



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

Кафедра метеорологических прогнозов

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему: «Прогнозирование тумана на аэродроме г.Когалым»

Исполнитель Бурло Алёна Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент  
(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)

«10» июня 2022г.

Санкт-Петербург

2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения.....	2
Введение.....	3
1. Факторы, приводящие к возникновению тумана.....	5
1.1 Физические условия образования тумана.....	5
1.2 Типы туманов.....	5
1.3 Прогноз радиационного тумана .....	7
1.4 Прогноз адвективного тумана.....	8
1.5 Прогноз времени рассеивания радиационного тумана.....	9
2. Влияние тумана на работу авиации.....	11
2.1 Информация о туманах в авиационной метеорологии .....	12
2.2 Понятие минимума погоды.....	12
3. Прогнозирование тумана на аэродроме г. Когалым.....	14
3.1 Кратко физико-географическая и климатическая характеристика аэродрома г. Когалым.....	14
3.2 Систематизация и анализ исходных данных.....	15
3.3 Методический и гидродинамический прогноз тумана.....	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	41
Список использованных источников.....	43
Приложение: исходные данные.....	44

## Сокращения

АМСГ-Авиационная метеорологическая станция (гражданская)

НМО ГА - наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации

ВСВ - всемирно скоординированное время

НГЭА-92- нормы годности эксплуатации аэродромов

ОВИ - огни высокой интенсивности

МДВ - метеорологическая дальность видимости

ВПП-Взлетно-посадочная полоса

РПИ - район полетной информации

ТАФ- прогноз погоды по аэродрому (кодовая форма)

GAMET - зональный прогноз - прогноз для полетов на малых высотах.

METAR- регулярное сообщение о погоде для авиации (кодовая форма)

SPECI - выборочное специальное сообщение о погоде для авиации (кодовая форма)

AIRMET- информация о фактическом или ожидаемом возникновении определенных условий погоды по маршруту полета.

## Введение

Обеспечение безопасности полетов является основной проблемой авиации, над решением которой трудятся работники всех авиационных профессий – от создателей воздушных судов до лиц, эксплуатирующих эти суда и обслуживающих полеты.

Безопасность полетов зависит от многих факторов, в том числе и от факторов внешней среды, среди которых значительную роль играет ограниченная видимость. Ее воздействие в наибольшей степени сказывается на последнем, наиболее ответственном этапе полета – посадке воздушного судна, когда пилоту необходимо иметь визуальный контакт с ориентирами взлетно-посадочной полосы или посадочной площадки.

Именно поэтому, для обеспечения безопасности полетов наибольшую роль играет точность прогноза погоды видимости или явлений погоды, ухудшающих видимость. К одному из таких явлений и относится туман.

Информация о туманах, времени их начала и окончания в настоящее время является востребованной во многих сферах деятельности человека.

Работа транспорта, авиаперевозки и многие другие отрасли подвержены влиянию ограниченной видимости из-за тумана.

*Цель работы:* выявить условия возникновения тумана и возможности его прогнозирования на аэродроме г. Когалым.

*Задачи для выполнения поставленной цели:*

- изучить краткие физико-географические и климатические особенности аэродрома г. Когалым;
- подготовить исходные данные для систематизации и анализа наблюдавшихся туманов;
- определить характерные условия образования тумана;
- оценить возможность прогнозирования тумана по данным гидродинамических моделей и методическим прогнозам.

Для решения поставленных задач использовались различные литературные источники, а также данные о фактической погоде, полученные

из регулярных авиационных наблюдений в коде METAR за 2016-2021 гг., архив синоптических приземных карт с сайта «Метеоцентр Азия», данные реанализа гидродинамических моделей GFS, ICON с сайта «Ventusky» и гидродинамической модели ECMWF с сайта «Kachelmanwetter».

Работа состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка использованных источников, приложения (исходные данные).

В первом разделе рассматриваются основные факторы, приводящие к образованию тумана и приводятся основные методы его прогнозирования.

Во втором разделе рассматривается влияние туманов на деятельность авиации.

Третий раздел включает в себя краткое описание физико-географических и климатических особенностей региона, исходные данные, результаты их систематизации и анализа, а также приводятся данные о методическом и гидродинамическом прогнозе тумана на аэродроме г. Когалым и описываются основные выводы, полученные в ходе работы.

## 1. Факторы, приводящие к возникновению тумана

### 1.1 Физические условия образования тумана

Туман – это совокупность взвешенных в воздухе капель воды или кристаллов льда, ухудшающих метеорологическую дальность видимости до значения менее 1 км. Образование тумана происходит вследствие охлаждения воздуха до точки росы или вследствие насыщения воздуха, водяными парами до такой степени, когда температура точки росы станет равной температуре воздуха.

