



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Предикторы низкой облачности для г.Санкт-Петербурга при
сверхкраткосрочном прогнозе»

Исполнитель Веселова Анастасия Ивановна
(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)

13 июня 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	4
1	1 ВЫСОТА НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ	7
1.1	Понятие высоты нижней границы облачности	7
1.2	Основные факторы, влияющие на изменчивость ВНГО	19
1.3	Методы прогноза ВНГО	23
1.4	Код WAREP	30
2	ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВНГО	36
2.1	Описание базы данных изменчивости ВНГО и сопутствующих метеорологических величин г. Санкт-Петербурга	36
2.2	Климатологическое описание изменения ВНГО над территорией Санкт-Петербурга	40
2.3	Основные предикторы, используемые при сверхкраткосрочном прогнозе	52
2.4	Журнал фактической погоды АВ-6	54
3	СВЯЗЬ ВНГО И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	58
3.1	ВНГО при мороси	69
3.1.1	Морось незамерзающая слабая	69
3.1.2	Морось незамерзающая умеренная	72
3.1.3	Морось замерзающая слабая	75
3.2	ВНГО при дожде	78
3.2.1	Ливневой дождь слабый	78
3.3	ВНГО при снегопаде	81
3.3.1	Снег умеренный	81

3.3.2 Снег сильный	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	91

ВВЕДЕНИЕ

Низкая облачность является основным и ключевым фактором, осложняющим процессы взлета и посадки воздушных судов, а также полёты на небольших высотах. Полёты в облачном и межоблачном пространстве при низкой высоте нижней границы облаков (ВНГО) и ограниченной видимости имеют отношение к полетам в сложных метеорологических условиях, и учитывая, что влияние облачности и ее ВНГО оказывает очень сильное влияние на осуществление воздушным судном взлёта и посадки, то информация о ВНГО и особенно ее прогноз являются важной составной частью метеорологического обеспечения авиационной деятельности.

Основным и наиболее взыскательным потребителем метеорологической информации является авиация. Сверхкраткосрочный прогноз и наукастинг атмосферных явлений и физических величин, оказывающих влияние на процессы взлёта, посадки и полёта воздушных судов является объектом первостепенной важности для авиационных служб.

В наши дни численные модели атмосферы дают основную и подавляющую информацию о прогнозе метеорологических явлений и атмосферных процессах. Однако даже самые передовые модели не включают всей необходимой информации о метеовеличинах, в которых нуждается авиация. По существу, прогноз таких величин дается синоптиками в метеослужбах руководствуясь личным опытом и знаниями синоптической метеорологии и физики атмосферы, а также с использованием ранее созданных расчетных и синоптических методов.

Актуальность настоящей работы обусловлена тем, что наибольшее количество происшествий в сфере воздушного, автомобильного и железнодорожного транспорта в определённой степени зависит от опасных и

неблагоприятных гидрометеорологических явлений погоды (а именно явлениями погоды, связанными с осадками и их разной интенсивностью).

Для предотвращения опасных ситуаций, аварий и катастроф необходимо располагать наиболее своевременными точными данными по метеорологическим величинам и атмосферным явлениям, в том числе требуются современные улучшенные методики сверхкраткосрочного прогнозирования, соответствующих критериям прогноза наукастинг, что в свою очередь является сверхкраткосрочным прогнозом гидрометеорологических величин и явлений погоды в временных промежутках от нескольких минут до нескольких часов, связанных с низкой облачностью с определёнными механизмами получения, обработки, передачи данных.

Предикторы — это «локальная характеристика», поэтому для разных районов и мегаполисов они свои, что требует всегда отдельной научно-исследовательской работы.

Цель выпускной квалификационной работы - изучение предикторов низкой облачности, и связанных с ней атмосферных явлений, для решения задач сверхкраткосрочного прогноза для территории Санкт-Петербурга.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. Реализация программы декодирования журнала АВ-6 и создание электронного архива результатов наблюдений.
2. Подготовка и анализ радиолокационных данных при низкой облачности над Санкт-Петербургом (с 2016 по 2019 гг)
3. Анализ учащенных результатов наблюдений погодных условий в Санкт-Петербурге, связанных с низкой облачностью (обработка журналов АВ-6 с 1-минутным разрешением с 2016 по 2019 гг)

4. Оценка возможности применения метода группового учета аргументов для построения прогностических уравнений и их оптимизация для сверхкраткосрочного прогноза низкой облачности и неблагоприятных атмосферных явлений.
5. Разработка практических рекомендаций по использованию предикторов сверхкраткосрочного прогноза низкой облачности и связанных с ней атмосферных явлений в оперативно-прогностической деятельности метеорологических подразделений Санкт-Петербурга.

Структура работы:

В магистерской диссертации в качестве исходных параметров были использованы радиолокационные данные при низкой облачности над Санкт-Петербургом, данные журнала АВ-6 с 1 минутным разрешением с 2016 по 2019 гг. Магистерская диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Во введении кратко обоснована актуальность проблемы, цель и задачи работы.

В первой главе дается краткий обзор понятия ВНГО, основных факторов, влияющих на изменчивость ВНГО и методы прогнозирования ВНГО.

Во второй главе описана база данных изменчивости ВНГО и сопутствующих метеорологических величин г. Санкт-Петербурга, климатологическое описание изменения ВНГО над территорией Санкт-Петербурга и основные предикторы, используемые при сверхкраткосрочном прогнозе.

Третья глава представляет собой анализ полученных результатов анализа высоты нижней границы облачности и синоптической ситуации в г. Санкт-Петербурге.

В заключении перечислены основные выводы, полученные на основе

1 Высота нижней границы облачности

1.1 Понятие высоты нижней границы облачности

Для лучшего понимания объекта данного исследования необходимо обратиться к сути понятия облачности. Облака являют собой сложные большие системы частиц воды в разных агрегатных, то есть фазовых состояниях, а именно в жидком, газообразном и/или твёрдом (кристаллическом) состоянии находящихся в положении подвешенности в воздушных массах атмосферы, упрощенно говоря образующиеся в результате конденсации водяного пара.

Облака состоят из мельчайших капель воды и частиц льда. Они достаточно легкие, чтобы плавать в атмосфере. Облака могут образовываться в результате разного рода атмосферных явлений.

Испарение — вода с поверхности земли испаряется из-за повышения температуры и начинает подниматься выше с ветром. С увеличением высоты температура падает вместе с атмосферным давлением. Вода не может сохранять свое парообразное состояние и превращается в кристаллы льда и капельки. Сочетание этих крошечных сосулек и капель воды из облаков.

Ядра конденсации. Иногда водяной пар несет частицы, такие как пыль и пыльца. Когда они достигают большой высоты, пар конденсируется на частицах, которые мы знаем как ядра конденсации. Затем вокруг этих ядер образуются облака.

Из-за огромной скорости ветра в гористой местности иногда влажный воздух вынужден подниматься на большую высоту, что приводит к образованию

облаков. Мы называем это наветренной стороной и феноменом подветренной стороны.

Облака низкого давления образуются, когда ветер дует в зону низкого давления и не может удалиться. Это вызывает падение температуры вместе с давлением, вызывающим средневысотные облака.

Когда холодный воздух вытесняет большой объем более теплого воздуха на большую высоту, происходит внезапное изменение атмосферного давления, вызывающее образование чрезвычайно больших облаков, сопровождаемых грозами.

Низкоуровневые облака не имеют префикса, хотя их названия происходят от слова «strato». или «cumulo», в зависимости от их характеристик. Низкие облака встречаются ниже 6500 футов, и обычно состоят из капель жидкой воды или даже переохлажденных капель, за исключением во время холодных зимних штормов, когда кристаллы льда (и снег) составляют большую часть облаков.

Два основных типа низких облаков включают слоистые, которые развиваются горизонтально, и кучевые, которые развиваются вертикально. Слоистые облака однородны и плоские, что создает серый слой облачного покрова, который, может быть, без осадков или может вызывать периоды небольшие осадки или изморось.

Может задержаться холодная, мрачная, серая погода. на несколько часов или даже день или два. Слоисто-кучевые облака представляют собой гибриды слоисто-слоистые и ячеисто-кучевые, т. е. отдельные элементы облаков, характерные для облака кучевого типа, слившиеся в непрерывные скопления, характерные для облака слоистого типа. Слоисто-кучевые облака также можно рассматривать как слой облачных глыб. с толстыми и тонкими участками. Эти облака часто появляются в атмосфере либо впереди или позади фронтальной

системы. Густые, плотные слоистые или слоисто-кучевые облака устойчивый дождь или снег часто называют слоисто-дождевыми облаками.

В отличие от слоистых горизонтальных слоистых облаков кучевые облака более ячеистые. (индивидуальные) в природе, имеют плоское дно и закругленную верхушку, растут вертикально. На самом деле их название зависит от степени вертикального развития. Например, рассеянные кучевые облака, демонстрирующие небольшой вертикальный рост в солнечный день, раньше их называли «*cumulus humilis*» или «кучевыми облаками хорошей погоды», хотя обычно их просто называют просто кучевыми или плоскими кучевыми облаками. Кучевое облако, которое проявляет значительное вертикальное развитие (но еще не является грозой) называется *cumulus congestus* или возвышающиеся кучевые облака. Если достаточно неустойчивости атмосферы, присутствуют влага и подъемная сила, то в кучевых облаках могут развиваться сильные восходящие потоки ведущее к зрелому, глубокому кучево-дождевому облаку, т. е. к грозе, производящей ливень. Кроме того, электризация облаков происходит внутри кучево-дождевых облаков из-за ко многим столкновениям между заряженной каплей воды, крупой (смесь ледяной воды) и льдом кристаллические частицы, что приводит к молнии и грому.

ВНГО является важной метеорологической переменной для безопасности полетов, поскольку она определяет, могут ли пилоты использовать правила визуального полета (VFR) или правила полета по приборам для взлета и посадки.

Под высотой нижней границы облаков (ВНГО) понимается наименьшая дистанция по вертикали между поверхностью суши или воды и границей самого низкого слоя видимой части облака.[1]

Традиционно выражается либо в метрах или футах над средним уровнем моря или над поверхностью планеты, либо в виде уровня давления,

соответствующего этой высоте, в гектопаскалях (гПа, что эквивалентно миллибару).

Высота нижней границы облачности является первичной информацией о текущей погоде, получаемой в результате метеонаблюдений непосредственно. [4]

В коде для передачи данных приземных наблюдений метеостанций (КН-1 SYNOP) высота нижней границы самых низких облаков записывается в кодовую группу h с обозначениями C_L и C_M при измерении инструментами записывается в метрах [м], если величина определялась «на глаз», то запись делается с округлением до десятков метров.[7]

Низкая облачность и видимость являются важными факторами метеорологической обстановки в процессе взлёта, посадки и управления воздушным судном в целом на высоте расположения низкой облачности и ВНГО. Для полётов на небольших высотах для малой авиации, которые пользуются визуальным способом полёта также является определяющим моментом.

Для обеспечения безопасности во время полётов были созданы определённые критерии разрешающие полёты в метеорологических условиях, которые называли минимум погоды.

Минимум погоды — это критерий, описывающий метеорологические минимально допустимые значения метеорологической дальности видимости и высоты нижней границы облачности, при которых возможно соблюдение безопасного пилотирования воздушным судном при всех необходимых элементах полета на малых высотах.

Подобным образом для визуального полёта на малых высотах существуют минимальные значения погодных условий для всех видов воздушного транспорта,

с учётом метеоусловий, квалификации командирования воздушного судна и параметров аэродрома.

Высота нижней границы облаков записывается в метрах [м] следующим образом: наблюдения кратные 30 м или 100 фут до высоты 3000 м (10 000 фут). ВНГО также записывается через 15 м или 50 фут, до высоты 90 м или 300 фут, и через 30 м или 100 фут в интервале от 90 м или 300 фут до 3000 м или 10 000 фут.

Согласно инструктивному материалу по коду METAR каждый наблюдаемый слой облаков кодируется в группе облаков с покрытием неба, высота нижней границы облаков над уровнем земли и иногда облачный тип. Первые три буквы каждой группы облаков обозначают покрытие неба. BKN указывает на прерывистую облачность. Облачная база каждого слоя сообщается в сотнях футов над уровнем земли. Добавьте два нуля к данному значению. Например, 005 представляет значение 500 футов над уровнем земли. Наконец, добавляются коды для типов конвективных облаков. CB обозначает кучево-дождевые облака; TCU означает возвышающиеся кучевые облака.

Высоты нижней границы облаков измеряется с помощью измерителя высоты облаков, также именуемого ИВО. Действие данного прибора базируется на импульсе света, который проходит за определенный промежуток времени расстояние от аппарата до нижней поверхности облака и потом возвращается назад.

Покрытие неба записывается следующими выражениями, как указано в таблице 1.1:

Таблица 1.1 – Обозначение облачности в коде METAR

Наименование	Расшифровка	Пояснение	Величина
SKC	Sky clear	небо ясное	-
FEW	Few	несколько	0-2 октанта
SCT	Scattered	разбросанные	3-4 октанта
BKN	Broken	значительные	5-7 октантов
OVC	Overcast	сплошные	8 октантов

Для осуществления измерений высоты облачности с помощью ИВО нужно придерживаться следующих пунктов:

- Положение измерительного аппарата должно перпендикулярно соответствовать положению облака;
- Измерения при дождливых условиях погоды, с наличием сильных ливневых осадков не осуществляется;

Так как не на всех станциях есть полная комплектация оборудования, или существуют помехи в использовании оборудования, то измерения высоты нижней границы облачности производится сотрудником станции визуальным методом.

Визуальный метод, который по-другому называют «на глаз» может давать достаточно большую точность при многократной тренировке наблюдателя и при частом сравнении результатов аппаратных измерений с визуальными результатами. Однако для более точного получения данных используются ориентирующие объекты на местности.[7]

Прогнозы текущей погоды необходимы для своевременных прогнозов погоды со значительными последствиями для конкретных местностей, которые имеют отношение ко многим секторам, не только для населения, но и для коммерческого, а также частного сектора. Любые мероприятия на свежем воздухе, такие как авиация, спортивные мероприятия на открытом воздухе, строительная отрасль, энергетические предприятия и организации наземного транспорта, нуждаются в часто обновляемой информации о текущих и предстоящих погодных условиях. Прогноз погоды играет все более важную роль в управлении рисками бедствий и предотвращении рисков. Учитывая полезность прогнозов текущей погоды, желательно, чтобы каждая национальная метеорологическая и гидрологическая служба развивала свой потенциал для эффективного предоставления услуг по прогнозам текущей погоды соответствующим пользователям.

Погодные явления, для которых прогнозирование текущей погоды имеет большое значение для различных групп пользователей, включают следующее: грозы (включая связанные с ними явления, такие как молнии, град, разрушительный ветер, сильные осадки, торнадо), сильные осадки (внезапные паводки), сильный ветер, видимость/туман, тип зимних осадков (снег, мокрый снег, ледяной дождь, изморось, гололед). Кроме того, специальные группы пользователей нуждаются в прогнозировании текущей погоды по различным или дополнительным параметрам, например, для сектора возобновляемых источников энергии решающее значение имеют точные прогнозы текущей погоды на высоте ветряных турбин и солнечное излучение по бокам солнечных электростанций. В то время как простое предположение о медленном изменении скорости ветра в течение нескольких часов может быть верным для большинства погодных ситуаций (за исключением сильных конвективных порывов) и, таким образом, позволяет получить надежные оценки производства энергии ветра, производство

отдельных солнечных электростанций в значительной степени зависит от чрезвычайно быстрых изменений в местной облачности.

Прогноз погоды — одна из самых сложных, но очень интересных задач в области прогнозирования. Традиционные методы основаны на решении большой и довольно сложной системы дифференциальных уравнений, описывающих приближенную модель климата. Для выполнения такой задачи в разумные сроки необходимо использовать очень мощные компьютеры, и чем более точные результаты ожидаются, тем больше требуется вычислительной мощности и времени.

По указанным выше причинам было предпринято несколько попыток применить другие подходы к проблеме. Некоторые из них основаны на системах искусственного интеллекта, в частности на искусственных нейронных сетях. Простая архитектура и мощность параллельной обработки информации представляют собой заманчивую альтернативу классическим методам и открывают возможность получения обнадеживающих высококачественных результатов за относительно короткое время. Нейронная сеть после соответствующего обучения способна выдавать прогнозы погоды почти мгновенно — необходимо всего несколько матричных операций. С другой стороны, нейронные сети, в отличие от методов, основанных на точных дифференциальных уравнениях, дают только приблизительные решения, и поэтому на практике существуют нижние пределы возможной ошибки прогнозирования.

Одним из ключевых факторов эффективного проектирования систем на основе нейронных сетей, обучаемых с учителем, является качество (надежность) и полнота обучающих данных (прошлые наблюдения).[22]

Для различных приложений необходимы очень краткосрочные прогнозы от нескольких минут до нескольких часов. Они могут включать в себя определение будущей траектории особенно сильного шторма в целях предупреждения или оценку количества дополнительных осадков, которые выпадут в данном районе в ближайшие несколько часов. Поскольку погода быстро меняется неожиданным образом, такие прогнозы необходимо создавать часто, обычно несколько раз в час. Поскольку модели численного прогнозирования погоды должны сначала подождать несколько минут, чтобы все необходимые данные были доступны, а затем произвести правильный анализ в начальный момент времени, прежде чем окончательно сгенерировать свой прогноз, в настоящее время они не могут удовлетворить наши потребности в очень частых обновлениях прогноза. Кроме того, они часто не очень эффективны при коротких сроках выполнения заказов. Следовательно, существует ниша для более простых и быстрых подходов к прогнозированию.

Этимологически прогнозирование текущей погоды происходит от сокращения слов «сейчас» и «прогнозирование». Это относится к методам, предназначенным для составления прогнозов на относительно короткие периоды времени, как правило, с заблаговременностью в пределах 12 часов. Как правило, они менее сложны и предназначены для более эффективного функционирования в краткосрочных масштабах, чем традиционное прогнозирование погоды, основанное на численном моделировании, охватывающем большие части континентов. Например, когда мы делаем краткосрочный прогноз, основанный на динамике давления нашего домашнего барометра, мы, по сути, выполняем прогноз текущей погоды. Методы прогнозирования текущей погоды особенно подходят для использования данных с удаленных датчиков, таких как радары и спутники.[23]

Для обеспечения безопасности полётов выделяются специальные предикторы сверхкраткосрочного прогноза погоды. Они выбираются, как имеющие наибольшее влияние на обеспечение полётов.

Предикторы в силу своих особенностей являются локальными характеристиками какого-то одного явления, представляющего собой опасность в один из сезонов. Однако предикторы также могут характеризовать разные гидрометеорологические явления в разные сезоны.

Предикторы формируются путём получения данных измерений с метеорологических площадок, расположенных на аэродромах и на большом количестве метеоплощадок, находящихся вблизи аэродрома с дискретностью порой до 1 минуты, а также с использованием модельных прогностических величин и данных дистанционных измерений, в том числе полученных с радиолокационных локаторов и метеорологических спутниках. Такие данные обрабатываются с помощью статистических рядов.

Прогноз погоды в метеорологии использует данные наземных метеостанций, данные профилировщика ветра и любые другие доступные данные о погоде для инициализации текущей погодной ситуации и прогноза путем экстраполяции на период от 0 до 6 часов. В этом временном диапазоне можно с достаточной точностью прогнозировать небольшие особенности, такие как отдельные штормы. Эхо-сигналы метеорадаров и спутниковые данные, обеспечивающие охват облачности, особенно важны для прогнозирования текущей погоды, поскольку они очень подробны и определяют размер, форму, интенсивность, скорость и направление движения отдельных характеристик погоды на постоянной основе и со значительно лучшим разрешением, чем наземные метеостанции.

Раньше это была простая экстраполяция синоптиком на следующие несколько часов. Но с развитием мезомасштабных численных моделей погоды эта

информация может быть введена в экспертную систему для получения гораздо более точного прогноза, сочетающего численное прогнозирование погоды и местные эффекты, о которых обычно невозможно узнать заранее. Различные исследовательские группы, государственные и частные, разработали такие программы.

Например, французская метеорологическая служба Météo-France использует программное обеспечение ASPIC для экстраполяции в мелком масштабе областей осадков. Другими примерами являются AutoNowcaster, который был разработан UCAR для прогнозирования краткосрочного движения и эволюции гроз, 3D-прогноз текущей погоды, экспериментальная технология, разработанная RIKEN Advanced Institute for Computational Science и частными фирмами, такими как Tomorrow.io (ранее ClimaCell). используя свое собственное программное обеспечение HyperCast для прогнозирования текущей погоды по типу и интенсивности осадков с геопространственным разрешением 300–500 м.

Краткосрочный прогноз так же стар, как и само прогнозирование погоды. В девятнадцатом веке первые современные метеорологи использовали методы экстраполяции для предсказания движения систем низкого давления и антициклонов на поверхностных картах. Впоследствии исследователи применили законы гидродинамики к атмосфере и разработали ЧПП в том виде, в каком мы его знаем сегодня. Однако разрешение данных и параметризация элементарных метеорологических уравнений по-прежнему оставляют неопределенность в отношении мелкомасштабных проекций во времени и пространстве.

Появление средств дистанционного зондирования, таких как радар и спутник, и более быстрое развитие компьютеров в значительной степени помогают восполнить этот пробел. Например, цифровые радиолокационные системы позволили отслеживать грозы, предоставляя пользователям возможность получать подробную информацию о каждой отслеживаемой грозе с конца 1980-х

годов. Сначала они идентифицируются путем сопоставления необработанных данных об осадках с набором предварительно запрограммированных характеристик в системе, включая признаки организации по горизонтали и непрерывности по вертикали. Как только ячейка грозы идентифицирована, скорость, пройденное расстояние, направление и расчетное время прибытия (ETA) отслеживаются и записываются для последующего использования.

В 2017 году появление пассивных средств зондирования, таких как беспроводные сети, способствовало дальнейшему развитию прогнозирования текущей погоды. Стало возможным ежеминутно получать входные данные и достигать большей точности в краткосрочном прогнозировании.

