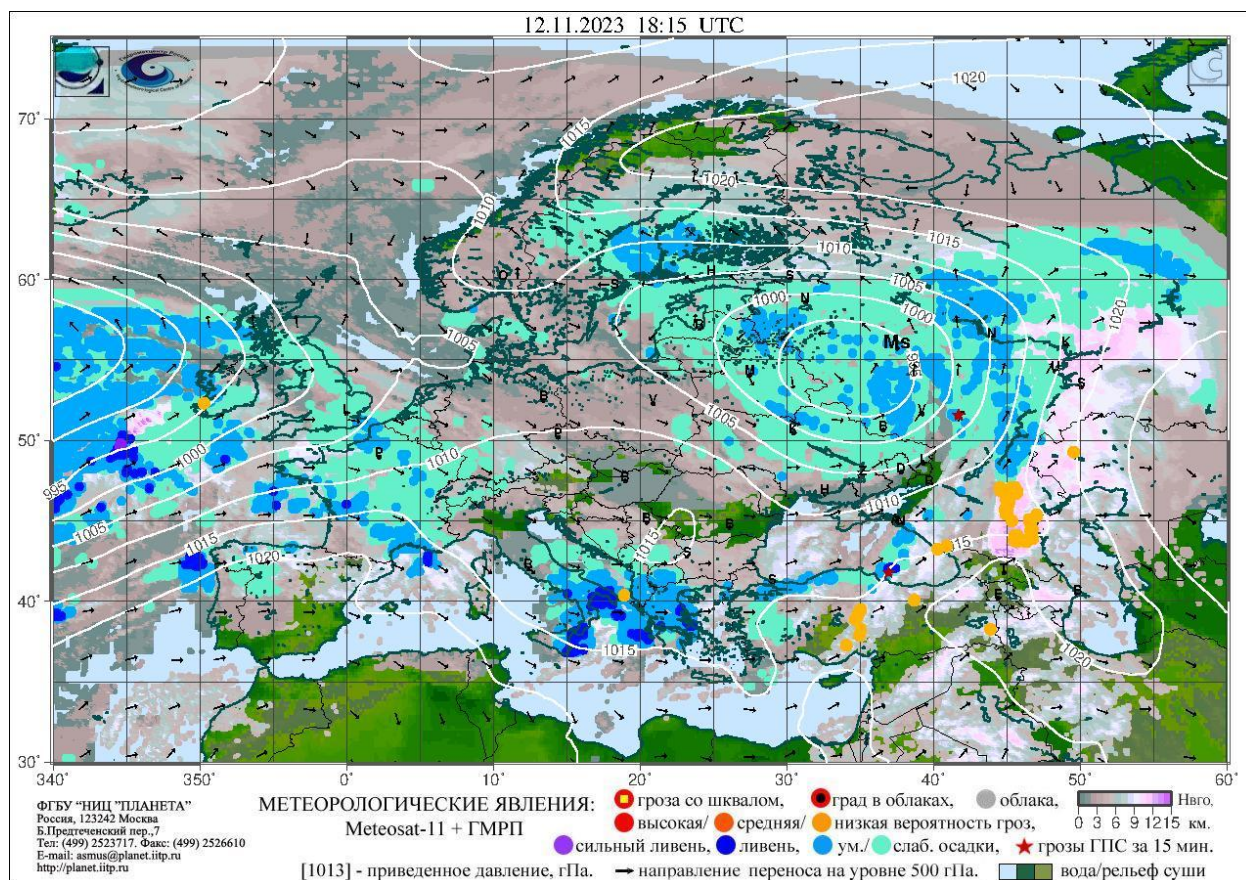


Рисунок 3.8 – Карта метеорологических явлений за 12 ноября 2023 года.

Согласно спутниковым данным, 11 ноября в южной и юго-восточной частях Европейской территории России (ЕТР) наблюдались небольшие и умеренные осадки в виде дождя. В то же время на севере и северо-востоке шёл снег с дождём. Скорость ветра достигала 20 м/с.