При наличии гигроскопичных ядер конденсация может начаться еще до того, как относительная влажность достигнет 100%. Насыщение и последующая конденсация могут появиться в результате:

- охлаждения воздуха;
- испарения с поверхности воды или почвы, или испарения выпадающего дождя;
- смешения воздушных масс, близких к насыщению.

Эти процессы могут действовать совместно или каждый отдельно. При этом смешение может играть роль только дополнительного фактора в процессе образования тумана. Основным же процессом является охлаждение приземного воздуха от соприкосновения с холодной подстилающей поверхностью. При этом может образоваться или радиационный, или адвективный туман [6].

### 1.2 Типы туманов

По условиям образования туманы можно разделить:

- Радиационные
- Адвективные
- Фронтальные

- Морозные
- Туманы испарения
- Туманы смещения

По интенсивности, в зависимости от величины ухудшения видимости, туман подразделяется:

- очень сильный (видимость менее 50 м);
- сильный (видимость 50 – 200 м);
- умеренный (видимость 200 – 500 м);
- слабый (видимость 500 – 1000 м).

По мощности различают туманы:

- поземные – высотой до 2 м;
- низкие – высотой от 2 до 10 м;
- средние – высотой от 10 до 100 м;
- высокие – высотой более 100 м.

Кроме того, туманы различаются по синоптическим условиям образования:

- Внутримассовые — формирующиеся в однородных воздушных массах
- Фронтальные — образующиеся на границах атмосферных фронтов

Внутримассовые туманы подразделяются на туманы охлаждения и туманы испарения.

Туманы охлаждения образуются в результате охлаждения воздуха ниже точки росы. Это понижение может произойти по разным причинам, вследствие чего туман охлаждения подразделяется, в свою очередь, на разновидности:

Радиационные туманы образуются за счет ночного выхолаживания приземного слоя воздуха. Они обычно наблюдаются в тихие ясные ночи. Мощность 100 – 150 м. Интенсивность часто сильная. Иногда вертикальная и наклонная видимость больше горизонтальной.

Адвективные туманы возникают в теплой воздушной массе, перемещающейся на более холодную подстилающую поверхность, результате охлаждения воздуха при соприкосновении с ней. Обычно при такой обстановке наблюдается мощная инверсия (до 1 – 1,5 км) и туман, образовываясь у земной поверхности, распространяется вверх и часто сливается со слоистой облачностью. Возникает в любое время суток. Длительность – до нескольких суток. Сопровождается умеренными (5-7), а иногда сильными ветрами (до 15 – 18 м/с), занимает большие площади и практически не имеет суточного хода изменения видимости.

Иногда при совместном действии адвекции и выхолаживания образуются адвективно-радиационные туманы с характерными чертами двух, рассмотренных выше видов туманов [6].

### 1.3 Прогноз радиационного тумана

Прогноз тумана сводится, в принципе, к прогнозу двух температур:

- температуры туманообразования ( $T_t$ ),
- минимальной температуры воздуха ( $T_{\min}$ ) и их сравнению.
- В тех случаях, когда температура туманообразования оказывается выше минимальной температуры, в прогнозах погоды нужно указывать туман. Следовательно, если  $T_t > T_{\min} \rightarrow$  туман.

- Это однозначно говорит о том, что ожидается видимость менее 1000 м.

#### Прогноз радиационного тумана Н. В. Петренко

Н.В. Петренко предложил определять температуру туманообразования по формуле:

$$T_t = T_d - \Delta T_d,$$

где  $T_d$  – температура точки росы в срок, близкий к заходу Солнца;

$\Delta T_d$  – возможное понижение температуры точки росы в течение ночи от начального срока до момента образования тумана.

Величина  $\Delta T_d$  зависит в основном от температуры точки росы в исходный срок.

На практике часто делают еще проще: при положительных значениях от ее величины вычитают  $1^{\circ}\text{C}$ , а при отрицательных значениях  $2^{\circ}\text{C}$ .