Несколько стран разработали программы прогнозирования текущей погоды, как упоминалось ранее. Всемирная метеорологическая организация (ВМО) поддерживает эти усилия и неоднократно проводила испытания таких систем. Например, во время Олимпийских игр в Сиднее и Пекине нескольким странам было предложено использовать свое программное обеспечение для поддержки Игр.

Несколько научных конференций, посвященных этой теме. В 2009 г. ВМО даже организовала симпозиум, посвященный прогнозированию текущей погоды.

Экстраполяция данных, включая развитие или рассеяние, может использоваться для определения вероятного местоположения движущейся погодной системы. Интенсивность осадков от конкретного облака или группы облаков можно оценить, что дает очень хорошее представление о том, следует ли ожидать наводнения, вздутия реки и т. д. В зависимости от площади застроенных территорий, дренажа и землепользования в целом может быть выдано прогнозное предупреждение.

Таким образом, прогнозирование текущей погоды используется для обеспечения общественной безопасности, чувствительных к погодным условиям операций, таких как уборка снега, для авиационных прогнозов погоды как на терминале, так и на маршруте, безопасности на море, управления водными ресурсами и электроэнергией, морского бурения нефтяных скважин, строительства и индустрии отдыха. Сила прогнозов текущей погоды заключается в том, что они обеспечивают прогнозы возникновения, роста, движения и рассеивания штормов для конкретных мест, что позволяет людям в конкретном месте готовиться к определенному погодному явлению.

Признано, что прогнозирование текущей погоды имеет огромное значение в пустынных районах, таких как страны Африки к югу от Сахары, где быстро меняющиеся погодные условия могут иметь серьезные последствия для населения и экономической деятельности, которые можно смягчить за счет раннего предупреждения.

1.2 Основные факторы влияющие на изменчивость ВНГО

Облака образуются, когда воздух содержит столько водяного пара (газа), сколько он может удержать. Это называется точкой насыщения, и ее можно достичь двумя способами. Во-первых, влага накапливается до тех пор, пока не достигнет максимального количества, которое может удержать объем воздуха. Другой метод снижать температуру наполненного влагой воздуха, что, в свою очередь, снижает количество влаги, которое он может содержать. Таким образом, насыщение достигается за счет испарения и конденсации соответственно. Когда происходит насыщение, влага становится видимой каплями воды в виде тумана и облаков.

Облака эстетически привлекательны и добавляют азарта атмосфера. Без них не было бы дождя или снег, гром или молния, радуга или ореол. Как однообразно, если смотреть на чистое голубое небо. А Облако – это видимая совокупность мельчайших капель воды или льда. кристаллы, взвешенные в воздухе. Некоторые встречаются только на высокие высоты, в то время как другие почти касаются земли.

Облака могут быть густыми или тонкими, большими или маленькими — они существуют в кажущееся бесконечным разнообразие форм. Чтобы ориентироваться в разнообразии облаков, их разделяют на десять основных типов.

Низкие облака. Низкие облака, основания которых лежат ниже 6500 футов (или 2000 м) почти всегда состоят из капли воды; однако в холодную погоду они могут содержать частицы льда и снега.

Слоисто-дождевые облака представляют собой темно-серый, «влажный» слой облаков, связанный с более или менее непрерывным дождем или снегом. Интенсивность этих осадков обычно легкая или умеренная, они никогда не бывают сильными, ливневыми. Основание слоисто-дождевого облака обычно невозможно четко идентифицировать, и его легко спутать с высокослоистым. Тонкие слоисто-дождевые облака обычно темнее серого, чем толстые высокослоистые, и вы не можете видеть солнце или луну сквозь слой слоисто-дождевых облаков. Видимость ниже слоя слоисто-дождевых облаков обычно довольно плохая, потому что в этом регионе дождь испаряется и смешивается с воздухом. Если этот воздух станет насыщенным, под исходным основанием облаков может образоваться нижний слой облаков или тумана. Поскольку эти нижние облака быстро дрейфуют по ветру, они образуют неравномерные клочья с рваным внешним видом, называемые слоистыми разорванными слоями.

Низкий комковатый слой облаков — слоисто-кучевые облака. Они появляются рядами, пятнами или в виде округлых масс с голубым небом, видимым между отдельными элементами облаков.

Часто они появляются ближе к закату как расплзающиеся остатки гораздо более крупного кучевого облака. Цвет слоисто-кучевых облаков варьируется от светлого до темно-серого. Отличается от высококучевых тем, что имеет более низкое основание и более крупные отдельные элементы облаков. Чтобы различить их, держите руку на расстоянии вытянутой руки и указывайте на облако.

Элементы высококучевых облаков обычно имеют размер ногтя миниатюры; Элементы слоисто-кучевых облаков обычно имеют размер вашего кулака. Дождь или снег редко выпадают из слоисто-кучевых облаков.

Слоистое однородное сероватое облако, часто покрывающее все небо. Он напоминает туман, который не достигает земли. На самом деле, когда густой туман «поднимается», образующееся облако представляет собой низкослоистое облако. Обычно из слоистых осадков не выпадает, но иногда они сопровождаются легким туманом или моросью. Это облако обычно появляется над прибрежными водами Тихого и Атлантического океанов летом. Толстый слой слоистых облаков можно спутать со слоисто-дождевыми облаками, но различить их можно, наблюдая за основанием облака. Часто слоистые слои имеют более однородную основу, чем слоисто-дождевые. Кроме того, слоистую колоду можно спутать со слоем высокослоистых. Однако, если вы помните, что слоистые облака ниже и имеют более темный серый цвет, различие можно сделать.

Хорошим индикатором фактического содержания водяного пара в воздухе является температура точки росы. Когда температура воздуха и точка росы близки друг к другу, относительная влажность высокая, а когда они далеко друг от друга, относительная влажность низкая. Когда температура воздуха падает ниже точки росы в неглубоком слое воздуха у поверхности, образуется роса. Если роса замерзнет, она станет замерзшей росой. Видимый белый иней образуется, когда воздух охлаждается до температуры точки росы ниже точки замерзания. По мере того как воздух охлаждается в более глубоком слое у поверхности, относительная влажность увеличивается, и водяной пар начинает конденсироваться на «ищущих

воду» гигроскопических ядрах конденсации, образуя дымку. Когда относительная влажность приближается к 100 процентам, воздух может наполниться крошечными каплями жидкости (или кристаллами льда), называемыми туманом. Изучив туман, мы обнаружили, что он образуется двумя основными способами: охлаждением воздуха и испарением и смешиванием водяного пара с воздухом.

Конденсат над земной поверхностью образует облака. Когда облака классифицируют по их высоте и внешнему виду, их делят на четыре основные группы: высокие, средние, низкие и облака с вертикальным развитием. Поскольку каждое облако имеет физические характеристики, отличающие его от всех остальных, тщательное наблюдение обычно приводит к правильной идентификации.

Существует пять факторов, которые могут привести к подъему и охлаждению воздуха:

1. Поверхностное нагревание. Земля нагревается солнцем, которое нагревает соприкасающийся с ней воздух, заставляя его подниматься. Восходящие столбы часто называют термиками.
2. Топография. Воздух вынужден подниматься над преградой гор или холмов. Это известно как орографическое поднятие.
3. Фронтальный. Масса теплого воздуха поднимается над массой холодного плотного воздуха. Граница называется фронтом.
4. Конвергенция. Потоки воздуха, идущие с разных сторон, вынуждены подниматься вверх там, где встречаются.
5. Турбулентность. Внезапное изменение скорости ветра с высотой, создающее турбулентные завихрения в воздухе.

Еще один важный фактор, который следует учитывать, заключается в том, что водяному пару нужно что-то, на чем он может конденсироваться. В воздухе плавают миллионы мельчайших частиц соли, пыли и дыма, известных как ядра

конденсации, которые позволяют конденсации происходить, когда воздух только что насыщен.[15]

Теоретические исследования показывают, что высота низкой облачности определяется, прежде всего, дефицитом точки росы у земли.[17]

1.3 Методы прогноза ВНГО

Метод прогноза ВНГО Е.И. Гоголевой.

Метод Е.И. Гоголевой предназначен для прогноза низкой облачности, а конкретно высоты самой нижней границы облачности. Прогноз заключается в использовании температуры воздуха и температуры точки росы для создания графика с помощью, которого производится прогнозирование низкой облачности, данный график представлен на рисунке 1.1

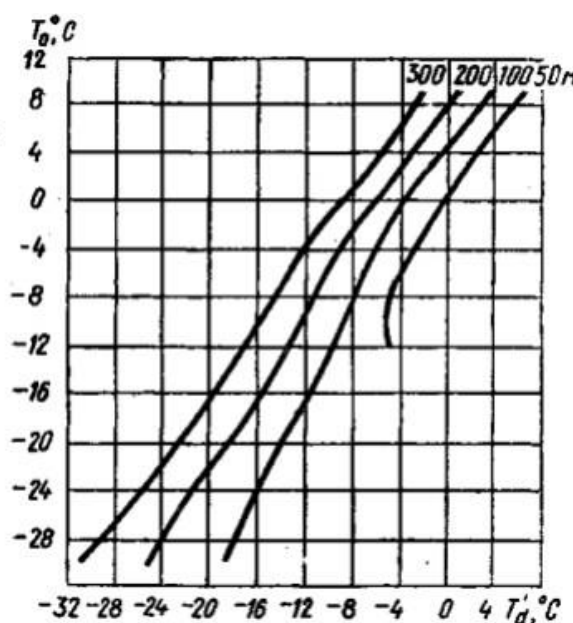


Рисунок 1.1 – График прогноза ВНГО по методу Е.И. Гоголевой[23]

Обозначения на графике, изображённом на рисунке 1.1:

T – температура воздуха;

T_d – прогностическая температура точки росы.

Косыми почти наклонными линиями отделяются участки с группами облачности на различных высотах. Методика Е.И. Гоголевой уместна если в локации прогнозирования чётко выражен перенос воздушных атмосферных масс и небольшая изменчивость синоптических ситуаций. Срок прогноза 9 часов является оптимальным, но также допускается разработка прогноза с заблаговременностью до 12 часов.

Для определения нижней границы облачности может быть использован ещё один метод, основанный на методике Е. И. Гоголевой. Для данного метода используется график на рисунке 1.2.

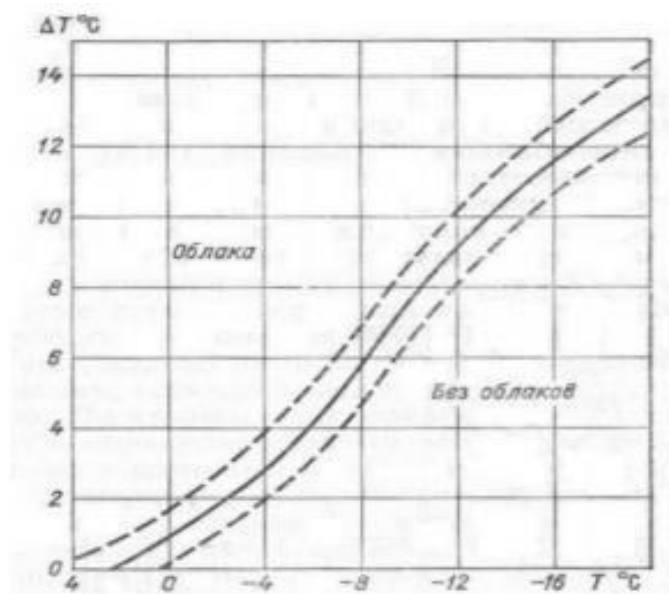


Рисунок 1.2 – График для прогноза нижней границы облаков 300 м и ниже в холодный период[23]

На представленном выше рисунке 1.2 представлен график, используемый для оценки возможного возникновения облачности с ВНГО больше или равно 300 метров в холодный период.

Обозначения на графике рисунка 1.2:

T – фактическая температура воздуха у земли;

ΔT – значение ожидаемого потепления.

Из графика на рисунке 1.2 видно, что есть две области разграничиваемые волнообразными линиями. Область над разделяющими линиями свидетельствует о наличии низкой облачности, область ниже линий указывает на отсутствие облачности данного типа.[23]

Метод прогноза низкой облачности З.А. Спарышкиной.

З.А. Спарышкина представили свой собственный метод прогноза низкой облачности. Его суть в нахождении возможности формирования облачности высотой до 100 м при наличии значения температуры T_0' и температуры точки росы Td_0' в начале траектории переноса (рисунок 1.3).

Метод актуален для составления на срок 6-9 часов.

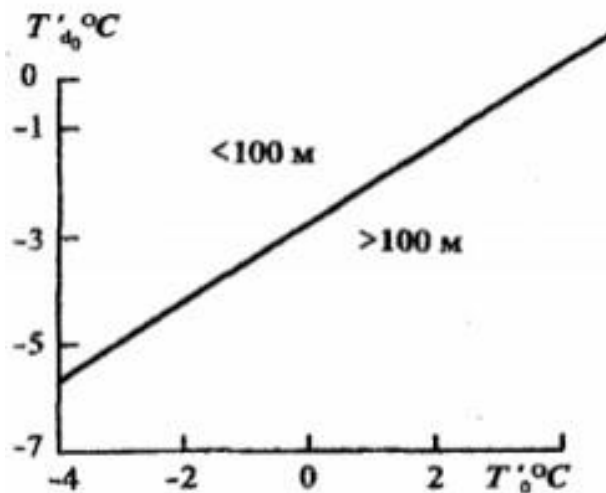


Рисунок 1.3 – График для прогноза высоты облачности до 100 м по методу З.А. Спарышкиной[24]

Метод прогноз высоты низкой облачности К.Г. Абрамовича.

К.Г. Абрамович сформулировал ещё один метод прогноза ВНГО. Его методика основана на использовании опытом полученных для европейской территории России критических значениях адвективных вариаций температуры воздуха при составлении прогноза ВНГО на срок 12 часов.

При условии адвективной изменчивости и воздушных потоков направленных от поверхности земли температуры по модулю больше, чем на 6 градусов Цельсия за период равный 12 часов, может фиксироваться проявление низкой облачности или её резкий упадок, при адвекции холода и нисходящих движениях происходит размытие облачности.

В том случае если изменение температуры по модулю больше или равно 4 градусам Цельсия за период равный 12 часов, то будет понижение уже

существующей облачности при адвекции тепла, а при адвекции холода будет наблюдаться её повышение.

Если изменение температуры по модулю строго меньше 4 градусов Цельсия за период 12 часов, то в ближайшие 12ч следует ждать сохранения облачной высоты, при принятии во внимание адвективных изменений дефицита точки росы. При $\delta(T-T_d)_a > 0^\circ \text{C}$, следует ожидать прогноз повышения имеющейся облачности, и её понижение при $\delta(T-T_d)_a < 0^\circ \text{C}$.

При начальном значении дефицита точки росы равном не более 2 градусов Цельсия при адвекции тепла, а при начальном значении дефицита точки росы не менее 1 градуса Цельсия существует вероятность возникновения низких облаков или их исчезновения.[24]

Метод прогноза ВНГО ГАМЦ.

Основываясь на адвективных изменениях температуры и точки росы, работники ГАМЦ разработали метод прогноза нижней границы облачности. Методика подразумевает использование графиков, представленных на рисунках 1.4 и 1.5.

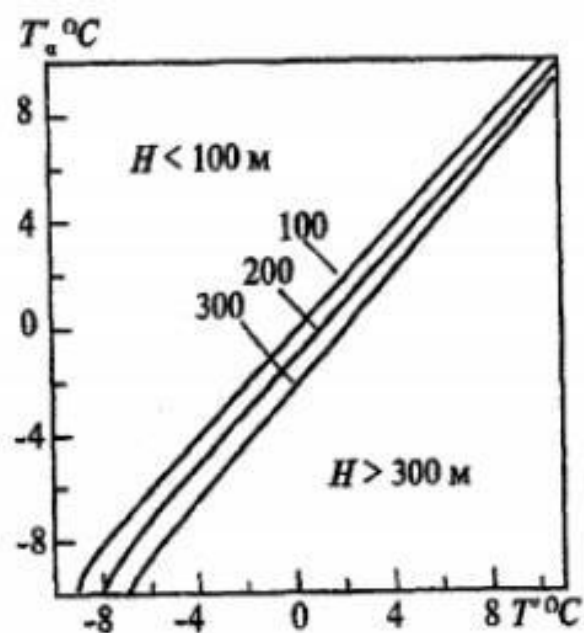


Рисунок 1.4 – График для прогноза ВНГО с использованием прогностических значений температуры и температуры точки росы[23]

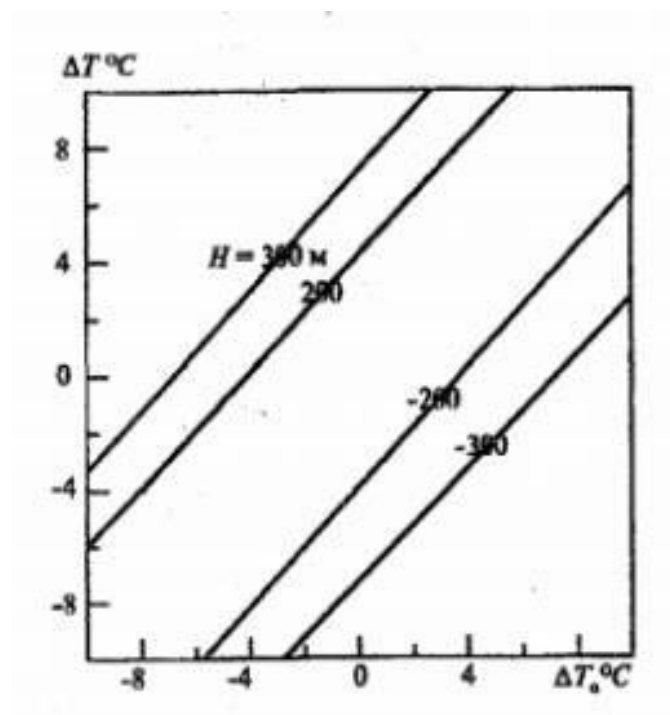


Рисунок 1.5 – График для оценки изменений ВНГО[23]

Из рисунка 1.4 видно, что возможно ценить ВНГО основываясь на прогностических значениях температуры и температуры точки росы.

На рисунке 1.5 представлен график, с помощью которого оценивается изменчивость высоты нижней границы облачности, в зависимости от адвективных изменений температуры ΔT и температуры точки росы ΔT_d .

Данные графики представляют годную информацию о прогнозировании облачности на срок от 6 до 12 часов.

Уровень конденсации является определяющим моментом в определении нижней границы облаков. Он находится с помощью аэрологической диаграммы. Статистические и синоптические методы также являются достаточно полезными при определении ВНГО.

Для средней полосы ЕТР при условиях погоды с осадками была получена следующая информация:

- При метеорологической дальности видимости, не превышающей 4 км, ВНГО обычно составляет 100 – 200 метров;
- При метеорологической дальности видимости 1.5 – 4.0 км ВНГО составляет 60 – 10.0 метров;
- При метеорологической дальности видимости менее 1.5 километров ВНГО составляет 30 – 60 метров.

Метод прогноза ВНГО по формулам.

Экспериментально полученные формулы, получившие популярность могут быть применены для прогнозирования ВНГО.

Формула Ипполитова:

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

Формула Ферреля:

$$H = 122 * (T - T_d)0 \quad (2)$$

Формула без автора:

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

Пояснения из формул:

H – высота нижней границы облаков, (м);

R – относительная влажность, (%);

T – температура воздуха у земной поверхности (°C);

Td – температура точки росы у земной поверхности, (°C);

m – коэффициент, связанный с наличием осадков;[23]

1.4 Код WAREP

Для оперативной передачи данных о метеорологических опасных явлениях и неблагоприятных явлениях был разработан Код WAREP. Код представлен в следующем содержании:

M_i M_i M_j M_j YYGG DDHHMM IIIi	(C_wC_w 1ddfff'f')
	(C_wC_w 2d'd'ww)
	(C_wC_w 3RRs_nT_bT_b)
	(C_wC_w 4s_nT_xT_xT_x)
	(C_wC_w 5s_nT_nT_nT_n)
	(C_wC_w – ...)
	(...) –

Рисунок 1.6 - Фрагмент кода WAREP[16]

Код WAREP был разработан в России для эффективного составления и быстрой своевременной транспортировки сообщения о штормовом явлении, появлении, усилении и окончании метеорологических опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях с наблюдательного пункта, которые обслуживаются сотрудниками, также этот пункт должен обладать автоматическими средствами формирования и транспортировки информации.

В самом сообщении название кода WAREP не упоминается.

При достижении определенным образом установленных критериев явления передается штормовое сообщение.

В круглые скобки заключается информация, которая именуется частями кода, например (C_wC_w 1ddfff'f'), при этом каждая такая часть кода может передаваться как обособленное сообщение.

В сообщении о штормовой погоде группа C_wC_w обязательно стоит перед специальными дополнительными группами, в которых передаются значения характеристик метеорологического ОЯ или НГЯ. При условии, что какая-либо составляющая или явление не наблюдается, то в таком случае данная часть группы из сообщения исключается, а вместо неё ставится знак «/». В случае отсутствия всех значений характеристик явления (например, группа 2d'd'ww не передается в виде 2//// и т.д.) дополнительная группа в сообщении не передается.

Сообщение имеет способность вносить в себя информацию о нескольких видах атмосферных явлений при их одновременном достижении критериев по ряду определенных характеристик. В таком случае зафиксированные виды явлений с соответствующими специальными дополнительными группами находятся в части сообщения в порядке увеличения цифровых показателей (цифр кода) $CwCw$.

В последнее время сообщение в коде, полученное с помощью WAREP, может содержать информацию только об одном ОЯ или НГЯ.

В том случае если одно явление закончилось и сразу началось другое, то передается два сообщения: одно об окончании первого явления, а второе о обнаружении следующего явления.