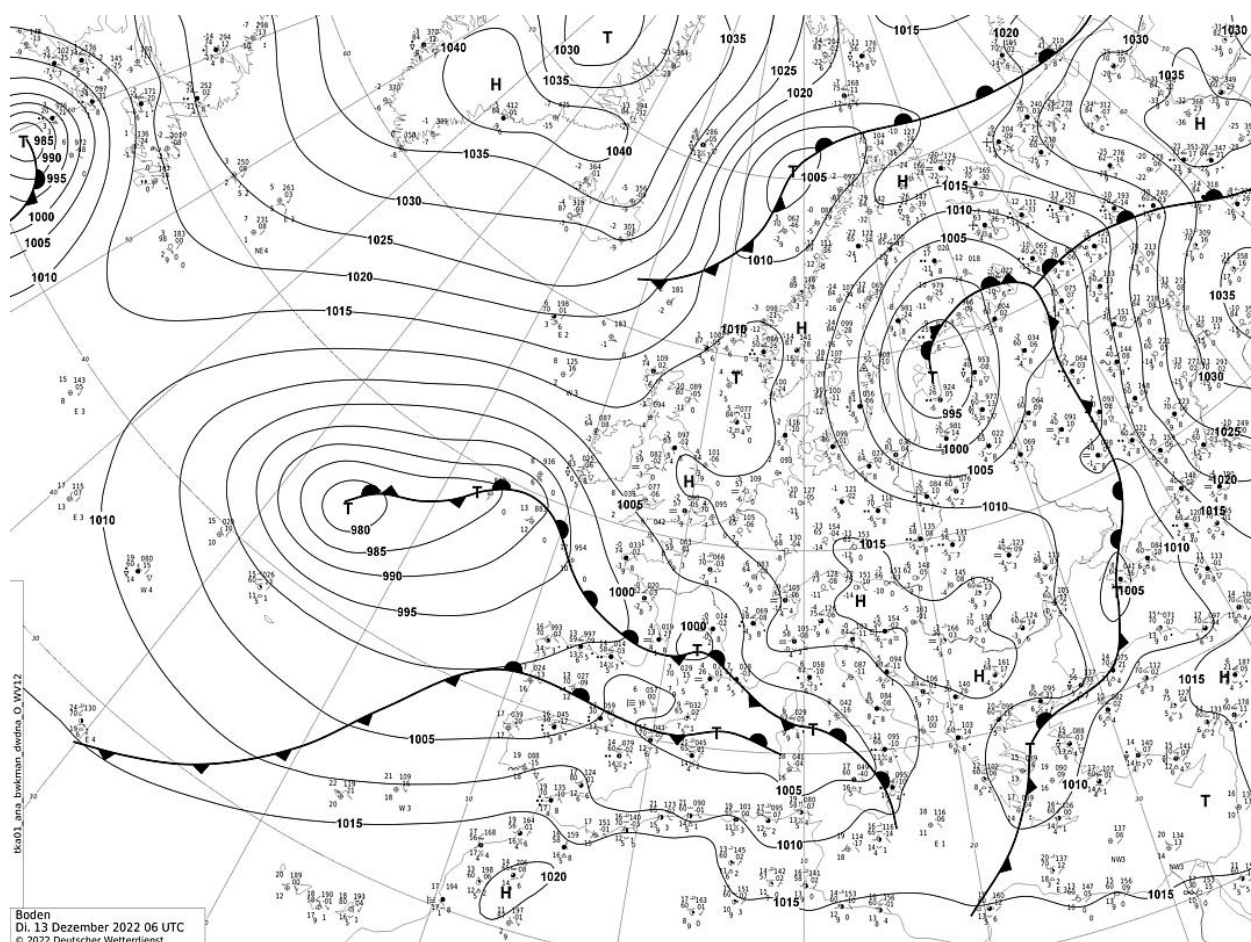


Рисунок 3.7 – Карта перемещения барических образований за 13 декабря 2022 года.