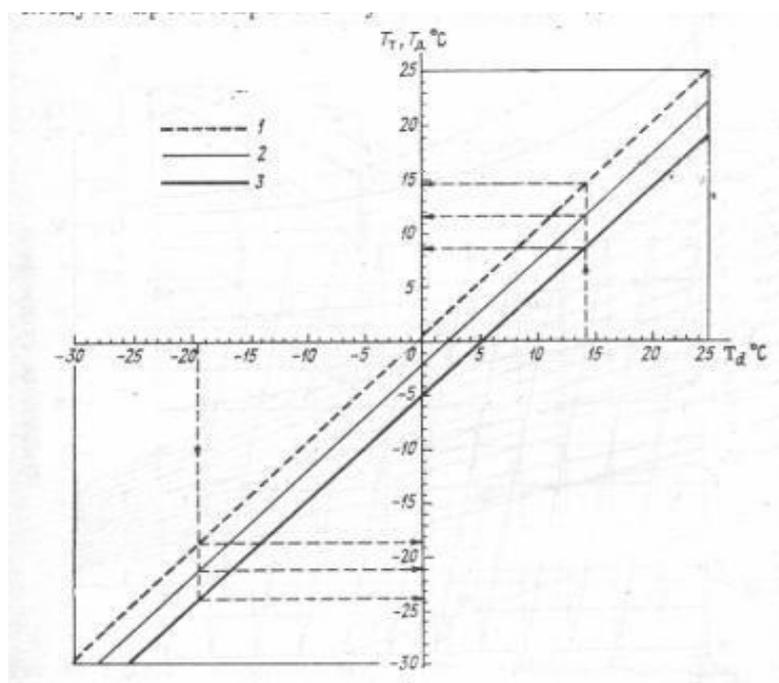


Рисунок 1. График для прогноза радиационного тумана по методу Н.В. Петренко

1 — линия дымки; 2 — линия слабого тумана; 3 — линия сильного тумана.

На этом графике по горизонтальной оси отложена температура точки росы, а по вертикальной — температура образования тумана или температура образования дымки. Проведенные на графике наклонные линии позволяют определить искомую величину [7].

#### 1.4 Прогноз адвективного тумана

Адвективный туман следует ожидать в том случае, когда по прогнозу синоптического положения существуют условия для адвекции теплого и влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность. Эти туманы могут наблюдаться в любое время суток.

Адвективные туманы возникают, как правило, зимой или в переходные сезоны года при заметном потеплении. При прогнозе адвективных туманов следует учитывать перемещение уже имеющихся зон тумана, адвективные

изменения температуры и точки росы в приземном слое, возможность снижения облаков до поверхности земли, а также охлаждение воздуха в процессе ночного радиационного выхолаживания [7].

Общими условиями возникновения адвективных туманов являются следующие.

- температура приходящей ВМ должна быть выше, чем в пункте прогноза
- дефицит температуры точки росы у земли должен быть небольшим  $\leq 2^{\circ}\text{C}$  (при  $D > 3^{\circ}\text{C}$  туманы обычно не возникают).
- Скорость ветра у земли должна быть  $\leq 7$  м/с (при большей скорости ветра происходит разрушение приземной инверсии и, как правило, разрушение тумана или переход в облака) [7].

### 1.5 Прогноз времени рассеивания радиационного тумана

Радиационный туман в 60 % случаев рассеивается от радиационного прогрева и в 30 % от изменения синоптической ситуации. В большинстве случаев радиационный туман рассеивается с восходом Солнца, то есть с началом прогрева земной поверхности. Именно поэтому при составлении прогнозов рассеивания таких туманов всегда учитывается время года. Как пишет Олег Богаткин в своем учебном пособии «Авиационные прогнозы погоды», летом радиационный туман рассеивается, как правило, через 1-2 часа после восхода Солнца при безоблачной погоде и через 2-3 часа при наличии облачности. Осенью продолжительность туманов больше, чем летом, зимой (в антициклонах) при наличии мощного слоя инверсии туман может стоять целые сутки и даже дольше. Иногда радиационный туман рассеивается благодаря укрупнению и выпадению частиц, особенно это касается зимнего периода. Также удается рассеивать туман и искусственно при помощи ультразвука, но практическое применение этого способа ограничено, так как требует очень большого расхода энергии.

Время рассеяния тумана обусловлено тем промежутком времени, в течение которого температура прогревающегося от земной поверхности воздуха достигает температуры точки росы при заходе солнца. Эта задача решается графически.