$M_iM_iM_jM_j$ – буквенный указатель кода.
 M_iM_i – кодируется:
 WW – при возникновении или усилении явления;
 WO – при окончании явления.
 M_jM_j – кодируется:
 HP – указатель наличия в сообщении информации хотя бы об одном ОЯ;
 AP – указатель наличия в сообщении информации об НГЯ, при условии отсутствия ОЯ.
 $YYGG$ – год и месяц возникновения (или усиления, или окончания) атмосферного явления, где:
 YY – две последние цифры года;
 GG – месяц (01, 02, ..., 12).
 $DDHHMM$ – дата и время возникновения (или усиления, или окончания) атмосферного явления по ВСВ, где:
 DD – день месяца (01, 02,...);
 HH – часы (00, 01, 02,..., 23);
 MM – минуты (00, 01,..., 59).
 $IIiii$ – синоптический индекс станции.

Рисунок 1.7 - Фрагмент кода WAREP[16]

На рисунке 1.7 представлен фрагмент кода WAREP, который подлежит обязательному включению в сообщение.

Оповещение о штормовой ситуации, а именно о проявлении метеорологического опасного явления или НГЯ передается при установлении определенных значений. Специально для кода был разработан список метеорологических опасных явлений и их критерии, которые можно посмотреть в приложении инструктивного материала кода WAREP. Типовой перечень НГЯ и критерии их возникновения, усиления и окончания приведены в приложении В.

Потребность подачи штормового сообщения о возникновении и/или усилении интенсивности, и/или окончании метеорологических ОЯ определяется также с помощью специального приложения.

Момент времени проявления признаков, изменения интенсивности атмосферного явления определяется в соответствии с критериями, приведенными в наставлении.

Содержание штормового сообщения о метеорологических ОЯ и НГЯ изложено в таблице Д.4.1:

- в 1-м разделе – наименование типа метеорологических ОЯ или НГЯ при которых передается штормовое сообщение;
- во 2-м разделе – цифры кода CwCw, соответствующие названию метеорологического ОЯ или НГЯ;
- в 3-й графе – содержание дополнительных групп, включающих сопутствующие характеристики наблюдаемого атмосферного явления.

Дополнительные группы, указанные в круглых скобках, подаются только в сообщении об окончании метеорологического ОЯ или НГЯ. Дополнительные группы, заключенные в квадратные скобки, могут принимать разные формы – или-или.

На рисунке 1.8 представлен пример штормового сообщения при различных условиях.

а) при сильном ветре, переходящем в очень сильный ветер:

Возникновение НГЯ (10)	WWAP 1107 140211 26941 10 1090712
Усиление НГЯ (10)	WWAP 1107 140320 26941 10 1091015
Усиление НГЯ (10)	WWAP 1107 140350 26941 10 1091420
Возникновение ОЯ (11)	WWHP 1107 140510 26941 11 1092126
Окончание ОЯ (11)	WOHP 1107 140650 26941 11 1091621 7//002
Окончание НГЯ (10)	WOAP 1107 140934 26941 10 1090511 7//007

б) при сильном ветре, переходящем в очень сильный ветер, затем в ураганный ветер:

Возникновение НГЯ (10)	WWAP 1108 200830 31562 10 1050612
Усиление НГЯ (10)	WWAP 1108 201925 31562 10 1050816
Усиление НГЯ (10)	WWAP 1108 210220 31562 10 1051220
Возникновение ОЯ (11)	WWHP 1108 210610 31562 11 1051828
Возникновение ОЯ (12)	WWHP 1108 210805 31562 12 1052034
Окончание ОЯ (12)	WOHP 1108 211100 31562 12 1051828 7//003
Окончание ОЯ (11)	WOHP 1108 211705 31562 11 1051523 7//011
Окончание НГЯ (10)	WOAP 1108 212340 31562 10 1050510 7//039

Д.6.2 Сообщения о шквале (16, 17), смерче (18, 19):

при шквале (ОЯ):

Возникновение ОЯ (17)	WWHP 1107 141339 26850 17 116//27 23681
Окончание ОЯ (17)	WOHP 1107 141350 26850 17 1160305 23680 90602

Д.6.3 Сообщения о сильной жаре (21), сильном морозе (25):

при сильной жаре, критерий по максимальной температуре воздуха 35,0 °С:

Возникновение ОЯ (21)	WWHP 1107 170300 31734 21 40359
Окончание ОЯ (21)	WOHP 1107 171200 31734 21 40367 7//009

Д.6.4 Сообщения о низкой облачности (30):

при низкой облачности и осадках:

Возникновение НГЯ (30)	WWAP 1109 190205 26063 30 88706
Усиление НГЯ (30)	WWAP 1109 190400 26063 30 2//53 8871/
Окончание НГЯ (30)	WOAP 1109 191030 26063 30 86607

Рисунок 1.8 – Пример штормового сообщения в коде WAREP[16]

Для транспортировки сообщений с штормовым содержанием о метеорологических опасных явлениях и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях используется код WAREP.

При отсутствии персонала автоматическая метеорологическая станции автоматически передаёт сообщение, сформированное только в коде WAREP в

центр сбора данных. Установленный перечень метеорологических ОЯ и НГЯ, о которых имеется возможность подачи информации, зависит от комплектации датчиков АМС. При стандартном наборе датчиков с АМС передается штормовое сообщение по ветру, количеству жидких осадков и температуре воздуха.

Штормовые сообщения также передаются открытым только в случае отсутствия в НП или выхода из строя автоматизированных средств формирования и передачи информации. В такой ситуации решение о виде отображения штормового сообщения (открытым текстом или по коду WAREP) отводится УГМС (совместно с ЦГМС) и информируется НП.[16]

2 ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВНГО

2.1 Описание базы данных изменчивости ВНГО и сопутствующих метеорологических величин г. Санкт-Петербурга

Для анализа учащенных результатов наблюдений погодных условий в Санкт-Петербурге, связанных с низкой облачностью, были декодированы данные журнала фактической погоды АВ-6 1-минутным разрешением с 2016 по 2019 гг. и создана база данных изменчивости ВНГО и других метеорологических величин. На рисунке 2.1 представлен пример фрагмента готовой декодированной базы данных с минутным разрешением.

Year	Month	Day	Hour	Minute	Site	WD	WS	WSm	MOR	RVR	RAW	WW1	WW2	WW3	WW4	N	HL	TH	TD	UU	QNH	QFE	
2016	12	1	1	28			230	2		10000	10000		185				4	300	-0.9	-2	92	996.1	993.2
2016	12	1	1	30			230	2		8000	8000		185				4	300	-0.9	-2	92	996.1	993.2
2016	12	1	14	30			190	2		10000	10000		185				5	780	-0.7	-2.1	90	994.4	991.5
2016	12	1	15	0			190	2	5	10000	10000		185				5	780	-0.7	-2.4	88	994.4	991.6
2016	12	1	15	7			210	3		10000	10000		185				5	780	-0.7	-2.4	88	994.4	992.1
2016	12	1	15	30			190	2	5	10000	10000		185				5	780	-0.7	-2.4	88	994.4	991.5
2016	12	1	16	0			220	3		3000	3000		185				3	240	-0.8	-2.5	88	994.3	991.5
2016	12	1	16	1			210	4		2700	2700		185				3	240	-0.8	-2.5	88	994.3	992
2016	12	1	16	2			230	2	5	2100	2100		185				3	240	-0.8	-2.5	88	994.3	991.5
2016	12	1	16	4			210	4		2100	2100		185				3	240	-0.8	-2.5	88	994.3	992
2016	12	1	16	12			200	2	5	6000	6000		185				3	240	-0.9	-2.2	91	994.3	991.5
2016	12	1	16	16			200	5		3200	3200		185				3	240	-0.9	-2.2	91	994.3	992
2016	12	1	16	18			200	5		5000	5000		185				3	240	-1	-1.8	94	994.3	991.9
2016	12	1	16	19			200	4	7	2500	2500		185				3	240	-1	-1.8	94	994.3	991.9
2016	12	1	16	23			210	4	7	5000	5000		185				3	240	-1	-1.8	94	994.3	991.9
2016	12	1	16	24			210	4	7	3100	3100		185				3	240	-1	-1.8	94	994.3	991.9
2016	12	1	16	25			210	4	7	2800	2800		185				3	240	-1	-1.8	94	994.3	991.9
2016	12	1	16	26			210	3	6	2900	2900		185				3	240	-1	-1.8	94	994.3	991.4
2016	12	1	16	27			210	2	6	3200	3200		185				3	240	-1	-1.8	94	994.3	991.4
2016	12	1	16	28			210	4	7	3500	3500		185				3	240	-1	-1.8	94	994.3	992
2016	12	1	16	30			210	2	6	4300	4300		185				3	240	-1	-1.8	94	994.3	991.5
2016	12	1	16	57			200	2	5	7000	7000		185				3	240	-1	-1.8	94	994.3	991.5
2016	12	1	17	49			180	3		2900	2900		185				2	300	-1.1	-1.9	94	994.3	991.5
2016	12	1	18	7			190	2	5	2400	2400		185				3	240	-1.2	-2	94	994.3	991.4
2016	12	1	18	8			200	2	5	3900	3900		185				3	240	-1.3	-2	95	994.3	991.4
2016	12	1	18	11			200	2	5	2600	2600		185				3	240	-1.3	-2	95	994.3	991.4
2016	12	1	18	35			230	2	6	2100	2100		185				3	240	-1.4	-2.1	95	994.3	991.5
2016	12	1	18	40			180	2		2300	2300		185				3	240	-1.4	-2.1	95	994.4	991.5
2016	12	1	18	41			190	2		3100	3100		185				3	240	-1.4	-2.1	95	994.4	991.5
2016	12	1	18	46			190	2		2500	2500		185				3	240	-1.4	-2.1	95	994.4	991.5
2016	12	1	18	52			190	2	6	2800	2800		185				3	240	-1.4	-2.1	95	994.4	991.6
2016	12	1	20	47			210	3		5000	5000		185				3	270	-1.4	-2.1	95	994.8	992.4
2016	12	1	20	51			999	1		2400	2400		185				3	300	-1.5	-2.2	95	994.8	992
2016	12	1	20	54			190	2		3500	3500		185				3	300	-1.5	-2.2	95	994.8	992
2016	12	1	20	58			230	1		4100	4100		185				3	300	-1.4	-2.1	95	995	992.1
2016	12	1	20	59			220	3		2800	2800		185				3	270	-1.4	-2.1	95	995	992.6
2016	12	1	21	0			230	1		4500	4500		185				3	300	-1.4	-2.1	95	995	992.1

Рисунок 2.1 – Фрагмент базы данных изменчивости ВНГО и сопутствующих метеорологических величин г. Санкт-Петербурга 2016 по 2019 гг

Как видно на рисунке 2.1 составляющими этой базы данных представлены следующие графы:

1. Year – год.
2. Month – месяц.
3. Day – день.
4. Hour – час.
5. Minute – минута.
6. Site -
7. WD – направление ветра.
8. WS – скорость ветра.
9. WSm – максимальная скорость ветра.
10. MOR - Meteorological Optical Range
11. RVR - Runway Visual Range. RVR обычно выражается в метрах или футах.
RVR используется для определения условий посадки и взлета пилотов воздушных судов, а также типа оперативных визуальных средств, используемых в аэропорту.
12. RAW
13. WW1- Код явления погоды.
14. WW2 - Код явления погоды.
15. WW3 - Код явления погоды.
16. WW4 - Код явления погоды.
17. N – Количество нижней облачности.
18. HL – ВНГО.
19. TH – температура воздуха.
20. TD температура точки росы.
21. UU – относительная влажность.
22. QNH – условное обозначение применимое к атмосферному давлению на уровню моря.

23. QFE – условное обозначение применимое к атмосферному давлению на уровне порога ВПП.

Данные журнала АВ-6 получены с АМЦ Пулково.

Пулково является международным аэропортом, со статусом федерального значения. Аэропорт располагается на удалении 15 км от центра города Санкт-Петербург в Московском районе. Является единственным аэропортом Санкт-Петербурга.

Географические координаты Пулково составляют 59°48'01" с. ш. 30°15'45" в. д.

В аэропорту Пулково лето комфортное и переменная облачность, а зима длинная, морозная, снежная и пасмурная. В течение года температура обычно колеблется от -10°C до -23°C и редко бывает ниже 13°C или выше 28°C.

Судя по рейтингу туризма, лучшее время года для посещения аэропорта Пулково для занятий в теплую погоду — с конца июня до середины августа.

Средняя температура в аэропорту Пулково.

Теплый сезон длится 3,2 месяца, с 27 мая по 3 сентября, со среднесуточной высокой температурой выше 17°C. Самый жаркий месяц года в аэропорту Пулково — июль, со средней максимальной температурой 22°C и минимальной 13°C.

Холодный сезон длится 3,8 месяца, с 20 ноября по 14 марта, со среднесуточной высокой температурой ниже 1°C. Самый холодный месяц года в аэропорту Пулково — январь, когда средняя минимальная температура составляет -9°C, а максимальная — -3°C.

В течении года на территории аэропорта Пулково среднее значение покрытия неба облаками претерпевает сильные колебания среди всех сезонов в течение года.

18 апреля начинается наиболее ясная погода с продолжительностью 5,3 месяца, этот период заканчивается примерно 29 сентября.

Июль является самым ясным месяцем, в это время небо преимущественно ясное или присутствует переменная облачность 56 % всего месяца.

Январь является самым ненастным и пасмурным месяцем в году для аэропорта Пулково. В течении января пасмурно 79% времени.

Наиболее влажный день приходится с значением количества не менее 0,04 дюйма жидких или эквивалентных жидким осадкам. Вероятность дождливых дней в аэропорту Пулково неодинакова в течение года.

Более влажный сезон длится 6,4 месяца, с 12 мая по 24 ноября, с вероятностью того, что данный день будет дождливым, более 26%. Месяц с наибольшим количеством дождливых дней в аэропорту Пулково — июль, в среднем 10,3 дня с осадками не менее 0,04 дюйма.

Более сухой сезон длится 5,6 месяца, с 24 ноября по 12 мая. Месяцем с наименьшим количеством дождливых дней в аэропорту Пулково является февраль, в среднем 4,9 дня с осадками не менее 0,04 дюйма.

Среди дождливых различаются те, в которые наблюдается исключительно дождь, исключительно снег или их смесь. Благодаря этой классификации, наиболее частая форма осадков в аэропорту Пулково меняется в течение всего года.

Дожди бывают наиболее частыми в течение 9,3 месяцев, с 28 февраля по 7 декабря. Месяцем с наибольшим количеством одних только дождей в аэропорту Пулково является июль, в среднем 10,3 дней.

Один только снег является наиболее распространенным в течение 2,7 месяцев, с 7 декабря по 28 февраля. Месяцем с наибольшим количеством дней с одним только снегом в аэропорту Пулково является декабрь, в среднем 3,4 дня.

2.2 Климатологическое описание изменения ВНГО над территорией Санкт-Петербурга

Площадь города Санкт-Петербурга составляет 605,8 км² (233,9 квадратных миль). Площадь субъекта федерации составляет 1439 км² (556 квадратных миль), в которую входят собственно Санкт-Петербург.

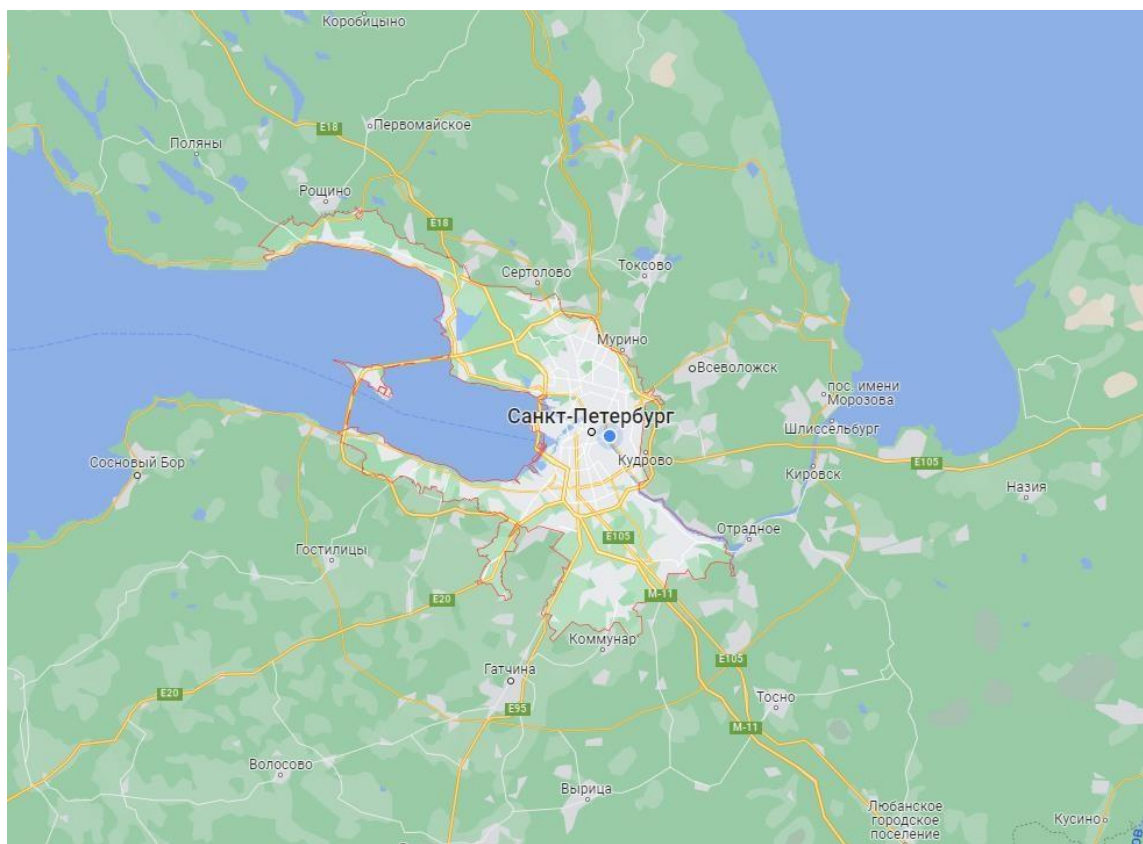


Рисунок 2.2 – город Санкт-Петербург

Погода в январе[25]

Погода в январе. Январь, как и декабрь, в Санкт-Петербурге, Россия, является морозным зимним месяцем со средней температурой колеблющейся от -3°C (26,6°F) до -8°C (17,6°F).

Температура. Январь и февраль со средней высокой температурой -3°C ($26,6^{\circ}\text{F}$) являются самыми холодными месяцами.

Влажность. В январе средняя относительная влажность в Санкт-Петербурге, Россия, составляет 86%.

Осадки. В Санкт-Петербурге, Россия, за 9 дождливых дней обычно выпадает 44 мм (1,73 дюйма) осадков. В Санкт-Петербурге в течение всего года дождь выпадает в течение 173 дней и собирает до 662 мм (26,06 дюйма) осадков.

Снегопад. Месяцы со снегопадом в Санкт-Петербурге - с января по апрель и с октября по декабрь. Месяцы с наибольшим количеством снежных дней - январь, февраль и декабрь, в среднем 17 снежных дней.

Температура моря. В Санкт-Петербурге в январе средняя температура воды составляет $-0,1^{\circ}\text{C}$ ($31,8^{\circ}\text{F}$).

Примечание. Для плавания это считается очень опасным и опасным для жизни. Мгновенно происходит полная потеря контроля над дыханием, и ясное мышление становится практически невозможным. Обязателен специальный купальник, чтобы свести к минимуму потери тепла.

Дневной свет. В январе средняя продолжительность дня в Санкт-Петербурге составляет 6,9 часа.

Солнечный свет. В январе среднее количество солнечных часов составляет 0,7 часа.

УФ-индекс. Январь, ноябрь и декабрь со средним максимальным УФ-индексом, равным 0, являются месяцами с самым низким УФ-индексом в Санкт-Петербурге. УФ-индекс 2 и менее символизирует низкий риск для здоровья от небезопасного воздействия УФ-излучения на обычных людей. Длительное пребывание на солнце не является проблемой для большинства. Дети, младенцы и люди со светлой кожей всегда нуждаются в защите. Наиболее интенсивное и, следовательно, наиболее вредное ультрафиолетовое излучение Солнца в полуденные часы должно быть уменьшено за счет минимизации воздействия и

поиска тени. Шляпа с широкими полями отлично защищает от солнца глаза, уши, лицо и шею. Солнцезащитные очки с защитой от UVA и UVB лучей значительно уменьшают повреждение глаз от воздействия солнечных лучей. Плотная, свободная одежда обеспечивает дополнительную защиту от солнца. Осторожность! Отражение снега может почти удвоить интенсивность солнечного УФ-излучения.

Погода в феврале. Февраль, последний месяц зимы в Санкт-Петербурге, также является минусовым холодным месяцем со средним максимумом -3°C ($26,6^{\circ}\text{F}$) и средним минимумом $-8,5^{\circ}\text{C}$ ($16,7^{\circ}\text{F}$). $^{\circ}\text{F}$).

Температура. Самые холодные месяцы - январь и февраль, со средней высокой температурой -3°C ($26,6^{\circ}\text{F}$).

Влажность. Средняя относительная влажность в феврале составляет 84%.

Осадки. В Санкт-Петербурге, Россия, в феврале дожди выпадают в течение 7 дней и регулярно выпадают до 33 мм (1,3 дюйма) осадков. В Санкт-Петербурге в течение всего года дожди выпадают в течение 173 дней и собираются до 662 мм (26,06 дюйма). ") осадков.

Снегопад. С января по апрель, с октября по декабрь — месяцы со снегопадом. Месяцы с наибольшим количеством снежных дней - январь, февраль и декабрь, в среднем 17 снежных дней.

Температура моря. При средней температуре моря $-0,3^{\circ}\text{C}$ ($31,5^{\circ}\text{F}$) февраль является месяцем с самой холодной морской водой.