С 13 по 14 декабря погодные условия на большей части европейской территории России определялись влиянием атмосферных фронтов обширного циклона с несколькими центрами над Западной Европой. В конце периода температура воздуха на большей части европейской территории России понизилась. Ночью она составляла от -12 до $+3$ °С, днём — от -7 до $+6$ °С. На северо-востоке Северо-Западного федерального округа сохранялась морозная погода. В течение суток температура воздуха составляла от -21 до -15 °С, а ночью местами опускалась до -27 °С. На западе Северо-Западного федерального округа температура воздуха в течение суток составляла от -9 до -1 °С.

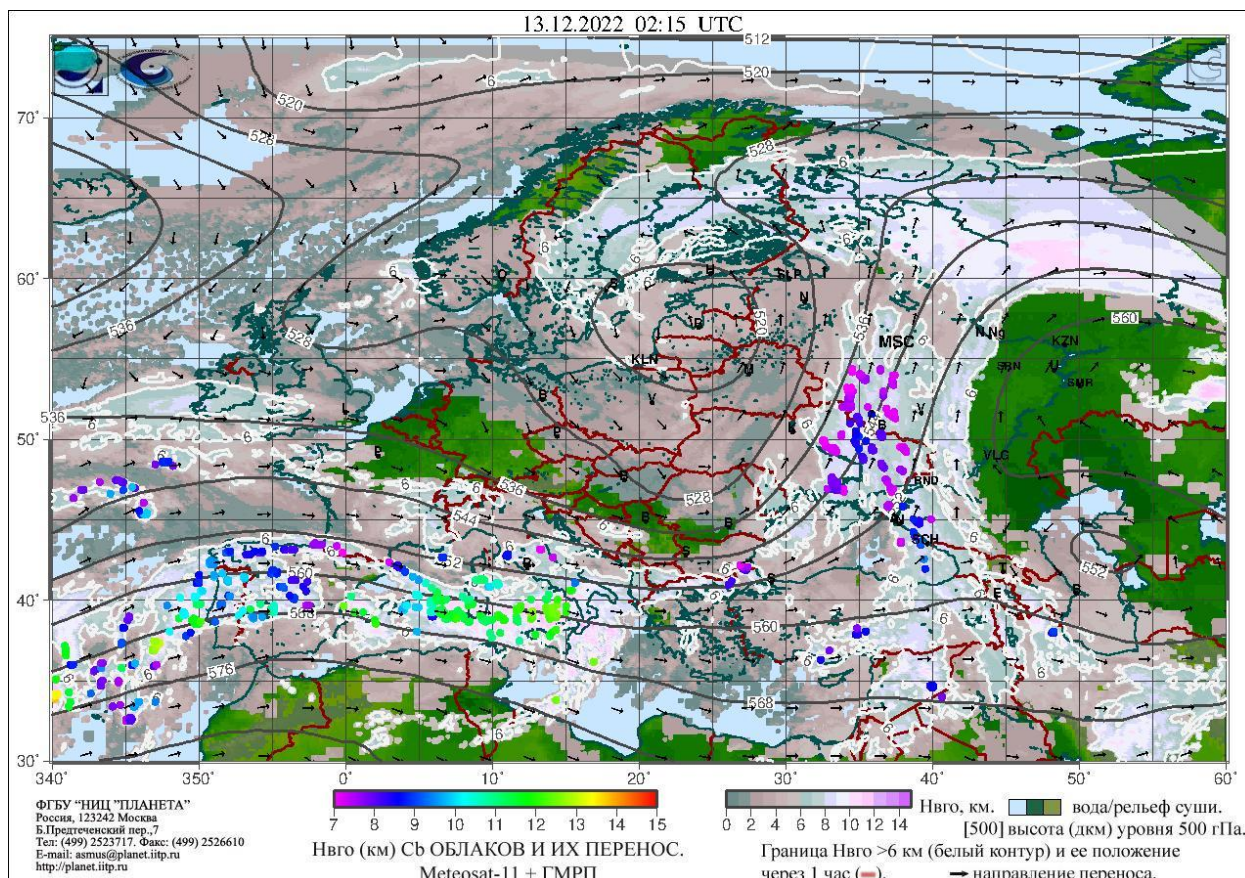


Рисунок 3.8 – карта переноса облаков за 13 декабря 2023 года.