Примечание. Для плавания это считается очень опасным и опасным для жизни. Мгновенно происходит полная потеря контроля над дыханием, и ясное мышление становится практически невозможным. Обязателен специальный купальник, чтобы свести к минимуму потери тепла.

Дневной свет. В Санкт-Петербурге средняя продолжительность дня в феврале составляет 9,2 часа.

Солнечный свет. В Санкт-Петербурге среднесуточное количество солнечных часов составляет 1,9 часа.

УФ-индекс. Среднесуточный максимальный УФ-индекс в феврале равен 1. Оценка УФ-индекса, равная 2 и ниже, представляет собой минимальную уязвимость здоровья среднего человека от воздействия солнечных УФ-лучей.

Погода в марте. Март, первый месяц весны в Санкт-Петербурге, холодный месяц со средней температурой от 2°C (35,6°F) до -4,2°C (24,4°F).

Температура. В Санкт-Петербурге, Россия, средняя высокая температура поднимается с минусовых -3 ° C (26,6 ° F) в феврале до зимних 2 ° C (35,6 ° F). Средняя низкая температура в Санкт-Петербурге, Россия, составляет -4,2 ° C (24,4 ° F).

Влажность. Средняя относительная влажность в Санкт-Петербурге составляет 79%.

Осадки. В Санкт-Петербурге в марте дожди выпадают в течение 10 дней и регулярно выпадают до 37 мм (1,46 дюйма) осадков. В Санкт-Петербурге, Россия, в течение всего года дожди выпадают в течение 173 дней и собирают до 662 мм (26,06 дюйма). ") осадков.

Снегопад. С января по апрель и с октября по декабрь в Санкт-Петербурге выпадают снегопады. В Санкт-Петербурге, Россия, в марте снег падает 10 дней. В Санкт-Петербурге в течение всего года снег выпадает 75 дней.

Температура моря. В Санкт-Петербурге средняя температура воды составляет 0,1°C (32,2°F).

Дневной свет. В марте средняя продолжительность дня в Санкт-Петербурге составляет 11,9 часа.

Солнечный свет. Средняя продолжительность солнечного сияния составляет 4 часа.

УФ-индекс. Среднесуточный максимальный УФ-индекс в Санкт-Петербурге равен 1. УФ-индекс 2 и менее символизирует низкий риск для здоровья от незащищенного воздействия солнечных УФ-лучей для среднего человека.

Погода в апреле. Апрель в Санкт-Петербурге, Россия, — морозный весенний месяц со средней температурой 9,3°C (48,7°F) и 1,5°C (34,7°F).

Температура. В Санкт-Петербурге, Россия, средняя высокая температура повышается с холодных 2 ° C (35,6 ° F) в марте до холодных 9,3 ° C (48,7 ° F). В Санкт-Петербурге средняя низкая температура составляет 1,5 ° C (34,7 ° F).

Влажность. В апреле средняя относительная влажность составляет 69%.

Осадки. Апрель – месяц с наименьшим количеством осадков. Дождь идет в течение 13 дней и накапливает 31 мм (1,22 дюйма) осадков.

Снегопад. Месяцы со снегопадом в Санкт-Петербурге, Россия, с января по апрель и с октября по декабрь. Апрель - последний месяц, когда регулярно идет снег. В апреле бывает 3 снежных дня. В Санкт-Петербурге в течение всего года снег выпадает 75 дней.

Температура моря. В Санкт-Петербурге средняя температура воды составляет 1,1°C (34°F).

Дневной свет. В апреле средняя продолжительность дня составляет 14,6 часов.

Солнечный свет. Среднее количество солнечных часов в Санкт-Петербурге составляет 6 часов.

УФ-индекс. Среднесуточный максимальный УФ-индекс в апреле составляет 3. Оценка УФ-индекса от 3 до 5 представляет собой среднюю уязвимость среднего человека от незащищенного воздействия солнечных УФ-лучей.

Погода в мае. Май, последний месяц весны в Санкт-Петербурге, является комфортным месяцем со средней температурой от 16°C (60,8°F) до 7°C (44,6°F).

Температура. В мае средняя высокая температура повышается с холодных 9,3 ° C (48,7 ° F) в апреле до приятных 16 ° C (60,8 ° F). Средняя низкая температура в Санкт-Петербурге составляет 7 ° C (44,6 ° F).

Влажность. При средней относительной влажности 65% май является наименее влажным месяцем в Санкт-Петербурге.

Осадки. В Санкт-Петербурге в течение мая дождь идет 16 дней и регулярно выпадает до 46 мм (1,81 дюйма) осадков. В течение года выпадает 173 дождливых дня, и накапливается 662 мм (26,06 дюйма) осадков.

Снегопад. С мая по сентябрь в Санкт-Петербурге не бывает снега.

Температура моря. В Санкт-Петербурге в мае средняя температура воды составляет 5,3°C (41,5°F).

Примечание: при температуре ниже 10°C (50°F) возможно плавание в купальнике с соответствующей защитой; в противном случае неизбежны холодовой шок и потеря контроля над дыханием. Даже короткое плавание без термозащиты при температуре около 13°C (55,4°F) некомфортно.

Дневной свет. В мае средняя продолжительность дня составляет 17,2 часа.

Солнечный свет. Средняя продолжительность солнечного сияния в Санкт-Петербурге составляет 8,4 часа.

УФ-индекс. В Санкт-Петербурге средний дневной максимальный УФ-индекс составляет 4. Оценка УФ-индекса от 3 до 5 представляет собой среднюю уязвимость среднего человека от незащищенного воздействия солнечных УФ-лучей.

Погода в июне. Июнь, первый месяц лета в Санкт-Петербурге, приятный месяц со средней температурой 11,7°C (53,1°F) и 20°C (68°F).

Температура. В Санкт-Петербурге средняя высокая температура незначительно повышается с комфортных 16 ° C (60,8 ° F) в мае до приятных 20 ° C (68 ° F). В июне средняя минимальная температура составляет 11,7 ° C (53,1 ° F).

Влажность. В июне средняя относительная влажность составляет 69%.

Осадки. В Санкт-Петербурге в течение июня дожди выпадают в течение 18 дней и регулярно выпадают до 71 мм (2,8 дюйма) осадков. В течение года выпадает 173 дождливых дня, и накапливается 662 мм (26,06 дюйма) осадков.

Снегопад. В Санкт-Петербурге снег не выпадает с мая по сентябрь.

Температура моря. В июне средняя температура моря составляет 11,3°C (52,3°F).

Примечание: плавание при температуре 11,3°C (52,3°F) считается опасным. Незащищенное погружение при температуре ниже 10°C (50°F) быстро вызывает холодовой шок максимальной интенсивности с гипервентиляцией.

Дневной свет. Месяц с самыми длинными днями — июнь, в среднем 18,7 часов дневного света.

Солнечный свет. Месяц с самым большим количеством солнечных часов в Санкт-Петербурге — июнь, в среднем 9,2 часа солнечного света.

УФ-индекс. Июнь и июль со средним максимальным УФ-индексом 5 являются месяцами с самым высоким УФ-индексом. Оценка УФ-индекса от 3 до 5 представляет умеренный риск для здоровья от воздействия солнечных УФ-лучей для обычных людей.

Погода в июле. Июль в Санкт-Петербурге, Россия, является умеренно жарким летним месяцем со средней максимальной температурой 23°C (73,4°F) и средней минимальной 15°C (59°F).

Температура. Июль - самый теплый месяц со средней высокой температурой 23 ° C (73,4 ° F) и средней низкой температурой 15 ° C (59 ° F).

Влажность. В июле средняя относительная влажность составляет 71%.

Осадки. В Санкт-Петербурге в июле идет дождь в течение 17 дней, при этом обычно выпадает 79 мм (3,11 дюйма) осадков. накоплено.

Снегопад. В Санкт-Петербурге снег не выпадает с мая по сентябрь.

Температура моря. Июль — месяц с самой теплой морской водой, средняя температура моря составляет 19°C (66,2°F).

Примечание. Для большинства плавание при температуре 19°C (66,2°F) не доставляет удовольствия. Кроме того, контролировать свое дыхание становится все труднее, поскольку температура воды снижается с 21°C (69,8°F) до 15°C (59°F).

Дневной свет. Средняя продолжительность дня в Санкт-Петербурге составляет 17,9 часа.

Солнечный свет. В июле среднее количество солнечных часов составляет 8,6 часа.

УФ-индекс. Июнь и июль со средним максимальным УФ-индексом 5 являются месяцами с самым высоким УФ-индексом в Санкт-Петербурге, Россия. УФ-индекс от 3 до 5 символизирует умеренную угрозу здоровью от небезопасного воздействия УФ-излучения для обычного человека.

Погода в августе. Последний месяц лета, август, также является приятным месяцем в Санкт-Петербурге, Россия, с температурой в диапазоне от среднего минимума 13,4°C (56,1°F) до среднего максимума 20,8°C (69,4°F).).

Температура. В августе средняя высокая температура практически такая же, как и в июле - приятные 20,8°C (69,4°F). В августе средняя минимальная температура составляет 13,4 ° C (56,1 ° F).

Влажность. В Санкт-Петербурге средняя относительная влажность составляет 76%.

Осадки. Месяц с наибольшим количеством осадков - август, когда дождь идет в течение 17 дней и обычно выпадает до 83 мм (3,27 дюйма) осадков.

Снегопад. В Санкт-Петербурге снег не выпадает с мая по сентябрь.

Температура моря. В Санкт-Петербурге средняя температура морской воды в августе составляет 18°C (64,4°F).

Примечание. Температура воды на поверхности 18°C (64,4°F) для купания большинству не подходит. Это не считается безопасным, поскольку контролировать дыхание становится все труднее, когда температура воды падает ниже 21°C (69,8°F).

Дневной свет. В Санкт-Петербурге средняя продолжительность дня составляет 15,5 часов.

Солнечный свет. Средняя продолжительность солнечного сияния в Санкт-Петербурге составляет 6,9 часа.

УФ-индекс. В Санкт-Петербурге среднесуточный максимальный УФ-индекс равен 4. Значение УФ-индекса от 3 до 5 символизирует среднюю опасность для здоровья от воздействия солнечных УФ-лучей на обычных людей.

Погода в сентябре. Сентябрь, первый месяц осени, в Санкт-Петербурге по-прежнему мягкий, средняя температура колеблется от 8,8°C (47,8°F) до 15°C (59°F).

Температура. В Санкт-Петербурге, Россия, средняя высокая температура в сентябре снижается с приятных 20,8°C (69,4°F) в августе до умеренных 15°C (59°F). Средняя низкая температура в сентябре составляет 8,8 ° C (47,8 ° F).

Влажность. В сентябре средняя относительная влажность составляет 80%.

Осадки. В сентябре в Санкт-Петербурге дождь идет 20 дней. За сентябрь выпадает 64 мм (2,52 дюйма) осадков. За год в Санкт-Петербурге выпадает 173 дождливых дня и выпадает 662 мм (26,06 дюйма) осадков.

Снегопад. В Санкт-Петербурге снег не выпадает с мая по сентябрь.

Температура моря. В Санкт-Петербурге средняя температура воды составляет 14°C (57,2°F).

Примечание: при температуре ниже 10°C (50°F) возможно плавание в купальнике с соответствующей защитой; в противном случае неизбежны холодовой шок и потеря контроля над дыханием. Даже короткое плавание без термозащиты при температуре около 13°C (55,4°F) некомфортно.

Дневной свет. Средняя продолжительность дня в Санкт-Петербурге составляет 12,8 часа.

Солнечный свет. В сентябре среднее количество солнечных часов составляет 4,3 часа.

УФ-индекс. В сентябре среднесуточный максимальный УФ-индекс в Санкт-Петербурге равен 3. Оценка УФ-индекса от 3 до 5 представляет среднюю опасность для здоровья от воздействия солнечных УФ-лучей для обычного человека.

Погода в октябре. Октябрь, как и сентябрь, является морозным осенним месяцем в Санкт-Петербурге, Россия, со средней низкой температурой 4°C (39,2°F) и средней максимальной 8,6°C (47,5°F).

Температура. В Санкт-Петербурге средняя высокая температура в октябре падает с умеренных 15 ° C (59 ° F) в сентябре до прохладных 8,6 ° C (47,5 ° F). В октябре в Санкт-Петербурге средняя минимальная температура составляет 4°C (39,2°F).

Влажность. Средняя относительная влажность в Санкт-Петербурге составляет 83%.

Осадки. В Санкт-Петербурге в октябре за 20 дождливых дней обычно выпадает 68 мм (2,68 дюйма) осадков. В Санкт-Петербурге в течение всего года дождь выпадает в течение 173 дней и собирает до 662 мм (26,06 дюйма) осадков.

Снегопад. С января по апрель и с октября по декабрь в Санкт-Петербурге выпадают снегопады. Октябрь — первый месяц, когда обычно выпадает снег в Санкт-Петербурге. В октябре бывает 2 снегопада. В течение года бывает 75 снежных дней.

Температура моря. В октябре средняя температура моря в Санкт-Петербурге составляет 9,1°C (48,4°F).

Примечание. Плавание при температуре 9,1°C (48,4°F) считается опасным для жизни. Даже несколько минут в воде с температурой 13°C (55,4°F) доставляют

дискомфорт, а плавание при температуре ниже 10°C (50°F) может привести к полной потере контроля над дыханием и холодовому шоку, в зависимости от телосложения человека.

Дневной свет. В октябре средняя продолжительность дня в Санкт-Петербурге составляет 10,1 часа.

Солнечный свет. Средняя продолжительность солнечного сияния в Санкт-Петербурге составляет 2,3 часа.

УФ-индекс. Среднесуточный максимальный УФ-индекс в Санкт-Петербурге равен 1. Значение УФ-индекса, равное 2 и менее, символизирует минимальную опасность для здоровья от воздействия солнечного УФ-излучения на среднестатистического человека.

Погода в ноябре. Ноябрь, последний месяц осени в Санкт-Петербурге, еще один холодный месяц со средней температурой от -1,8°C (28,8°F) до 2°C (35,6°F).

Температура. В ноябре средняя высокая температура падает с морозных 8,6 ° C (47,5 ° F) в октябре до холодных 2 ° C (35,6 ° F). В ноябре в Санкт-Петербурге средняя минимальная температура составляет -1,8°C (28,8°F).

Влажность. В Санкт-Петербурге средняя относительная влажность составляет 86%.

Осадки. В Санкт-Петербурге за 16 дождливых дней обычно выпадает 55 мм (2,17 дюйма) осадков. В Санкт-Петербурге в течение всего года дождь выпадает в течение 173 дней и собирает до 662 мм (26,06 дюйма) осадков.

Снегопад. С января по апрель, с октября по декабрь — месяцы со снегопадом. В ноябре снег лежит 9 дней. В Санкт-Петербурге в течение всего года снег выпадает 75 дней.

Температура моря. В Санкт-Петербурге, Россия, средняя температура воды составляет 5,4°C (41,7°F).

Дневной свет. В Санкт-Петербурге средняя продолжительность дня составляет 7,6 часа.

Солнечный свет. Среднее количество солнечных часов в Санкт-Петербурге, Россия, составляет 0,8 часа.

УФ-индекс. Месяцы с самым низким УФ-индексом — январь, ноябрь и декабрь, со средним максимальным УФ-индексом, равным 0. Оценка УФ-индекса, равная 2 и ниже, представляет собой минимальную опасность для здоровья от небезопасного воздействия УФ-излучения для обычных людей.

Погода в декабре. Декабрь, первый месяц зимы, в Санкт-Петербурге по-прежнему морозный месяц со средней температурой в пределах $-6,1^{\circ}\text{C}$ (21°F) и средней максимальной $-1,5^{\circ}\text{C}$ ($29,3^{\circ}\text{F}$). $^{\circ}\text{F}$).

Температура. В декабре средняя высокая температура немного снижается, с зимних 2°C ($35,6^{\circ}\text{F}$) в ноябре до мороза $-1,5^{\circ}\text{C}$ ($29,3^{\circ}\text{F}$). Средняя низкая температура в Санкт-Петербурге составляет $-6,1^{\circ}\text{C}$ (21°F).

Влажность. Декабрь — самый влажный месяц со средней относительной влажностью 87%.

Осадки. В Санкт-Петербурге за 10 дождливых дней обычно выпадает 51 мм (2,01 дюйма) осадков. В Санкт-Петербурге в течение всего года дождь выпадает в течение 173 дней и собирает до 662 мм (26,06 дюйма) осадков.

Снегопад. С января по апрель, с октября по декабрь — месяцы со снегопадом. Месяцы с наибольшим количеством снежных дней в Санкт-Петербурге, Россия, - это январь, февраль и декабрь, в среднем 17 снежных дней.

Температура моря. В Санкт-Петербурге средняя температура морской воды в декабре составляет $2,8^{\circ}\text{C}$ (37°F).

Дневной свет. В декабре самые короткие дни в году, в среднем 6,1 часа дневного света.

Солнечный свет. Месяц с наименьшим количеством солнечных дней - декабрь, в среднем 0,4 часа солнечного сияния.

УФ-индекс. Месяцы с самым низким УФ-индексом в Санкт-Петербурге, Россия, — январь, ноябрь и декабрь со средним максимальным УФ-индексом,

равным 0. Оценка УФ-индекса, равная 2 и ниже, представляет собой минимальную уязвимость здоровья от воздействия солнечного УФ. излучения для обычных людей.

2.3 Основные предикторы, используемые при сверхкраткосрочном прогнозе

Температуры воздуха.

Есть два способа взглянуть на температуру: (1) мелкомасштабное действие отдельных молекул воздуха и (2) крупномасштабное действие газа в целом. Начиная с мелкомасштабного действия, из кинетической теории газов газ состоит из большого числа молекул, очень малых относительно расстояния между молекулами. Молекулы находятся в постоянном беспорядочном движении и часто сталкиваются друг с другом и со стенками любого сосуда. Молекулы обладают физическими свойствами массы, импульса и энергии. Импульс отдельной молекулы является произведением ее массы и скорости, а кинетическая энергия равна половине массы, умноженной на квадрат скорости (как показано слева на рисунке выше). Для двухатомных газов, таких как кислород и азот, молекулы которых состоят из пар атомов, энергия также может накапливаться в вибрации и вращении атомов друг вокруг друга. На отдельном слайде мы покажем, что температура газа напрямую связана со средней поступательной кинетической энергией молекул. В горячем газе молекулы движутся быстрее, чем в холодном. Тогда можно было бы ожидать, что время между столкновениями молекул уменьшится и что импульс, сообщаемый контейнеру (который связан с давлением газа), будет увеличиваться в горячем газе.

Точка росы.

Точка росы – это температура, до которой необходимо охладить воздух (при постоянном давлении), чтобы достичь относительной влажности (RH) 100 %. В этот момент воздух не может удерживать больше воды в газовой форме. Если бы

воздух нужно было еще больше охладить, водяной пар должен был бы выходить из атмосферы в жидкой форме, обычно в виде тумана или осадков.

Чем выше поднимается точка росы, тем больше влаги в воздухе. Это напрямую влияет на то, насколько «комфортно» будет чувствовать себя снаружи. Часто относительная влажность может вводить в заблуждение. Например, температура 30 и точка росы 30 дают относительную влажность 100 %, а температура 80 и точка росы 60 дают относительную влажность 50 %. В 80-градусный день с относительной влажностью 50% будет ощущаться гораздо более «влажно», чем в 30-градусный день с 100% относительной влажностью. Это связано с более высокой точкой росы.

Поэтому, если вы хотите по-настоящему оценить, насколько «сухим» или «влажным» будет снаружи, смотрите на точку росы, а не на относительную влажность. Чем выше точка росы, тем более душным будет ощущение.

Скорость и направление ветра.

Скорость ветра описывает, насколько быстро воздух движется мимо определенной точки. Это может быть среднее значение за данную единицу времени, например, мили в час, или мгновенная скорость, которая сообщается как пиковая скорость ветра, порыв ветра или шквал.

Направление ветра описывает направление по компасу, откуда дует ветер, например, с севера или с запада.

Скорость и направление ветра важны для мониторинга и прогнозирования погодных условий и глобального климата. Скорость и направление ветра оказывают многочисленные воздействия на поверхностные воды. Эти параметры влияют на скорость испарения, перемешивание поверхностных вод, развитие сейш и нагонов. Каждый из этих процессов оказывает существенное влияние на качество и уровень воды.

Дальность видимости.

Дальность видимости – это наибольшее расстояние, на котором черный предмет подходящих размеров, расположенный у земли, может быть виден и опознан при наблюдении на ярком фоне.

2.4 Журнал фактической погоды АВ-6

Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция КРАМС-4 разработана в России и серийно изготавливается Институтом радарной метеорологии».

Смысл этой станции в метеорологическом обеспечении таких элементов управления воздушным судном.

КРАМС-4 стала популярна на территории России. К концу 2010 г. было приобретено и используется по назначению около 50 КРАМС-4, из них около 30 - в аэропортах России (Пулково, Домодедово, Ульяновск, Минеральные Воды, Баку, Ростов-на-Дону и др.). КРАМС-4 понравилась и зарубежным коллегам, а именно к 2007 году было приобретено 20 станций для международных аэропортов стран СНГ.

Для обслуживания данной станции необходимы квалифицированные специалисты, в обязанности которых входит работа и обслуживание КРАМС-4

КРАМС-4 выполняет следующие функции:

- автоматическое создание графиков вариации метеовеличин за прошедшее время измерений;
- осуществление автоматизированного формирования и печати журнала фактической погоды формы АВ-6.
- ручной ввод дополнительной информации (время начала и окончания атмосферных явлений, количество и форма облаков, сцепление, прогноз на посадку, сведения об обледенении, ветер на круге, ветер на высоте 60 или 100 м и др.).

После выполнения операций получения с датчиков, обработки и преобразования данных о метеопараметрах происходит автоматизированное формирование и печать журнала фактической погоды формы АВ-6.

Под преобразованием данных подразумевается их осреднение, определение дальности видимости на ВПП и так далее.

Пример отображения на экране фрагмента страницы журнала фактической погоды формы АВ-6 является рисунок 2.3.

Журнал АВ

Файл Страница Строка Арифм Символ Печать Стрелка Выход

А В + - ↗ ↘ ↙ ↘ ✕ ↻ ↺ ↻ ↻ ↻ ✕

Время наблюдений	Ветер						Горизонтальная видимость			Особые явления погоды (начало, конец)	Облачность			Температура	Температура
	у земли		на высоте		на высоте		по прибору (ориентир)	дальность видимости	ОВИ ВПП		кол. слоев	форма	Н		
	направление	скорость	направление	скорость	направление	скорость									
								ДЕНЬ			СВ				
10:30	000	00				100 15	0700	0	0700	•	5/3	СВ	1000	15.9 10	
10:30	000	00				100 15	0800	0	0800	•	5/3	СВ		15.9 10	
10:36	000	00				100 15	0700	0	0700	•	5/3	СВ	1000	15.9 10	
10:36	000	00				100 15	0800	0	0800	•	5/3	СВ		15.9 10	
10:37	000	00				100 15	0700	0	0700	•	5/3	СВ	1000	15.9 10	
10:37	000	00				100 15	0800	0	0800	•	5/3	СВ		15.9 10	

Журнал АВ, 6-го 22-го июля 2000 г. Страница 53

Рисунок 2.3 - Фрагмент страницы журнала АВ-6 с КРАМС-4[18]

раздел 1 – временной промежуток (0 или 30 мин каждого часа), время создания специальных сводок погоды (шторм), время осуществления функций наблюдения по необходимости, по сигналу «Тревога» и изменения направления посадки, сообщения величины коэффициента сцепления, составления и распределения прогноза на посадку;

разделы 2-8 – в разделе «Ветер» записываются значения параметров ветра. Разделы 2—4 несут информацию о направлении и скорости ветра у земли, скользяще осредненные значения за истекшие 2 мин, и максимальная скорость ветра, скользяще выбранная за истекшие 10 мин; Разделы 5-6 описывают информацию о направлении и скорости ветра на высоте 60 или 100 м; Разделы 7-8 показывают направление и скорость ветра на высоте круга);

разделы 9-11 располагают информацией о таком параметре, как «Горизонтальная видимость» (в разделе 9 присутствует дополненная информация при видимости более 5 км по прибору или ориентирам видимости, при видимости 2000 м и менее записывается видимость по приборам - минимальная из двух-трех значений, в разделе 10 - записаны ступени яркости огней аэродромной светосигнальной системы, 11 - минимальное значение дальности видимости на ВПП, определенное по 2-3 датчикам MOR);

раздел 12 - указываются «Особые явления погоды» (отмечаются атмосферные явления в символах, установленных «Наставлением», а также временные сроки начала и конца);

разделы 13-15 – описывают «Облачность» (раздел 13 содержит информацию о количестве облаков в дробном виде, где в знаменателе указывается количество облаков нижнего яруса, в числителе - общее количество облаков; раздел 14 указывает на форму облаков СВ и/или TCU; 15 - высота нижней границы облаков);

раздел 16 – указывает параметр «Температура» (вносятся показания температуры воздуха в целых и десятых градуса Цельсия, при температуре воздуха выше нуля градуса Цельсия значение указывается со знаком плюс, и при отрицательных значениях температуры со знаком).

раздел 17 указывает параметр - «Температура точки росы» (вносятся значения температуры точки росы аналогично температуре воздуха);

разделы 18-19 описывают «Влажность» (конкретно в разделе 18 присутствует информация об относительной влажности воздуха в процентах; в разделе 19 – записывается абсолютная влажность или парциальное давление водяного пара в гПа);

раздел 20 – несет информацию о параметре «Давление, мм» (отмечается величины давления, приведенные к уровню порогов ВПП (QFE) рабочего курса посадки);

раздел 21 – несет информацию о параметре «Барическая тенденция» (отмечается величина барической тенденции с точностью до десятых долей гПа при росте атмосферного давления ставится знак плюс, при падении атмосферного давления ставится знак минус);

раздел 22 - «Информация об обледенении/ о болтанке» (вносятся вручную по информированиям экипажей воздушных судов);

раздел 23 – описывает «Курс посадки» (вносится вручную по установленному курсу посадки);

раздел 24 - указывается «Сцепление/Сдвиг ветра» (записывается ручным способом по информации, поставляемой от аэродромной службы, о сцеплении, от экипажей воздушных судов или инструментальных наземных наблюдений о сдвиге ветра или закрытии гор облаками);

раздел 25 – указывается «Прогноз на посадку» (записывается из окна ручного ввода по данным, поставляемым от синоптиков).[18]

3 СВЯЗ ВНГО И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1 ВНГО при мороси

В ходе проделанной работы были описаны основные виды гололедно-изморозевых отложений (ГИО).

Обледенение, возникающее в результате сублимации водяного пара.

Важное практическое применение обледенения на дорогах имеют следующие виды атмосферных явлений: мокрый снег, его отложения, заледеневший мокрый снег, изморозь кристаллическая и зернистая, иней, гололёд.

В зависимости от процессов образования указанные виды обледенения делятся на три группы.

К первой группе можно отнести процессы формирования обледенения, появившиеся в итоге сублимации водяного пара, т.е. непосредственный переход атмосферных водяных паров в твердую фазу — лёд или снег. Процесс может происходить при отрицательных температурах воздуха, когда давление пара воды превышает давление насыщенного пара относительно поверхности льда.

Ко второй группе можно отнести обледенения, появившиеся из-за процесса замерзания осевших капель воды, находящихся в переохлаждённом состоянии.

К третьей группе можно отнести обледенения, причиной появления которых являются осевшие замерзшие капли, находящиеся в состоянии непереохлаждённой воды и мокрого снега.

При формировании обледенения, появившегося в результате сублимации водяного пара происходит оседание сублимационного льда, у которого различима глазом *кристаллическая* структура. В эту группу входят такие явления, как иней и кристаллическая изморозь.

При замерзании осевших капель переохлаждённой воды происходит оседание зернистого и стекловидного льда.

С процессами третьей группы связаны обледенения, причиной появления которых являются осевшие замерзшие капли, находящиеся в состоянии непереохлаждённой воды дождя и тумана и их дальнейшее замерзание. Структура таких отложений представляет собой на первый взгляд аморфный, но кристаллический лёд

Принадлежащая всем типам обледенения структура обуславливается устроенным составом метеорологических условий. Изменчивость этих условий влечет либо к прекращению обледенения, либо к прохождению одного вида обледенения в другой.

При условиях близким к граничным благоприятных для появления таких двух смежных видов обледенения, видны находящиеся в изменяющемся состоянии формы. Это обстоятельство позволяет выделить для большинства видов обледенения их разновидности. Эти разновидности, как показывают микрофизические исследования, сохраняют структуру вида, но отличаются от характеризующей вид разновидности своей плотностью, формой отложения и другими морфологическими признаками.

Иней – обледенение, формирующееся в ночное время при отрицательных значениях температуры воздуха в диапазоне от -10 градусов Цельсия до -25 градусов Цельсия при ясной небе или высокой и очень тонкой облачности в отсутствии сильного ветра в вид процесса перехода водяного пара в твёрдое состояние – лёд. При этом происходит сильное радиационное охлаждение, возникающее вследствие ночного излучения. Иней образуется достаточно быстро. С приближением утра температура воздуха растёт и формирование инея останавливается, при этом он продолжает существовать еще долгое время. Исчезает иней в результате испарения с поверхности или, что бывает реже, путем таяния.

В зависимости от условий образования можно выделить для инея 2 разновидности: иней при слабом ветре/штиле и иней наветренный.

Иней при слабом ветре/штиле – образование (0,2-2 мм) этой разновидности происходит в ночное время с ясным небом и отрицательной температурой воздуха ниже -10 градусов Цельсия, при штиле или очень тихом ветре, не более 1 м/с в условиях охлаждения металлических и иных конструкций вследствие ночного излучения.

Иней наветренный – образование (2-3 мм) происходит также в ночное время при ясной погоде при отсутствии ветра от 1 до 5 м/с. Температура воздуха необходимая для образования этого типа обледенения находится в диапазоне от -12 до -14, не выше -11⁰С.

Эта разновидность инея является переходной к кристаллической изморози (листовидной).

Если при охлаждении воздуха в нем содержится достаточно воды, чтобы точка росы была выше точки замерзания, то образуется роса. Но если воздух достаточно сухой, чтобы точка росы была ниже 0⁰С (32⁰F), то образуется изморозь.

Иней состоит из кристаллических структур, которые вырастают из водяного пара, испаряющегося из капель жидкости, взвешенных в воздухе. Однажды образовавшись кристаллы инея, они могут оставаться до тех пор, пока благоприятны условия для их существования. Но если кристаллы или воздух вокруг них нагреваются, испарение с поверхностей кристаллов приводит к их гибели. Поэтому в конце зимы мы видим согревающие лучи солнца, счищающие иней с южных сторон предметов.

Стоит внимательно присмотреться к кристаллам инея. Они встречаются в замысловатом разнообразии форм — игольчатых, чашевидных, пластинчатых, папоротниковидных и перистых — в зависимости от температуры, при которой они развивались.

Кристаллическая изморозь, как и иней, образуется в ночные часы. Утром процесс ее образования прекращается, а при некотором незначительном приходе солнечной радиации она начинает видимо осыпаться (в случае тонких предметов, проводов, стержней и т.д.)

Кристаллическая изморозь листовидная – характеризуется очень малым значением плотности (0,01 – 0,04 г/см³). Образуется листовидная изморозь в ночные часы преимущественно при безоблачном небе или тонкой облачности, ветре от 1 до 7 м/с, когда температура воздуха опускается ниже -11⁰С (наблюдаются образования отложений и при -20⁰С).

Листовидная изморозь формируется в результате непосредственного перехода в лед ледяного пара, содержащегося в воздухе.

Максимальные размер листовидной изморози может достигать 40 мм, очень редко 60 мм. Для этого типа обледенения свойственно недолговременное время формирования и существования на тонких плоских конструкциях. С восходом солнца, несмотря на присутствие в воздухе ледяных игл, изморозь развития не получает.

Изогнутость листовидных кристаллов указывает на изменение курса ветра во время их формирования.

Кристаллическая изморозь пушистая – данное обледенение обладает плотностью в пределах от 0,01 до 0,05 г/см³.

Образование пушистой изморози происходит обычно ночью, но возможно ее образование и в дневные часы. Опадает изморозь с предметов при повышении температуры и усилении ветра. Эта разновидность кристаллической изморози встречается сравнительно редко. Во внешнем виде отложения отсутствуют какие-либо характерные контурные очертания. Оно очень напоминает собой легкий пушистый снежный покров.

Обледенения, возникающие в результате осаждения и замерзания переохлажденных капель воды

Зернистая изморозь – зернистая изморозь образуется в туманную, преимущественно ветренную погоду, чаще всего при температуре от -3 до -8°C . При этих условиях капли тумана находятся в переохлажденном состоянии. Сталкиваясь с предметами, они практически мгновенно замерзают, сохраняя в основном сферическую форму в виде ледяных зерен. Этим и объясняется зернистая структура изморози, иногда малозаметная человеческим глазом.

Наиболее интенсивное отложение изморози происходит при больших скоростях ветра, очень плотном тумане и температуре воздуха от -4 до -7°C . В этих условиях предельный размер отложения на возвышенностях может достигать 150 мм, в низменных местах – до 50 мм.

Внешний вид многообразных форм зернистой изморози и ее плотность зависят главным образом от температуры воздуха, величины капель тумана и отчасти от скорости ветра. С дальнейшим понижением температуры воздуха и уменьшением капель тумана изморозь приобретает ажурный вид и небольшую плотность ($0,1 \text{ г/см}^3$). При повышении температуры воздуха и укрупнении капель тумана плотность изморози увеличивается до $0,6 \text{ г/см}^3$; по внешнему виду она может напоминать мутный гололед. При длительном сохранении и частичном подтаивании поверхность зернистой изморози становится блестящей.

Зернистая изморозь в сочетании с сильным ветром дает нередкие случаи обрывов проводов и даже поломов столбов на линии.

По внешним признакам и условиям образования различаются три разновидности зернистой изморози: иглообразная, веерообразная и пластинчатая.

Зернистая изморозь иглообразная – отличается от всех остальных разновидностей игольчатым строением. Как правило, иглы возникают не на всей поверхности, а в отдельных точках обледенения, растут они навстречу ветру. Мало изменяясь по толщине, они растут в длину. Благодаря завихрениям угол наклона игл по отношению к поверхности неодинаков, и они как будто переплетаются между собой. Объемная плотность не превышает $0,08 \text{ г/см}^3$.

Наиболее частое образование такой изморози происходит при дымке и слабом тумане при температуре от $-4,6$ до -10°C и ветре до 5 м/с. Небольшие размеры отложения и низкая скорость его развития объясняются малой водностью тумана. Сила сцепления изморози с проводами и тонкими предметами мала. Опадает отложение главным образом от повышения температуры и усиления ветра. Иголообразная изморозь наблюдается чаще всего в низменных местах.

При развитии адвективных туманов она может уплотняться и принимать вид веерообразной изморози. Иглистость осаджения хорошо обнаруживается лишь в конце отложения, основная же масса представляет собой осадок льда зернистой структуры.

Зернистая изморозь веерообразная – отложение упорядоченное, напоминает плотные перья, веера, растущие от поверхности в среднем под углом 45° и направлены к потоку ветра. Такой же примерно угол наклона имеют элементы отложения с подветренной стороны. Изменение угла наклона является следствием изменения направления ветра.

Образуется при туманах и дымках, чаще всего при температуре от -3 до -10°C и ветре от 1 до 10 м/с. Плотность изморози колеблется от $0,1$ до $0,3$ г/см³ и зависит от условий образования: чем ниже температура и меньше капли тумана, тем изморозь рыхлее. И, наоборот, с повышением температуры и увеличением капель тумана изморозь становится более плотной. Максимальный диаметр изморози в гололедных районах достигает 100 мм и более.

Веерообразная изморозь представляет собой опасное обледенение. С ее появлением отмечаются вибрация, скручивая и парусность ЛЭП, могут рваться провода или ломаться опоры. Опадает веерообразная изморозь с проводов и др. предметов при повышении температуры и усилении ветра.

Зернистая изморозь пластинчатая – образовывается при тумане (чаще всего адвективном). Туман отличается большой водностью. Капли его несколько крупнее, чем при образовании веерообразной изморози и близки по размерам к

каплям мороси. Температура воздуха при образовании отложения около -2 – до -5°C . Скорость ветра находится в пределах от 5 до 10 м/с, но может быть и больше (15-16 м/с).

Плотность пластинчатой изморози колеблется от 0,4 до 0,6 г/см³. Сила сцепления с проводами большая. При обивке отложение опадает небольшими кусками. Естественное опадение изморози с предметов происходит обычно при повышении температуры.

Эта разновидность изморози является переходной к гребнеобразному гололеду, в то же время оно напоминает в известной мере горную изморозь. Во внешнем строении отложения видна слоистость. Основная масса отложения составляет с поверхностью угол в 45° и направлен против ветра.

Гололёд – возникает чаще всего при температуре от 0 до $-3,1$ от осадения и замерзания переохлажденных капель дождя, мороси или тумана. Переохлажденные капли воды не замерзают порознь при столкновении с предметами, как это имеет место при образовании зернистой изморози, а разливаются по их поверхности и, соединяясь с вновь выпадающими, образуют под влиянием отрицательной температуры воздуха стекловидно-прозрачную корку льда. Такой процесс слияния капель объясняется недостаточным их переохлаждением и выделением при замерзании большого запаса скрытого тепла плавления. При более низких температурах гололед бывает мутным, но при этих условиях он имеет стекловидное строение.

Слой намерзшего льда может достигать несколько см и вызывать (в случае усиления ветра до 10-17 м/с) повреждения предметов.

Разновидность гололеда в зависимости от условий их образования отличаются друг от друга формой отложения, а некоторые из них – плотностью. Наиболее часто наблюдаются следующие разновидности гололеда: гребнеобразный, овалообразный, футлярообразный и волнистообразный.

Гололед гребнеобразный – поперечное сечение отложения имеет клиновидную форму с остриями, обращенными к потоку ветра.

Характерная для этой разновидности гололеда продольная слоистость льда (вдоль ветрового потока) объясняется быстрым замерзанием сравнительно мелких, не успевших полностью растечься переохлажденных капель воды.

Образование такого гололеда происходит при морозящем дожде, густом крупнокапельном (смачивающем) тумане или сочетании этих явлений при температуре около $-0,6$ до -3°C и ветре от 3 до 13 м/с.

Максимальный размер гололеда нередко достигает 50 мм, плотность его колеблется от 0,7 до 0,9 г/см³. Гололед пропадает преимущественно при повышении температуры. Эта разновидность гололеда характерна в основном для возвышенных мест с большой частотой повторяемости адвективных туманов.

Гололед овалообразный – образуется при мелком дожде, сочетающемся с моросью или туманом. Температура во время образования бывает от $-0,5$ до -3 , но может быть и ниже. Скорость ветра сильно колеблется (от 5 до 17 м/с). Максимальный диаметр гололеда может достигать 60 мм при плотности 0,8-0,9 г/см³. Отложение представляет собой однородный слой плотного стекловидного льда, имеющего гладкую поверхность.

Указанная разновидность гололеда является наиболее опасной.

Гололед футлярообразный и волнистообразный – плотность льда около 0,9 г/см³. Образование этих разновидностей гололеда происходит от крупнокапельного переохлаждения дождя при отрицательной температуре (от $-4,2$ до $0,4^{\circ}\text{C}$), при ветре от 2 до 5 м/с в случае футлярообразном гололеде, и от 3 до 14 м/с в случае см волнистообразным гололедом. Наиболее крупные капли и высокая температура наблюдаются именно при образовании волнистообразного гололеда. Своеобразие формы такого отложения объясняется стеканием книзу не успевающих замерзнуть капель. На предметах, столбах, проводах возникают сосульки или волнистая форма отложения.

Максимальный диаметр гололеда достигает 40 мм, сила сцепления с окружающими предметами велика.

Обледенения, возникающие в результате осаднения и замерзания мокрого снега.

Отложение мокрого снега – элементами обледенения являются мокрые снежинки сильно искаженной формы, между которыми находятся капли воды. Их наличие, а также общий процесс таяния снежинок (возможно также одновременное выпадение мелких непереохлажденных капель дождя) приводит к липкости снега и его способности удерживаться даже на очень тонких проводах.

Отложение мокрого снега образуется преимущественно при положительной температуре от 0 до 1⁰С; при температуре выше 1⁰С оно растет медленно и начинает скатываться с плоских предметов, тросов, проводов.

При понижении температуры ниже 0⁰ отложение мокрого снега постепенно замерзает. Скорость ветра не превышает 3 м/с.

Отложение мокрого снега относится к числу опасных видов обледенения. Оно увеличивает нагрузку на провода, воздействует на механическую прочность линий связи и делает неразличимыми световые сигналы. Характерно для низменных мест с малыми скоростями ветра.

Замерзшее отложение мокрого снега – зависит от хода температуры, характера осадков и отчасти от скорости ветра.

В ситуации оседания мокрого снега получалось исключительно при температуре воздуха 1 градус Цельсия, в то время как процесс обледенения описывается достаточно равномерным слоем и бывает стекловидно-прозрачным, как и гололед.

В ситуации, когда мокрый снег выпадал только при положительной температуре около 0 градусах Цельсия осевшее вещество имеет низкую плотность и обладает формой снега. При продолжительном снегопаде и при переходе температуры воздуха из поля положительных значений в поле отрицательных

значений строение отложения бывает обычно крайне неоднородным – от прозрачного льда у поверхности до кристаллического снега, являющегося самым верхним слоем этого обледенения.

Из-за такого заметного отличия плотность замерзшего отложения мокрого снега находится в пределах от 0,2 до 0,6 г/см³.

Отложения мокрого снега очень устойчивы, оно не склонно к быстрому уменьшению и достаточно долго остаётся на разных поверхностях, таких как стенах, фонарях, на линиях электропередач, не спадает даже при сильном ветре. Поэтому отложение мокрого снега является опасным явлением и нуждается в быстром прогнозировании и эффективном устранении.

Сложные отложения льда.

Зернистая изморось на гололеде является сложным отложением двуслойного льда. Оно формируется разными способами. Первый способ – через гололёд, второй способ – через зернистую изморозь. Обычно в первую очередь появляется гололёд на какой-либо поверхности, только потом формируется изморозь. При продолжительной непрерывности тумане и упадке температуры, происходит поочередный переход гололеда в изморозь.

Появляется оно из-за изменения погоды в виде понижения температуры воздуха и уменьшению диаметра капель воды, находящихся в переохлаждённом состоянии. Часто наблюдается при тумане или дожде, сменяющимся дождем или туманом, соответственно и температуре в начале образования от -0,6 -5,4⁰С с последующим понижением от -5 до -9,6. Скорость ветра при этом обычно увеличивается в пределах от 1-6 м/с до 7-12 м/с. Редко бывает уменьшение скорости ветра от 17 до 2 м/с.

Гололед на зернистой изморози – отложение данного типа наблюдается отмечается относительно редко. Условия его образования таковы: сначала наблюдается процесс осадения зернистой изморози, а затем формируется гололед. Размер максимального отложения составляет 70 мм. Наблюдается, как

правило при тумане, сменившемся в конце процесса дождем и повышением температуры от $-5,2 - -3,6^{\circ}\text{C}$ до $-2,6 - -1,6^{\circ}\text{C}$. Скорость ветра меняется от 3 до 10 м/с.

Сложные отложения по типу чередующихся слоев гололеда и изморози – начинается такое отложение обычно с гололеда и представляет собой самое опасное обледенение. Условия возникновения такого отложения характерно при смене погодных условий, аналогичных для образования явлений гололеда и изморози (образование может быть связано с наличием моросящего дождя и тумана/мороси и тумана при различных значениях температуры воздуха и скорости ветра).