По данным со спутников, 13 декабря на европейской территории России высота верхней границы кучево-дождевых облаков достигала 8 километров. Ожидались осадки в виде снега, мокрого снега и дождя, а также гололёдные явления.

Подводя итоги анализа представленных выше синоптических ситуаций, можно сделать вывод о том, что, высота нижней границы облачности может опускаться до уровня 300 метров и ниже вследствие нескольких факторов: Возникновение восходящих потоков воздуха;

1. Натекание тёплого воздуха на холодную поверхность;
2. Увеличение влажности воздуха;
3. Понижение атмосферного давления;
4. Приближение атмосферного фронта;
5. Образование инверсии у поверхности земли.

Необходимо отметить, что низкая облачность часто наблюдается при определённых температурных условиях.

3.4 Прогнозирование высоты нижней границы облаков при помощи полуэмпирических формул

Используя исходные данные о фактической границе высоты нижней границы облаков, были проведены расчеты с помощью полуэмпирических формул. Для проведения анализа были использованы следующие формулы:

формула Ипполитова:

$$H=24*(100-R) \quad (3.1)$$

Формула Ферреля:

$$H=122*(T-T_d)_0 \quad (3.2)$$

безымянная формула:

$$H=122*(T-T_d)_{0-m} \quad (3.3)$$

безымянная формула:

$$H=208*(T-T_d) \quad (3.4)$$

Основными метеоизмерениями для расчета ВНГО в данных формулах послужили: температура (Т), температура точки росы (Т_d), влажность (R), количество осадков (m).

Проведя расчеты по приведенным выше формулам, мы получили расчетные значения ВНГО, которые далее будем актуализировать. Выборка данных производилась согласно порядку верификации ТАФ, исходя из которого подходящие значения находились в диапазоне ± 30 метров от фактической, измеренной инструментально высоты нижней границы облачности. Такое значение параметра ВНГО будет говорить нам о том, что расчет с использованием полуэмпирических формул оправдался.

Расчетные формулы	кол-во измерений от -30 до 30	Процент оправдываемости
24 (100-R)	54	26%
122(T-Td)	42	20%
122(T-Td)-m	42	20%
208(T-Td)	66	32%

Таблица 3.1 – Данные об оправдываемости прогноза ВНГО

На основе полученных данных, можно сделать вывод о том расчет с помощи формулы 3.4 наиболее близок к фактическому значению ВНГО.

3.4 Статистические оценки успешности

Чтобы снизить вероятность ошибок нужно не просто анализировать оправдался прогноз или нет, но и разобраться, в чем причина появляющихся ошибок, их случайность или систематичность.

Ошибка смещения описывается следующей формулой:

$$bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i^{ПП} - F_i^{\Phi АКТ}) \quad (3.1)$$

где N – это количество прогнозов, F_i^{PP} - прогностическое значение ВНГО, $F_i^{ФАКТ}$ - фактическое значение ВНГО.

Средняя абсолютная ошибка показывает общую точность прогноза, рассчитывается по формуле:

$$CAO = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i^{PP} - F_i^{ФАКТ}| \quad (3.2)$$

Среднеквадратическая ошибка отображает точность прогноза и определяется по формуле:

$$CKO = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i^{PP} - F_i^{ФАКТ})^2} \quad (2.4)$$

Все перечисленные метрики являются удобным инструментом для анализа.