Размер максимальных отложений составляет 150-200 мм в местах с гололедом. Длительность формирования и сохранения осевшего льда на проводах может достигать несколько недель.

Регрессионный анализ — это набор статистических методов, используемых для оценки отношений между зависимой переменной и одной или несколькими независимыми переменными. Его можно использовать для оценки силы взаимосвязи между переменными и для моделирования будущих взаимосвязей между ними.

Этот термин был впервые использован в работе Пирсона - Pearson, 1908 год.

Значения переменной отклика y изменяются согласно нормальному распределению со стандартным отклонением σ для любых значений объясняющих переменных $x_1, x_2, \dots, x_k$. Величина σ является неизвестным параметром.

Повторяющиеся значения y не зависят друг от друга.

Связь между средним откликом y (обозначается как μ_y) и независимыми переменными $x_1, x_2, \dots, x_k$ является линейной и определяется выражением $\mu_y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$, где каждый β_i является неизвестным параметром.

3.1.1 Морось незамерзающая слабая

Морось незамерзающая слабая (151) наблюдалась в 117 случаях.

$$HL = 64.25 + 120.79T - 118.3Td$$

Predictor	Coefficient	Estimate	Standard Error	<i>t</i> -statistic	<i>p</i> -value
Constant	β_0	64.2535	3.1606	20.3298	0
T	β_1	120.7881	3.5644	33.8874	0
Td	β_2	-118.2971	3.52	-33.6074	0

Summary of Overall Fit

R-Squared:	$r^2 = 0.418$
Adjusted R-Squared:	$r^2_{adj} = 0.4173$
Residual Standard Error:	48.252 on 1602 degrees of freedom.
Overall <i>F</i> -statistic:	575.3445 on 2 and 1602 degrees of freedom.
Overall <i>p</i> -value:	0

Analysis of Variance Table

Source	df	SS	MS	<i>F</i> -statistic	<i>p</i> -value
Regression	2	2679095.8046	1339547.9023	575.3445	0
Residual Error	1602	3729862.0771	2328.2535		
Total	1604	6408957.8816	3995.6097		

Рисунок 3.1 – Детали анализа для мороси незамерзающей слабой.

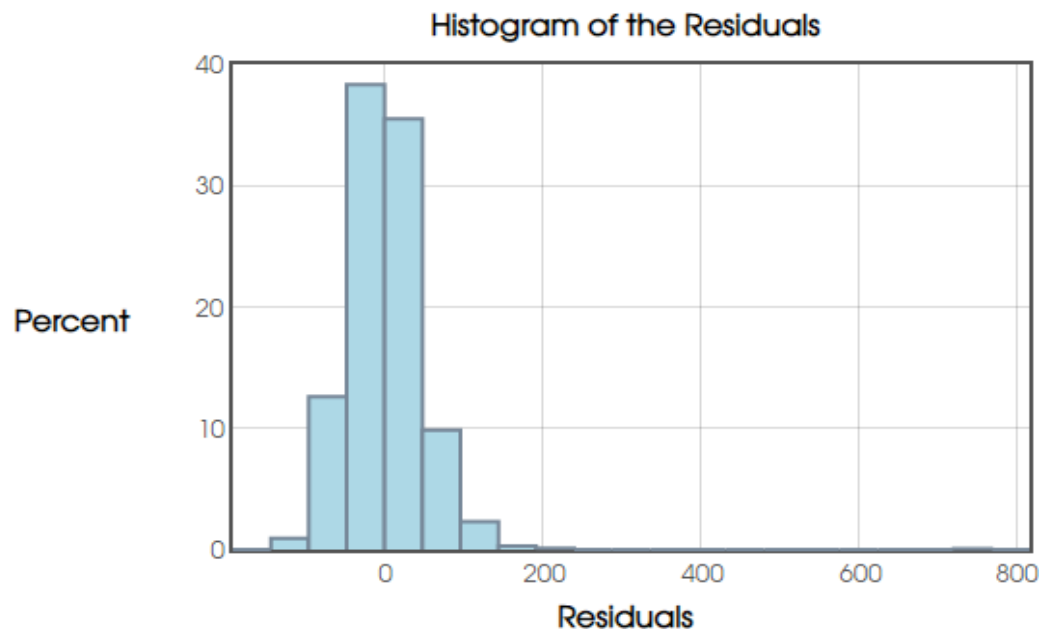


Рисунок 3.2 – Гистограмма остаточных значение для случая мороси незамерзающей слабой

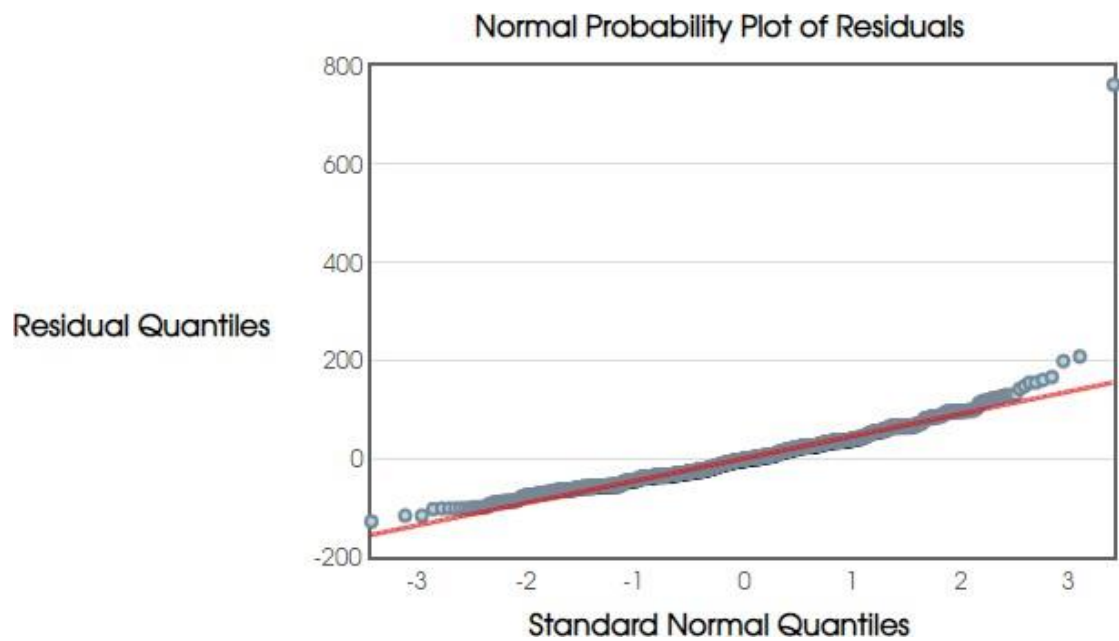


Рисунок 3.3 – График нормальной вероятности для случая мороси незамерзающей слабой

Five Number Summary of Residuals

Minimum:	Min= −128.4157
1st Quartile:	$Q_1 = -33.307$
Median:	$M = -1.7943$
3rd Quartile:	$Q_3 = 27.2048$
Maximum:	Max= 761.9013

Рисунок 3.4 – Сводка остатков по пяти числам для случая морosi незамерзающей слабой

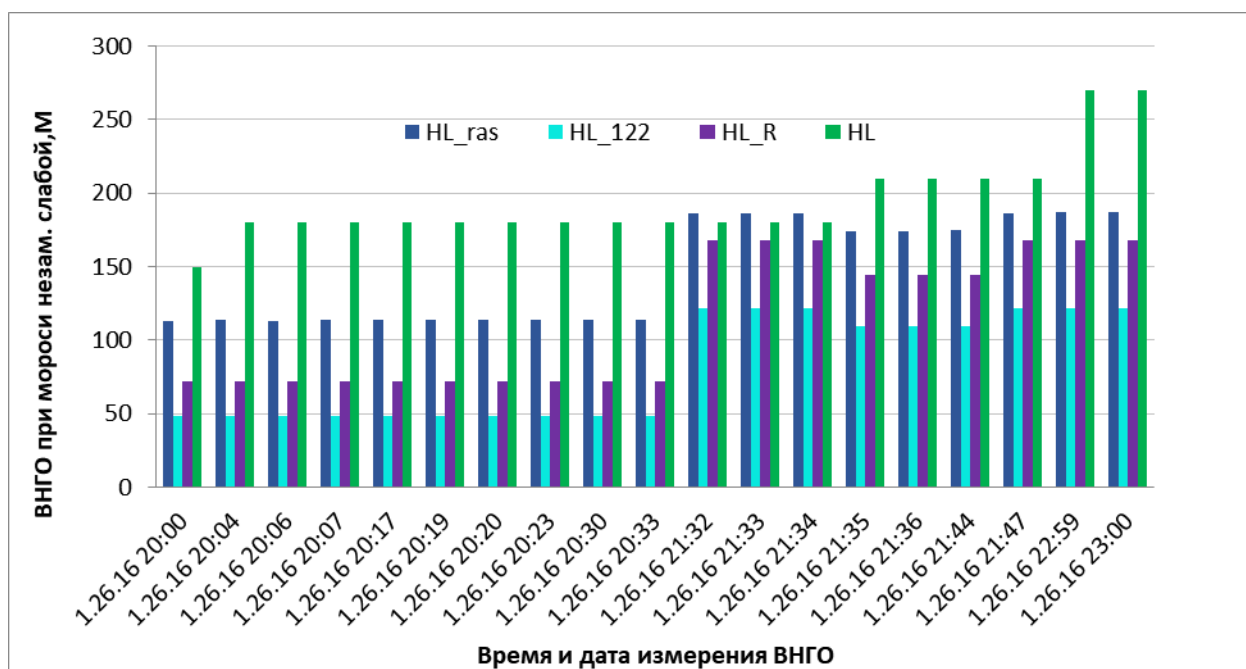


Рисунок – 3.5 – Изменчивость ВНГО в случае морosi незамерзающей слабой

На рисунке 3.5 зелёным цветом отмечена фактическая ВНГО, темно-синим цветом – расчетное значение ВНГО по предложенному методу (HL_ras).

Видно, что предложенный метод лучше прогнозирует облачность, чем все остальные.

3.1.2 Морось незамерзающая умеренная

Морось незамерзающая умеренная наблюдалась (152) в 275 случаях.

$$HL = 26.97 + 111.97T - 109.62Td$$

Predictor	Coefficient	Estimate	Standard Error	<i>t</i> -statistic	<i>p</i> -value
Constant	β_0	26.9666	6.4071	4.2089	0.0001
T	β_1	111.9651	14.1619	7.9061	0
Td	β_2	-109.6248	13.3822	-8.1918	0

Summary of Overall Fit

R-Squared:	$r^2 = 0.4065$
Adjusted R-Squared:	$r^2_{adj} = 0.396$
Residual Standard Error:	21.1206 on 114 degrees of freedom.
Overall <i>F</i> -statistic:	39.0336 on 2 and 114 degrees of freedom.
Overall <i>p</i> -value:	0

Analysis of Variance Table

Source	df	SS	MS	<i>F</i> -statistic	<i>p</i> -value
Regression	2	34824.0275	17412.0138	39.0336	0
Residual Error	114	50852.8956	446.078		
Total	116	85676.9231	738.5942		

Рисунок 3.6 – Детали анализа для мороси незамерзающей умеренной

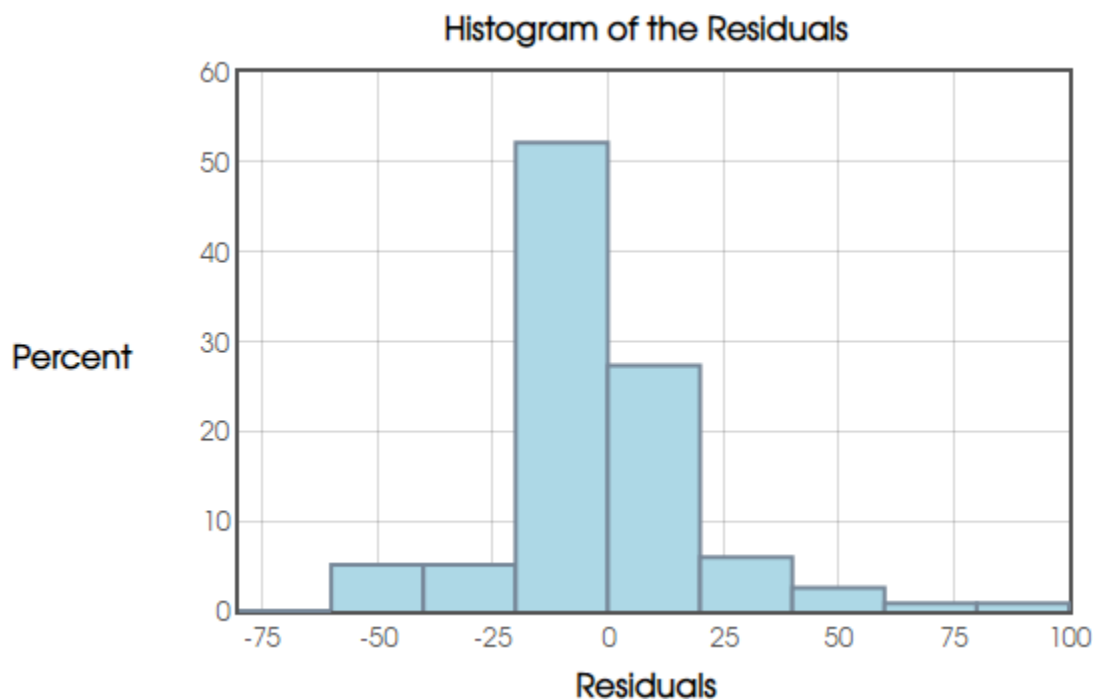


Рисунок 3.7 - Гистограмма остаточных значение для случая мороси незамерзающей умеренной

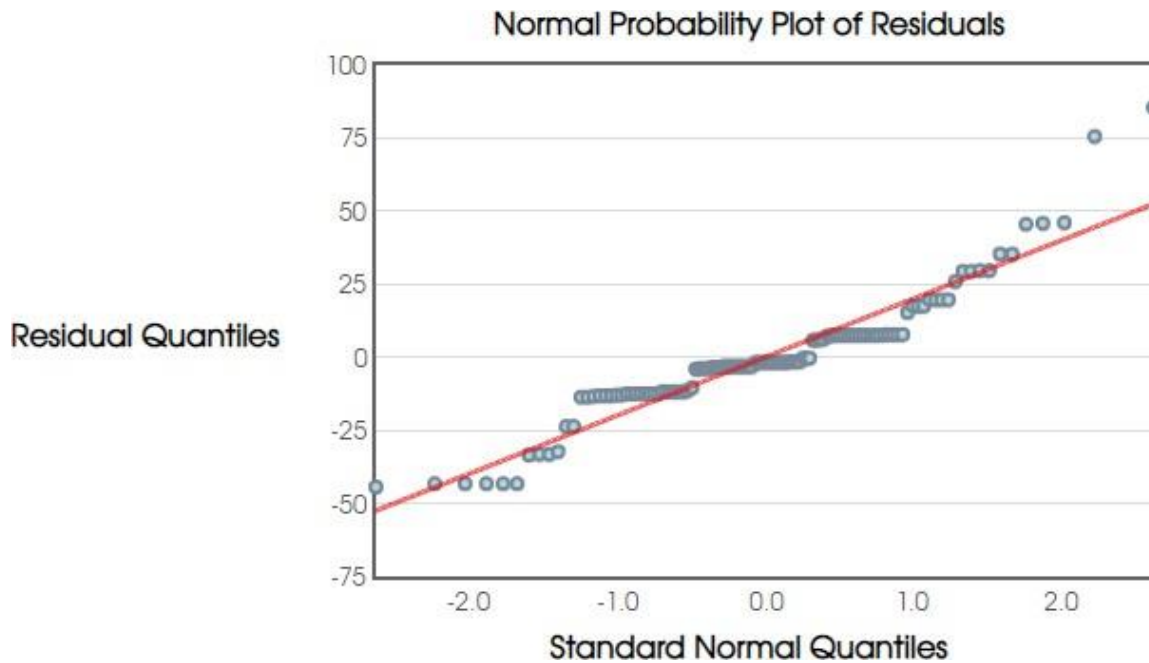


Рисунок 3.8 - График нормальной вероятности для случая мороси незамерзающей умеренной

Five Number Summary of Residuals

Minimum:	Min= -44.406
1st Quartile:	$Q_1 = -11.7262$
Median:	$M = -1.7262$
3rd Quartile:	$Q_3 = 7.5453$
Maximum:	Max= 85.3863

Рисунок 3.9 - Сводка остатков по пяти числам для случая мороси незамерзающей умеренной

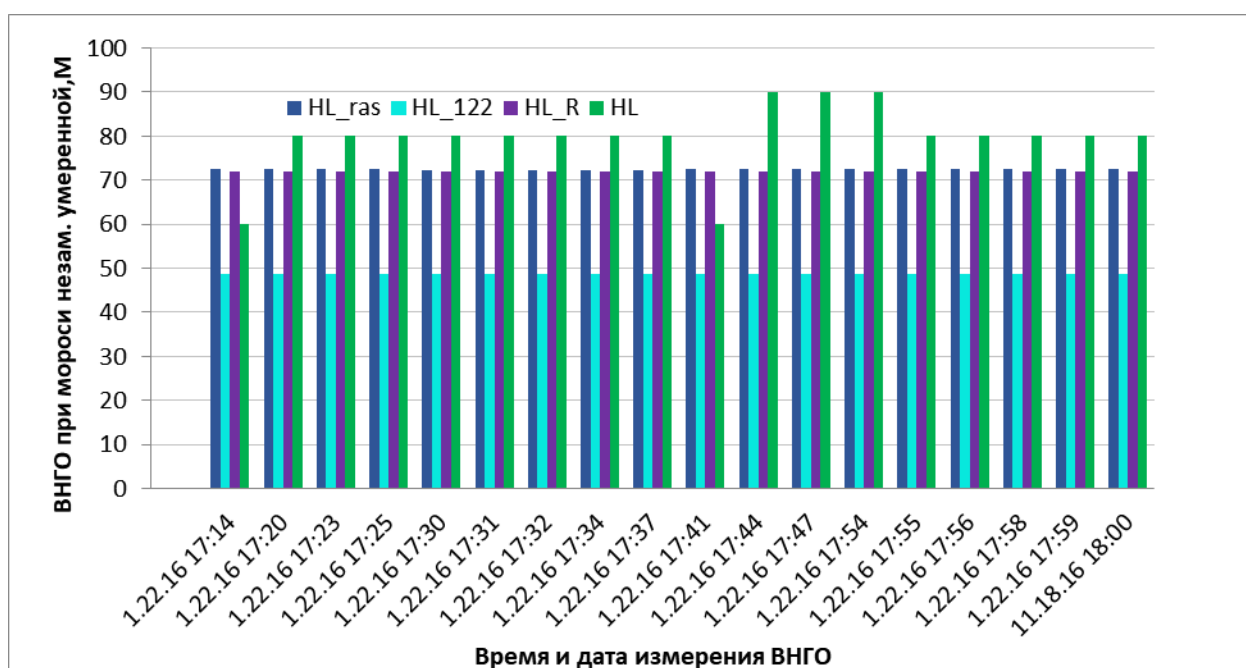


Рисунок 3.10 – Изменчивость ВНГО в случае мороси незамерзающей умеренной

Из рисунка 3.10 видно, что предложенный метод и метод с учетом относительной влажности лучше прогнозируют облачность, чем метод на основе разности между T и T_d .

3.1.3 Морось замерзающая слабая

Морось замерзающая слабая (154) наблюдалась в 275 случаях

$$HL = 61.9 + 140.7T - 139.6Td.$$

Predictor	Coefficient	Estimate	Standard Error	<i>t</i> -statistic	<i>p</i> -value
Constant	β_0	61.9217	7.8872	7.8509	0
T	β_1	140.6873	9.0922	15.4734	0
Td	β_2	-139.6121	8.9991	-15.514	0

Summary of Overall Fit

R-Squared:	$r^2 = 0.47$
Adjusted R-Squared:	$r^2_{adj} = 0.4661$
Residual Standard Error:	35.9479 on 272 degrees of freedom.
Overall <i>F</i> -statistic:	120.6043 on 2 and 272 degrees of freedom.
Overall <i>p</i> -value:	0

Analysis of Variance Table

Source	df	SS	MS	<i>F</i> -statistic	<i>p</i> -value
Regression	2	311701.9726	155850.9863	120.6043	0
Residual Error	272	351492.2092	1292.2508		
Total	274	663194.1818	2420.4167		

Рисунок 3.11 – Детали анализа для мороси замерзающей слабой

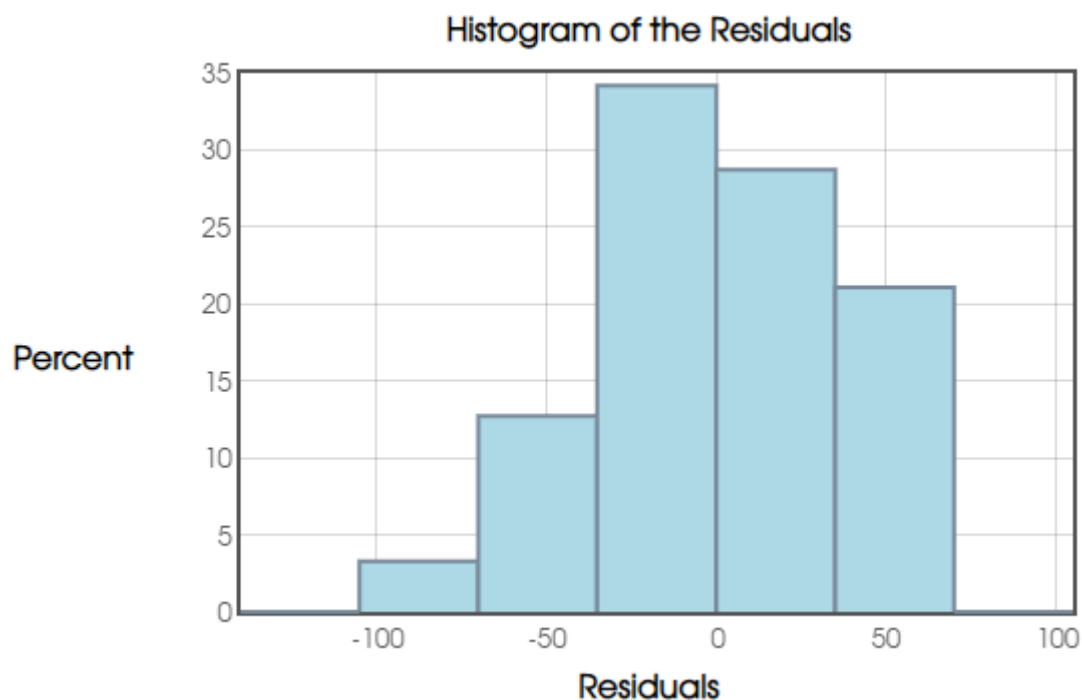


Рисунок 3.12 - Гистограмма остаточных значение для случая мороси замерзающей слабой

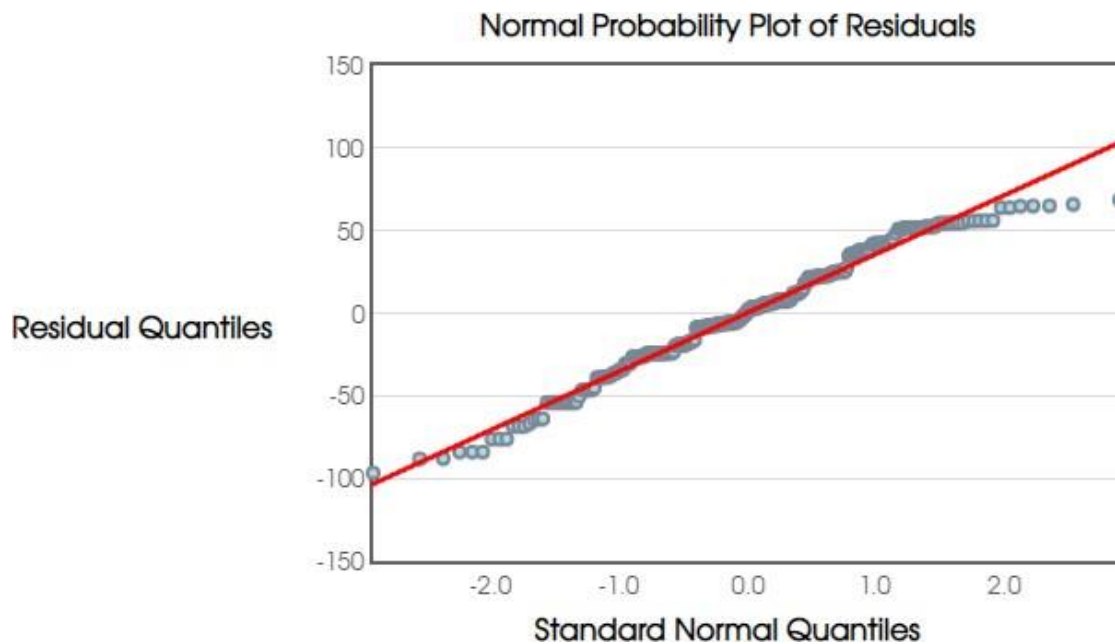


Рисунок 3.13 - График нормальной вероятности для случая мороси замерзающей слабой

Five Number Summary of Residuals

Minimum:	Min= -96.7474
1st Quartile:	$Q_1 = -24.0763$
Median:	$M = -0.3694$
3rd Quartile:	$Q_3 = 24.6502$
Maximum:	Max= 68.6812

Рисунок 3.14 - Сводка остатков по пяти числам для случая мороси замерзающей слабой

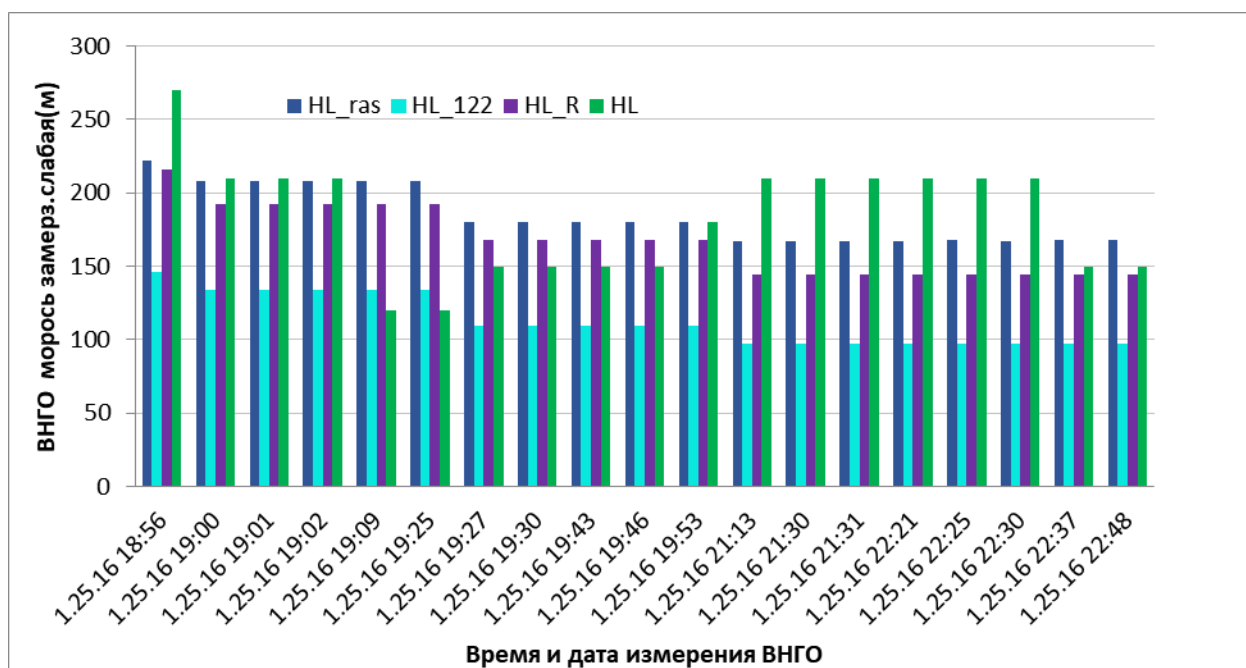


Рисунок 3.15 – Изменчивость ВНГО для случая мороси замерзающей слабой

Как видно из рисунка 3.15 примера при мороси, замерзающей слабой лучше всего, работает предложенный метод расчета ВНГО, очень близко к этому методу работает метод на основании относительной влажности, хуже всех работает метод, основанный на разности T и T_d .

3.2 ВНГО при дожде

3.2.1 Ливневой дождь слабый

Ливневой дождь слабый (182) наблюдался в 2432 случаях.

$$HL = 125.5 + 132.7T - 120.7Td.$$

Predictor	Coefficient	Estimate	Standard Error	<i>t</i> -statistic	<i>p</i> -value
Constant	β_0	125.4967	5.3689	23.3745	0
T	β_1	132.694	2.4116	55.0229	0
Td	β_2	-120.6744	2.4003	-50.2737	0

Summary of Overall Fit

R-Squared:	$r^2 = 0.5697$
Adjusted R-Squared:	$r^2_{adj} = 0.5694$
Residual Standard Error:	112.9723 on 2420 degrees of freedom.
Overall <i>F</i> -statistic:	1602.2975 on 2 and 2420 degrees of freedom.
Overall <i>p</i> -value:	0

Analysis of Variance Table

Source	df	SS	MS	<i>F</i> -statistic	<i>p</i> -value
Regression	2	40899444.0918	20449722.0459	1602.2975	0
Residual Error	2420	30885855.2066	12762.7501		
Total	2422	71785299.2984	29638.8519		

Рисунок 3.16 - Детали анализа для ливневого дождя слабого

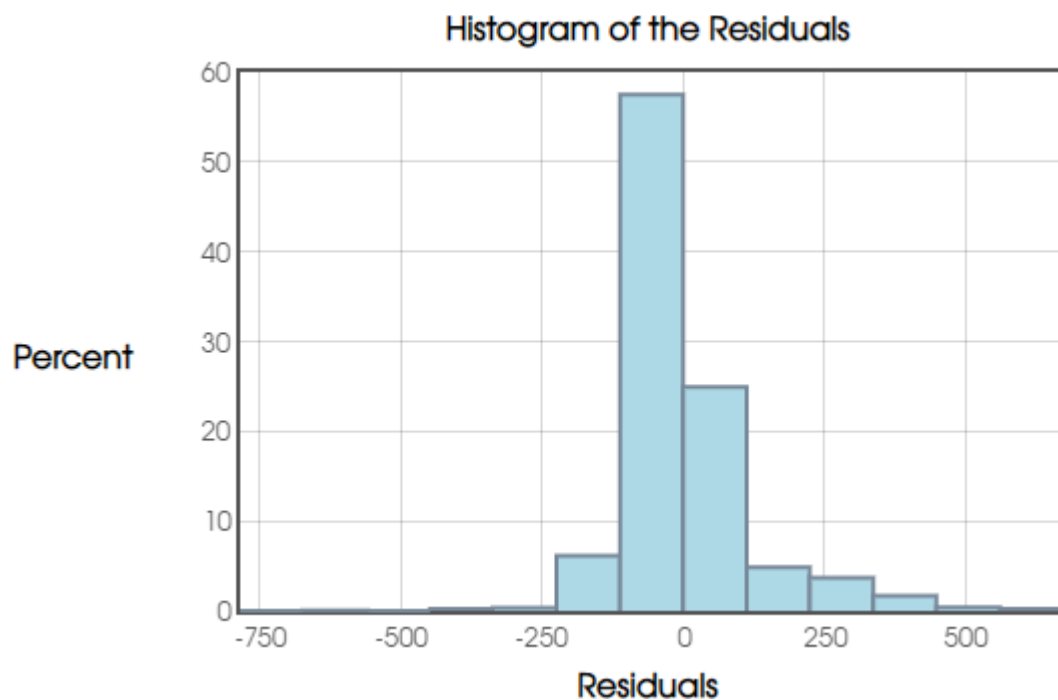


Рисунок 3.17 - Гистограмма остаточных значений для ливневого дождя слабого

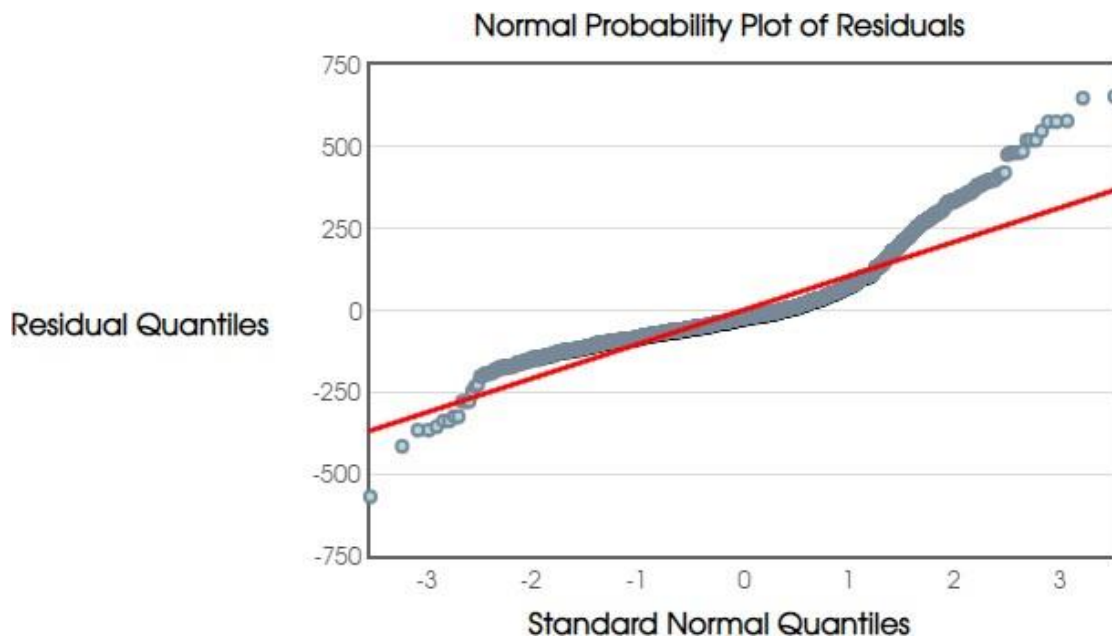


Рисунок 3.18 - График нормальной вероятности для случая ливневого дождя слабого

Five Number Summary of Residuals

Minimum:	Min= −569.0704
1st Quartile:	$Q_1 = -62.7588$
Median:	$M = -22.8538$
3rd Quartile:	$Q_3 = 31.3235$
Maximum:	Max= 653.8278

Рисунок 3.19 - Сводка остатков по пяти числам для случая

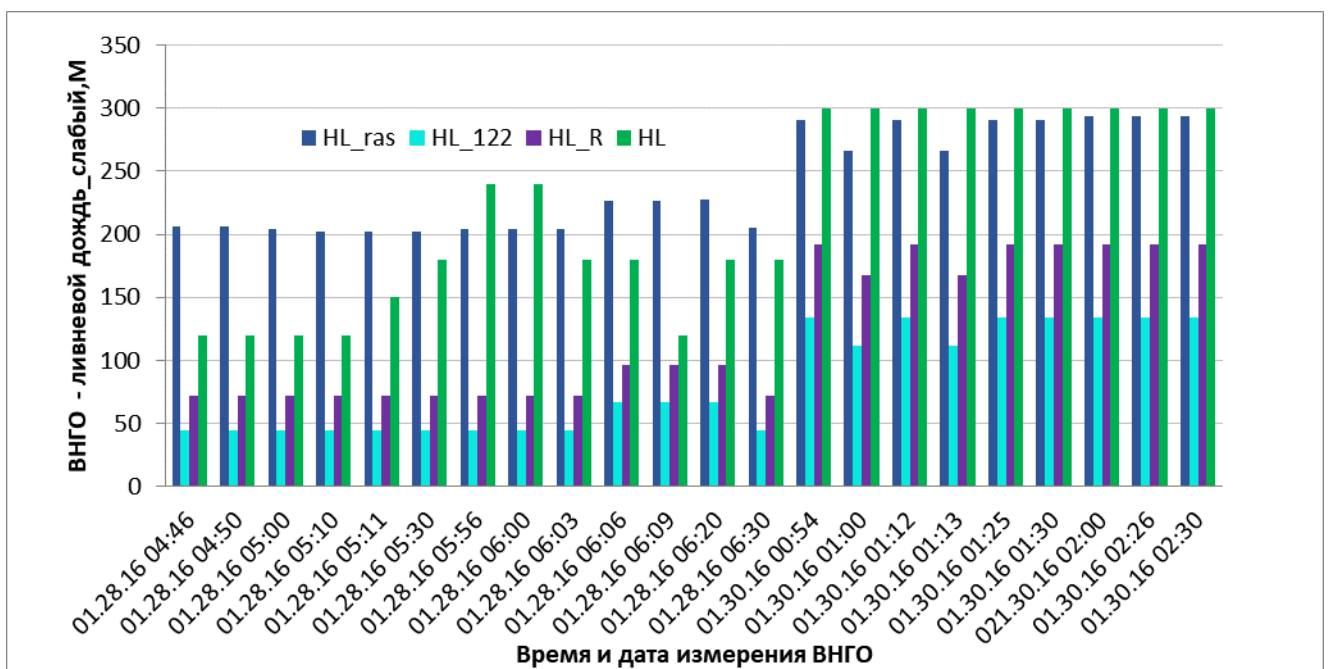


Рисунок 3.20 – Изменчивость ВНГО для случая ливневого дождя слабого

Из рисунка 3.20 видно, что при слабом ливневом дожде при ВНГО < 200 предложенный метод сильно завышает ВНГО, при >200 м метод работает намного лучше, чем два остальных.

3.3 ВНГО при снегопаде

3.3.1 Снег умеренный

Снег умеренный (172) наблюдался в 1917 случаях.

$$HL = 124.99 + 138.02T - 132.6Td.$$

Predictor	Coefficient	Estimate	Standard Error	<i>t</i> -statistic	<i>p</i> -value
Constant	β_0	124.9904	7.1447	17.4941	0
T	β_1	138.0177	7.738	17.8363	0
Td	β_2	-132.647	7.0388	-18.8451	0

Summary of Overall Fit

R-Squared:	$r^2 = 0.1988$
Adjusted R-Squared:	$r^2_{adj} = 0.1979$
Residual Standard Error:	135.196 on 1914 degrees of freedom.
Overall <i>F</i> -statistic:	237.4091 on 2 and 1914 degrees of freedom.
Overall <i>p</i> -value:	0

Analysis of Variance Table

Source	df	SS	MS	<i>F</i> -statistic	<i>p</i> -value
Regression	2	8678707.354	4339353.677	237.4091	0
Residual Error	1914	34984006.6784	18277.9554		
Total	1916	43662714.0323	22788.4729		

Рисунок 3.21 - Детали анализа для случая снега умеренного

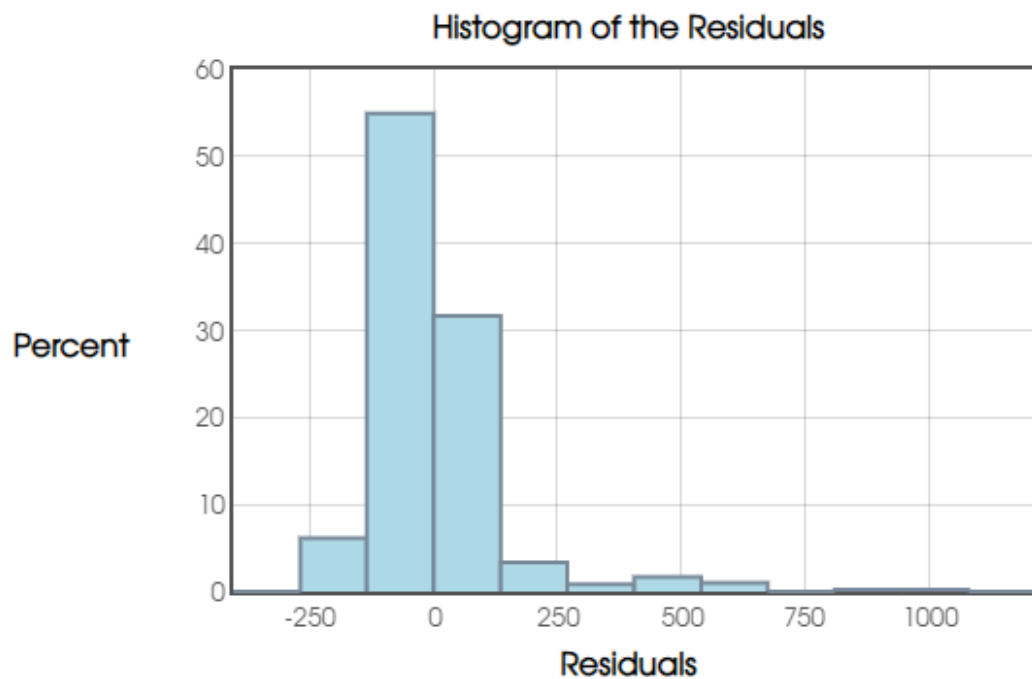


Рисунок 3.22 - Гистограмма остаточных значение для снега умеренного

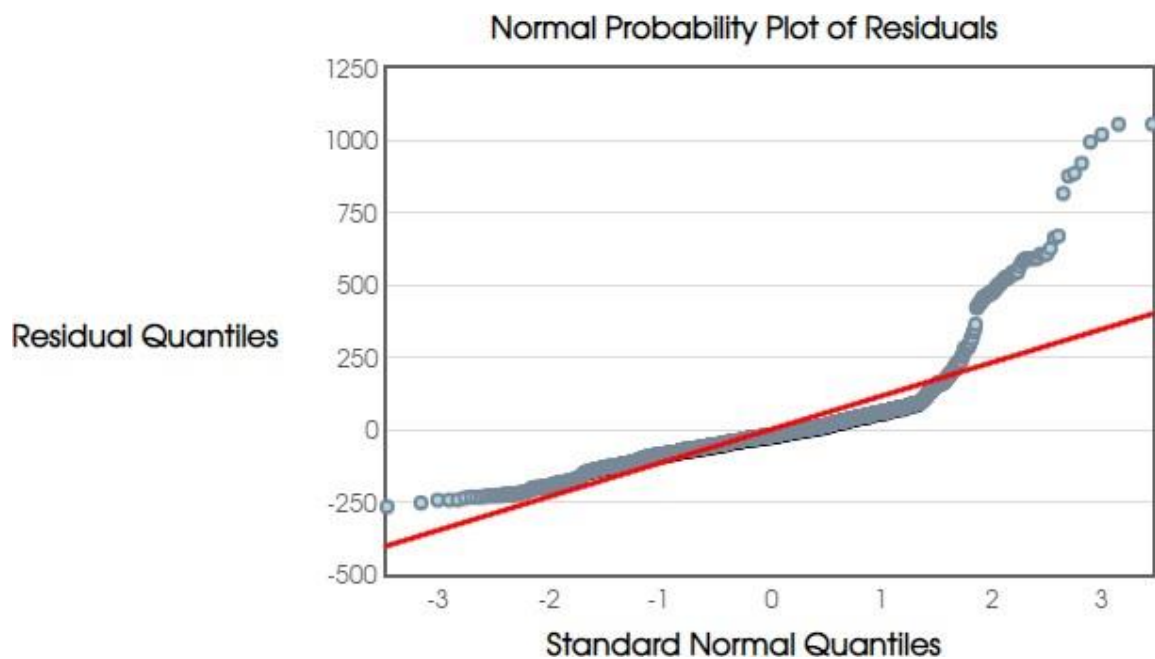


Рисунок 3.23 - - Детали анализа для случая снега умеренного

Five Number Summary of Residuals

Minimum:	Min= −266.12
1st Quartile:	$Q_1 = -63.9325$
Median:	$M = -19.8418$
3rd Quartile:	$Q_3 = 31.3223$
Maximum:	Max= 1057.7672