	▼ Bias ▼	Bias ▼	Bias ▼	Bias ▼	▼	CAC ▼	CAO ▼	CAO ▼	CAC ▼	▼	CKC ▼	CKC ▼	CKC ▼	CKC ▼
	-15.6	-16.2	-33.2	-15.8		15.6	16.2	16.4	15.8		78.2	81.6	82.5	79.2
	-19.9	-21.2	-43.8	-20.2		19.9	21.2	21.2	20.2		99.8	106.5	106.5	101.6
	-38.2	-38.1	-77.6	-37.2		38.2	38.1	38.1	37.2		191.6	191.5	191.5	186.7
	-49.4	-50.1	-100.9	-49.6		49.4	50.1	50.1	49.6		248.3	251.7	251.7	249.3
	-22.6	-21.9	-44.5	-21.4		22.6	21.9	21.9	21.4		113.4	109.9	109.9	107.5
	-16.9	-16.2	-33.2	-15.8		16.9	16.2	16.3	15.8		85.1	81.6	81.7	79.2
	-28.2	-27.5	-55.7	-27.0		28.2	27.5	27.5	27.0		141.8	138.3	138.3	135.9
	-21.2	-21.2	-43.8	-20.2		21.2	21.2	21.2	20.2		106.6	106.5	106.5	101.6
	-9.9	-9.9	-21.2	-8.9		9.9	9.9	9.9	8.9		49.9	49.8	49.8	44.9
	-11.3	-11.3	-22.6	-11.3		11.3	11.3	11.3	11.3		56.7	56.7	56.7	56.7
	-26.9	-27.5	-55.7	-27.0		26.9	27.5	27.6	27.0		134.9	138.3	138.5	135.9
	-7.7	-11.6	-34.1	-3.8		7.7	11.6	11.6	3.8		38.6	58.1	58.1	19.1
	-0.9	-7.4	-30.0	3.3		0.9	7.4	7.4	3.3		4.5	37.3	37.3	16.3
	-6.5	-12.4	-40.6	-1.2		6.5	12.4	12.4	1.2		32.9	62.2	62.2	6.1
Среднее значение ошибок	-16.3	-17.1	-58.6	0.4		11.6	28.0	28.0	11.6		58.4	58.4	58.4	58.4

Рисунок 3.9 фрагмент данных из таблицы по расчету ошибок bias, CAO, CKO.

Как видно из рисунка 3.9 ошибка смещения для всех методов, исключая четвертый, отрицательно. То есть прогностическое значение ВНГО в среднем меньше фактического. То есть первые три метода излишне страховочны и занижают высоту облачности. Четвертый же отражает ВНГО более точно.

Средняя абсолютная больше, чем ошибка смещения у 1, 2 и 4 метода, что указывает на наличие случайных ошибок наряду с систематической ошибкой. Таким образом, можно сделать вывод, что 3 метод можно улучшить, заложив туда среднюю ошибку смещения, а для первых двух такой метод корректировки не подойдет, так как есть еще и случайные ошибки. Средняя абсолютная ошибка меньше всего у 1 и 4 метода, но в целом каждый из них допустимо использовать, величины ошибок не так велики.

Среднеквадратическая ошибка учитывает как ошибки смещения, так и случайные ошибки. В вашем случае ее величина 58 м, что означает, что среднее отклонение прогноза от истинных значений составляет 58 метров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы, цели и задачи, которые ставились в начале, считаю достигнутыми.

Для значений ВНГО от 300 метров и менее проанализирован синоптический материал, выводом из анализа которого следует то что зачастую понижение высоты нижней границы облаков происходит в основном в части теплого сектора циклона, так же при движении атмосферных фронтов. Наиболее часто это происходит при прохождении фронтов окклюзии и теплых фронтов. Так же замечено что понижение ВНГО в районе аэропорта Псков преобладает в зимние месяцы.

Собран и проанализирован исходный материал в виде архива метеоданных. Для исходных данных были использованы данные с интернет ресурса ВНИИГМИ МЦД aisori-m.meteo.ru. Дискретность данных была взята с интервалом 3 часа, период наблюдения с 01.01.2022 года по 31.12.2023 года. Количество наблюдений составило 3650, из которых подходящих нам по критериям 206 наблюдений.

На основе данных наблюдений, используя полуэмпирические формулы были произведены расчеты высоты нижней границы облачности. По результатам расчетов, были определены формулы с помощью, которых наиболее точно прогнозировалась расчетная величина ВНГО.