Рисунок 3.24 - Сводка остатков по пяти числам для случая

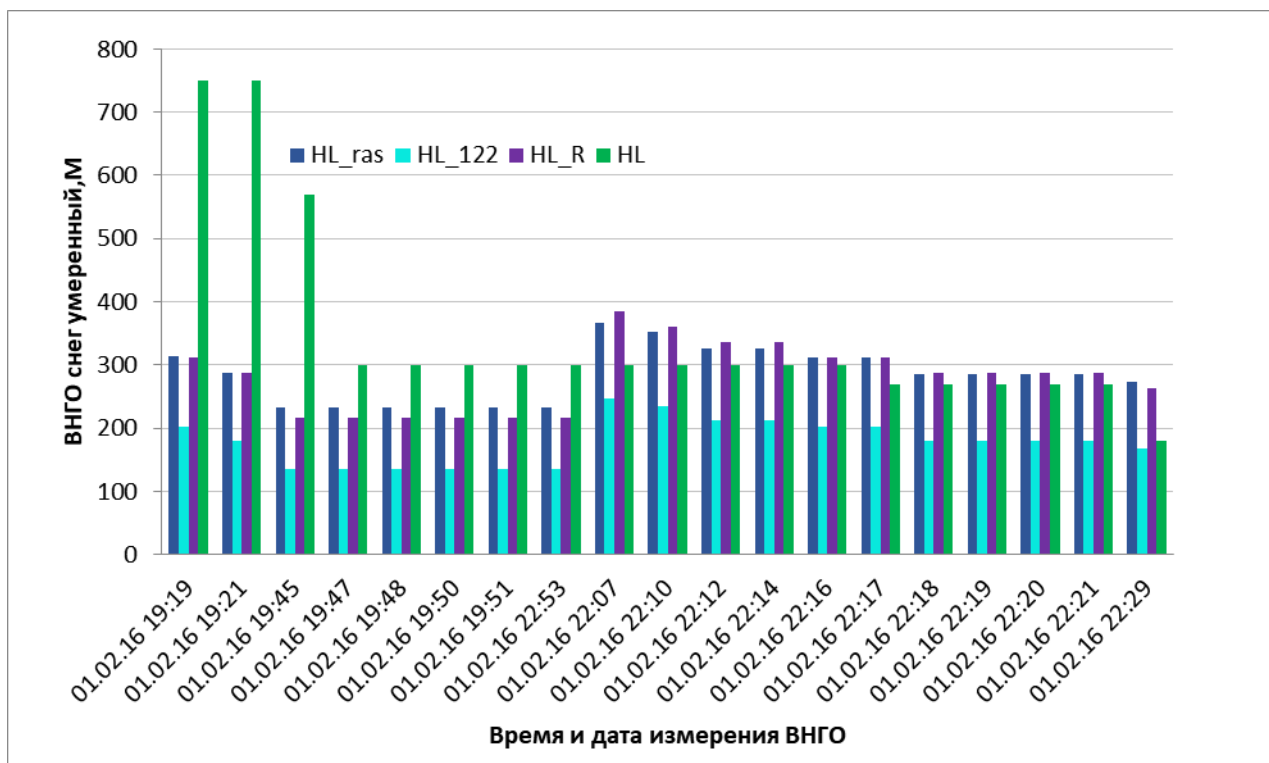


Рисунок 3.25 – Изменчивость ВНГО для случая снега умеренного

3.3.2 Снег сильный

Снег сильный (173) наблюдался в 352 случаях.

$$HL = 74.9 + 124.4T - 116.2Td.$$

Predictor	Coefficient	Estimate	Standard Error	<i>t</i> -statistic	<i>p</i> -value
Constant	β_0	74.887	17.1148	4.3756	0
T	β_1	124.4004	21.276	5.847	0
Td	β_2	-116.2155	19.7932	-5.8715	0

Summary of Overall Fit

R-Squared:	$r^2 = 0.0904$
Adjusted R-Squared:	$r^2_{adj} = 0.0852$
Residual Standard Error:	102.5467 on 348 degrees of freedom.
Overall <i>F</i> -statistic:	17.2984 on 2 and 348 degrees of freedom.
Overall <i>p</i> -value:	0

Analysis of Variance Table

Source	df	SS	MS	<i>F</i> -statistic	<i>p</i> -value
Regression	2	363813.1938	181906.5969	17.2984	0
Residual Error	348	3659509.8831	10515.833		
Total	350	4023323.0769	11495.2088		

Рисунок 3.26 - - Детали анализа для сильного снега

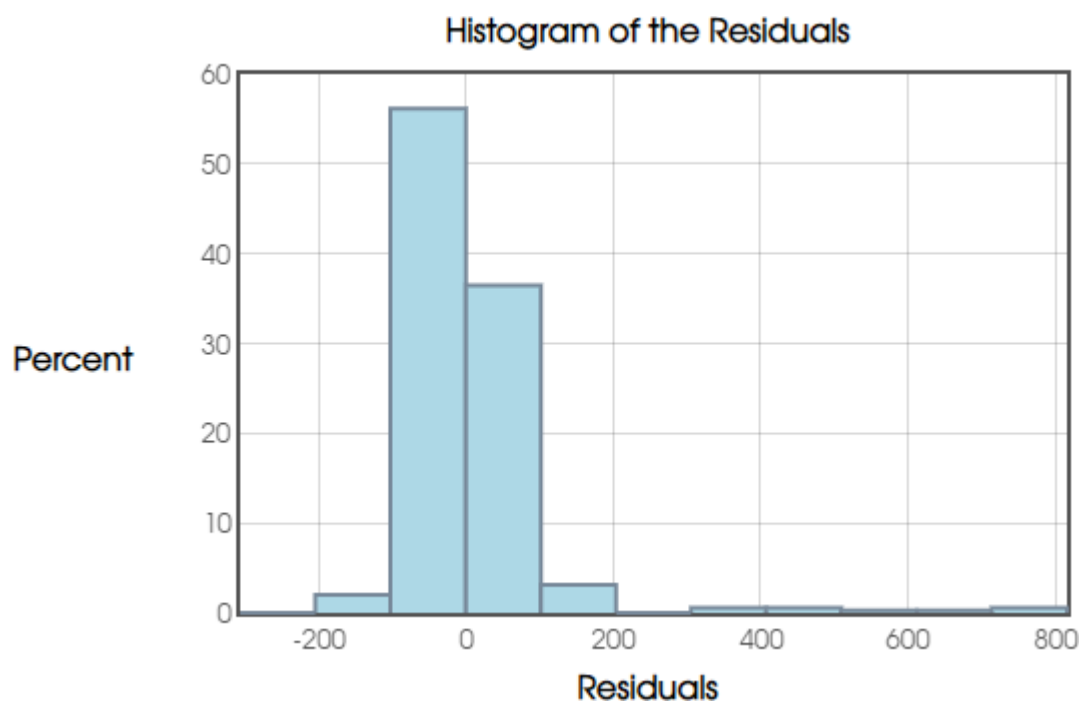


Рисунок 3.27 - Гистограмма остаточных значение для случая сильного снега

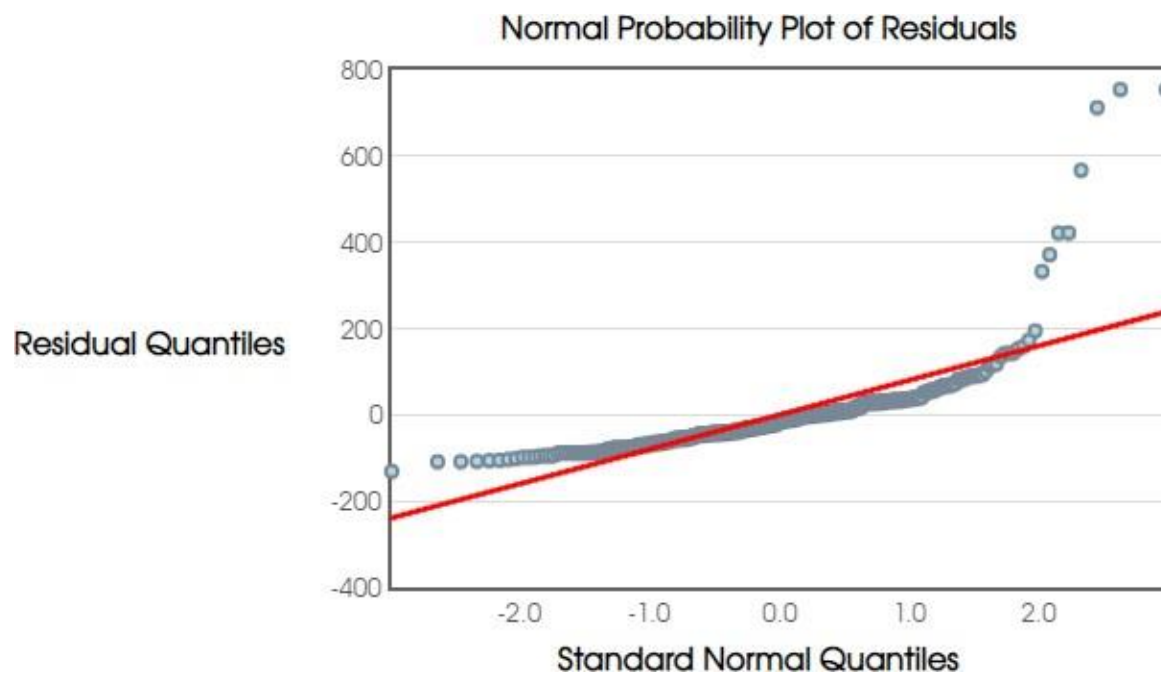


Рисунок 3.28 - График нормальной вероятности для случая сильного снега

Five Number Summary of Residuals

Minimum:	Min= −131.0098
1st Quartile:	$Q_1 = -49.8628$
Median:	$M = -16.385$
3rd Quartile:	$Q_3 = 29.6594$
Maximum:	Max= 754.5055

Рисунок 3.29 - Сводка остатков по пяти числам для случая сильного снега

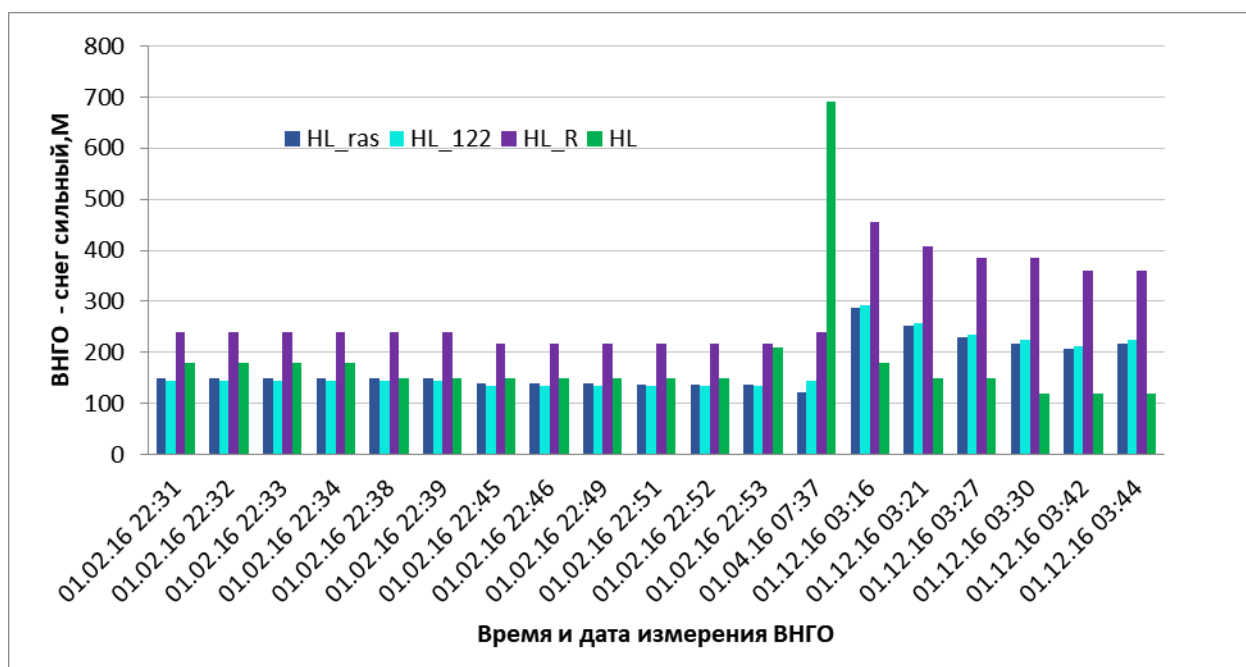


Рисунок 3.30 – Изменчивость ВНГО при сильном снеге.

Из рисунка 3.30 видно, что при одновременном выпадении снега и метели предложенный метод завышает фактическое значение ВНГО, если наблюдается только выпадение сильного снега –то предложенный метод и метод на основе разности T и T_d работают одинаково хорошо, метод основанный на R – завышает.

В двумерном или трехмерном случае, когда имеется более одной независимой переменной, линия регрессии не может быть отображена в двумерном пространстве, однако она также может быть легко оценена

Множественный коэффициент корреляции (R) дает максимальную степень линейной связи, которая может быть получена между двумя или более независимыми переменными и одной зависимой переменной. (R никогда не обозначается как $+$ или $-$. R^2 представляет долю общей дисперсии зависимой переменной, которая может быть объяснена независимыми переменными.) Каждая из независимых переменных оптимально взвешена, так что их составная часть будет иметь максимально возможную корреляцию с зависимой переменной. Поскольку на определение этих весов (бета-коэффициентов), как и на любую статистику, всегда влияет ошибка выборки (R всегда завышается), множитель R должным образом «сжимается», чтобы скорректировать систематическую ошибку, вызванную ошибкой выборки. Сокращение R основано на количестве независимых переменных и размере выборки. Когда число независимых переменных невелико (<10) и размер выборки велик (>100), процедура сжатия оказывает незначительное влияние. Кроме того, корреляции между независимыми переменными, которые используются при расчете R , могут быть скорректированы на затухание (ошибку измерения), что увеличивает R . Кроме того, R можно скорректировать на ограничение диапазона способностей в конкретной выборке, когда ее дисперсия переменные, входящие в R , значительно отличаются от дисперсии населения, если предположить, что она адекватно оценена. Коррекция корреляций для ограничения диапазона часто используется в исследованиях, основанных на студентах избранных колледжей, потому что они обычно представляют только верхнюю половину распределения IQ среди населения в целом.

Коэффициент детерминации R^2 — это число от 0 до 1, которое измеряет, насколько хорошо статистическая модель предсказывает результат. Коэффициент детерминации часто записывается как R^2 . Для простых линейных регрессий вместо этого обычно используется строчная буква r .

Коэффициент детерминации (R^2) измеряет, насколько хорошо статистическая модель предсказывает результат. Результат представлен зависимой переменной модели. Наименьшее возможное значение R^2 равно 0, а максимально возможное значение равно 1. Проще говоря, чем лучше модель делает прогнозы, тем ближе ее R^2 будет к 1. С технической точки зрения, R^2 является мерой качества соответствия. Это пропорция дисперсии зависимой переменной, которая объясняется моделью.

В естественных науках процедуры множественной регрессии достаточно широко используются в исследованиях. Она позволяет исследователю задать вопрос о том, "что является лучшим предиктором для ВНГО". Термин "множественная" указывает на наличие нескольких предикторов или регрессоров, которые используются в модели.

Ежеквартально различными специалистами рассматриваются вопросы применения различных методических вопросов в части верификации продуктов наукастинга, о возможности создания современной web-технологии для размещения результатов расчета наукастинга для аэродрома Санкт-Петербург (Пулково) и др. аэродромов в дальнейшем.

Уточнение эмпирических зависимостей между ВНГО, температурой точки росы, относительной влажности, применимых на конкретной локации – важная практическая задача обеспечения безопасности полетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках магистерской диссертации были выполнены следующие задачи:

1. Реализованы программы декодирования журнала АВ-6 и создан электронный архив результатов наблюдений.
2. Подготовлены и проанализированы радиолокационные данные при низкой облачности над Санкт-Петербургом (с 2016 по 2019 гг).
3. Проанализированы учащенные результаты наблюдений погодных условий в Санкт-Петербурге, связанных с низкой облачностью (обработка журналов АВ-6 с 1-минутным разрешением с 2016 по 2019 гг).
4. Оценены возможности применения метода группового учета аргументов для построения прогностических уравнений и их оптимизация для сверхкраткосрочного прогноза низкой облачности и неблагоприятных атмосферных явлений.
5. Разработаны практических рекомендаций по использованию предикторов сверхкраткосрочного прогноза низкой облачности и связанных с ней атмосферных явлений в оперативно-прогностической деятельности метеорологических подразделений Санкт-Петербурга

На основании проведенного анализа было получено:

Разработанный в этой работе метод лучше прогнозирует облачность, чем все остальные для случая мороси незамерзающей слабой.

Предложенный метод и метод с учетом относительной влажности лучше прогнозирует облачность, чем метод на основе разности между T и T_d для случая мороси незамерзающей умеренной.

При мороси, замерзающей слабой лучше всего, работает предложенный метод расчета ВНГО, очень близко к этому методу работает метод на основании относительной влажности, хуже всех работает метод, основанный на разности T и T_d .

При слабом ливневом дожде при ВНГО < 200 предложенный метод сильно завышает ВНГО, при >200 м метод работает намного лучше, чем два остальных.

При одновременном выпадении снега и метели предложенный метод завышает фактическое значение ВНГО, если наблюдается только выпадение сильного снега –то предложенный метод и метод на основе разности T и T_d работают одинаково хорошо, метод основанный на R – завышает.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авиационные правила. Часть 170. Сертификация оборудования аэродромов и воздушных трасс. (АП-170). Том II. Сертификационные требования к оборудованию аэродромов и воздушных трасс.
2. Руководства по прогнозированию метеорологических условий для авиации: Утверждено Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды // Госкомгидромет, 1985.-300 с.
3. А.Р.Иванова, Н.П. Шакина. Перспективы развития наукастинга для метеорологического обеспечения авиации в рамках реализации глобального аэронавигационного плана (ГАНП). Труды Гидрометцентра России, 2016, Вып. 360, С.113-134.
4. Зверев А.С. Синоптическая метеорология / Зверев А.С. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 712 с.
5. Матвеев. Л.Т. Курс общей метеорологии – Физика атмосферы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 752 с.
6. Руководство по авиационной метеорологии. Издание десятое. (Doc 8896 AN/8932015) // Утверждено Генеральным секретарем и опубликовано с его санкции. – 2015.
7. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам выпуск 3 часть1
8. Pierce C., Seed A., Ballard S., Simonin D., Zhihong Li. Nowcasting // Doppler radar observations – weather radar, wind profiler, ionospheric radar and other advanced applications. – InTech, 2012. – P. 97–142.
9. ВМО-№ 485. Наставление по глобальной обработке данных и прогнозированию. Том 1. Глобальные аспекты. (Дополнение к IV Техническому регламенту ВМО). Изд. 2010 г

10. ВМО-№49. Технический регламент. Том II. Метеорологическое обслуживание международной авионавигации. – 2013. – 189 с
11. Isaac G.A., Bailey M., Boudala F.S., Burrows W.R., Cober S.G., Crawford R. W., Donaldson N., Gultepe I., Hansen B., Heckman I., Huang L.X., Ling A., Mailhot J., Milbrandt J.A., Reida J., Fournier M. The Canadian Airport Nowcasting System (CAN-Now) // Meteorol. Appl. – 2011. – Vol. 21. – P. 30–49.
12. Rasmussen R., Dixon M., Hage F., Cole J., Wade C., Tuttle J., McGettigan S., Carty T., Stevenson L. Weather Support to Deicing Decision Making (WSDDM): A Winter Weather Nowcasting System // BAMS. – 2001. – Vol. 82, No. 34. – P. 1–17.
13. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы / Л.Г. Качурин. – Гидрометеиздат, 1973. – 368 с.
14. Наставление по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования
15. https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/clouds/cloud_development/clouds.htm
16. Инструктивный материал по кодам METAR, SPECI, TAF.
17. Возможности прогнозирования высоты нижней границы облаков нижнего яруса на аэродромах европейской части бывшего СССР по данным численных моделей. Н.П. Шакина, Е. Н. Скриптунова, А.Р. Иванова, Е.И. Ветрова. 2012
18. Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция - КРАМС-4. Л.И. Дивинский, А.Д. Кузнецов, А.С. Солонин. 2010 г.
19. Нежиховский, Р.А. Река Нева и Невская губа. Л.: Гидрометеиздат, 1981.
20. РД 52.21.692-2007
21. Код для оперативной передачи данных приземных метеорологических наблюдений с сети станций Росгидромета
22. Short-term Weather Forecasting with Neural Networks 10.1007/978-3-7908-1902-1_132

23. Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды.—Изд. «БХВ-Петербург», СПб, 2010.—284с.
24. Богаткин О.Г. Информационно-справочная книга авиационного метеоролога. – Санкт-Петербург: 2010. –220 с.
25. Google карты. [Электронный ресурс] URL: <https://www.google.ru/maps/@59.8020389,30.2777984,5342m/data=!3m1!1e3> (дата обращения 13.02.2022)
26. Методические указания по составлению климатической характеристики аэропортов (сокращенный вариант). – М.: НИИАК, 49 1968. – 156 с
27. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Ветрова Е.И., Иванова А.Р., Желнин А.А. Повторяемость низкой облачности на европейской территории бывшего СССР по данным наблюдений на аэродромах // Труды Гидрометцентра России. – 2012. – Вып. 348
28. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии.—СПб.: РГГМУ. 2009.—338с.