Произведена оптимизация результатов полученных расчетных величин путём использования методов: (алгебраической ошибки (bias), среднеквадратической ошибки, средней абсолютной ошибки (САО). Даны рекомендации по улучшению методов прогноза ВНГО во Пскове.

На основе данной работы можно сделать заключение о том, что для повышения качества прогноза высоты нижней границы облачности необходимо на достаточном объеме данных протестировать возможность учета ошибки смещения.

На прогноз ВНГО оказывает большое влияние местные факторы такие, как например физико-географическое положение аэропорта, климатические особенности, антропогенные факторы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы Л.Т. Матвеев. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 752 с.
2. Хромов С. П., Петросян М. А. Метеорология и климатология [Текст] / С.П. Хромов, С.П. Петросян – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2001. – 528 с.
3. Хргиан А.Х., Мазин И.П. (ред.). Облака и облачная атмосфера [Справочник] / А.Х. Хргиан, И.П. Мазин – Гидрометеиздат, 1989. – 647 с.
4. Мазин И. П., Соломон М. Ш. Облака, строение и физика образования [Текст] / И.П. Мазин – Гидрометеиздат, 1983. – 560 с.
5. Толмачева Н.И. Методы и средства гидрометеорологических измерений (для метеорологов) [Текст]/ Н.И. Толмачёв – Пермь: Перм. ун-т, 2011. – 223 с.
6. Институт радарной метеорологии Метеорологическое оборудование аэродромов и его эксплуатация [Текст]/ – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. – 591 с.
7. Современные лидарные средства дистанционного зондирования атмосферы А. С. Борейшо, А. А. Ким, М. А. Коняев, В. С. Лугиня, А. В. Морозов, А. Е. Орлов Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург 2 АО «Лазерные системы», Санкт-Петербург
8. Зак Е.Г., Марфенко О.В. Структура нижней кромки облачного покрова. – Труды ЦАО, 1972, вып. 7, с.3-4
9. Воробьев В. И. Практикум по синоптической метеорологии [Текст]/ В.И. Воробьев – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 303 с.
10. Богаткин О. Г. Практикум по авиационной метеорологии [Текст]/ О.Г. Богаткин – СПб. : РГГМУ, 2005. – 130 с.54
11. Богаткин О. Г. Авиационная метеорология [Текст]/ О.Г. Богаткин – СПб. : РГГМУ, 2005. – 328 с.
12. Выписка из климатического описания аэропорт Псков
13. ФАП-60 (Федеральные авиационные правила "Правила предоставления метеорологической информации для аэронавигационного обслуживания полетов воздушных судов" (далее– Правила) разработаны в соответствии со статьей 69 Федерального закона от 19 марта 1997 г. № 60-ФЗ "Воздушный кодекс Российской Федерации" (Собрание законодательства Российской Федерации, 1997, № 12, ст. 1383; 1999, № 28, ст. 3483; 2004, № 35, ст. 3607, № 45, ст. 4377; 2005, № 13, ст. 1078; 2006, № 30, ст. 3290, 3291; 2007, № 1 (часть I), ст. 29, № 27, ст. 3213, № 46, ст. 5554, № 49, ст. 6075, № 50, ст. 6239, ст. 6244, 6245; 2008, № 29 (часть I), ст. 3418, № 30 (часть II), ст. 3616; 2009, № 1, ст. 17, № 29, ст. 3616), Федеральными правилами использования воздушного пространства Российской Федерации, утвержденными

постановлением Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. № 138 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2010, № , ст. ...), стандартами Международной организации гражданской авиации.

14. <http://szf.aviamettelecom.ru/wp-content/uploads/2024/02/Результаты-оценки-прогнозов-по-АМЦ-АМСГ-2023.pdf>

15. Интернет ресурсы: rp5, <https://www.meteorf.gov.ru>,

16. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА АВИАЦИОННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» (ФГБУ «ГГО») Санкт-Петербург 2011