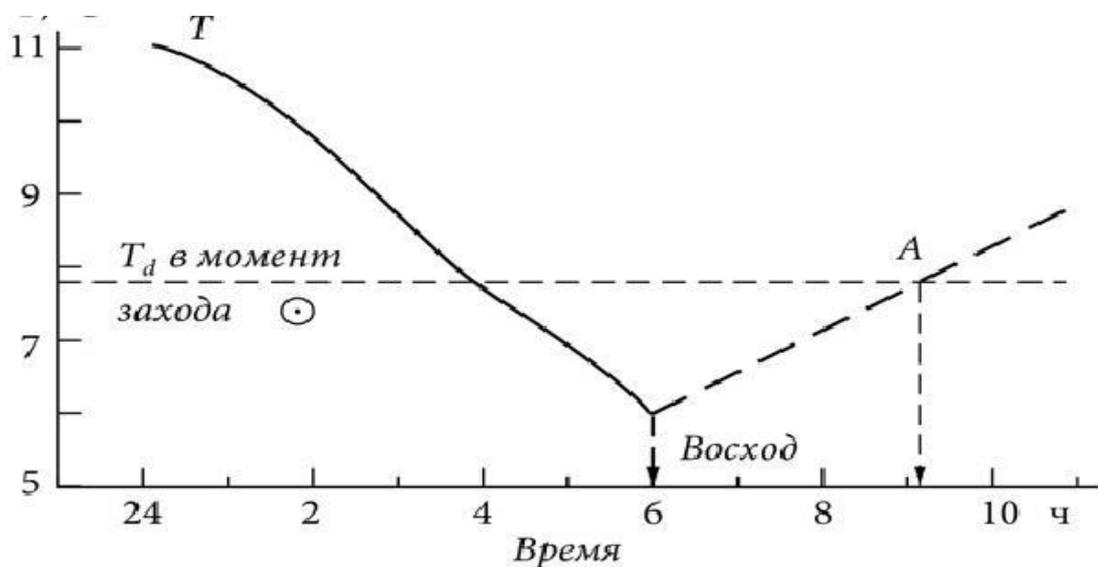


Рисунок 2. Графический метод прогноза времени рассеяния тумана.

Определения времени рассеяния тумана приведен на рис.2. Согласно данным рисунка рассеяние тумана произойдет в момент, определяемый точкой A. Ход температуры после восхода солнца экстраполируется по данным непосредственных наблюдений.

При прогнозе времени рассеяния тумана, естественно, учитывается общая синоптическая обстановка, принимается во внимание время года и местные особенности расположения аэродрома.

Осенью продолжительность туманов больше, чем летом, зимой (в антициклонах) при наличии мощного слоя инверсии туман может сохраняться в течение суток и более. Усиление ветра, появление облачности, адвекция температуры и выпадение осадков могут привести к разрушению тумана в любое время суток [7].

## 2. Влияние тумана на работу авиации

Туман опасен в работе авиации, так как он:

- ухудшает видимость до минимума;
- усложняет взлет и посадку воздушного судна;
- приводит к задержкам и переносам рейсов;
- приводит к закрытию аэродрома и, как следствие, перенаправлению воздушного судна на запасной аэродром.

Объясняется это тем, что туманы и густые дымки создают условия очень сложные для посадки самолетов из-за резкого ухудшения видимости, а включение бортовых фар при полете в тумане ночью приводит к возникновению светового экрана, к потере пространственного положения.

Всё выше перечисленное дает понять нам то, что туман является важным метеорологическим явлением, требующим глубокого рассмотрения условий, туманообразования и поиска метода его прогноза.

Не будем забывать, что немаловажным фактором в области прогнозирования туманов является и прогноз времени рассеяния тумана. Зная время рассеяния тумана, можно заблаговременно оповестить об этом (в прогнозах, устных консультациях) диспетчеров, командиров летных экипажей и других авиапользователей, таким образом, работая на корректировку и выполнение расписания полетов, своевременно предупреждая о задержках вылетов или об окончании сложных метеоусловий [7].

Своевременное оповещение о возможности возникновения тумана поможет предотвратить попадания воздушного судна в сложные метеорологические условия в полете, и минимизировать авиационные происшествия, при взлете и посадке в условиях плохой видимости и низкой облачности.

На сегодняшний день очень важно развивать точность прогнозирования тумана и своевременно доносить информацию до экипажа воздушного судна.

## 2.1 Информация о туманах в авиационной метеорологии

Аэродромные метеорологические органы, составляющие прогнозы TAF и выпускающие коррективы к ним, а также сводки о фактической погоде в кодовом формате METAR/SPECI и её резких изменениях, осуществляют постоянный контроль над всеми метеорологическими параметрами. Метеорологические сводки выпускаются для использования местными потребителями, а также для распространения за пределами аэродрома.

Итак, в сводке METAR/SPECI туман имеет буквенное сокращение FG (Fog). При изменении характеристик тумана добавляются дескрипторы

- MI (поземный),
- BC (клячья тумана)
- PR (частичный).

Прогнозы по районам полетов на малых высотах представляются авиационным пользователям в форме прогноза – GAMET. В них прогнозируются (в том числе) условия приземной видимости. Так, если на срок прогноза ожидается туман, то синоптик должен указать район его возникновения, время и видимость в тумане.

Туман в районе Когалыма, как правило, прогнозируют в утренние часы и в большинстве случаев только в низинах и над реками. Так же при достижении критериев по видимости, установленных по согласованию между метеорологическим органом и теми, кто использует предупреждения, выпускается информация и сообщения SIGMET, AIRMET.

## 2.2 Понятие минимума погоды.

Минимум – это общий термин, обозначающий в соответствующих случаях предельные условия, при которых разрешается выполнять полеты и другие виды авиационных работ. Для обеспечения безопасности и регулярности полетов устанавливаются следующие минимумы:

- аэродрома;
- воздушного судна;
- командира воздушного судна;
- вида авиационных работ.

Минимум погоды – это, по большому счёту сочетание двух цифр, выбранное на основе анализа многих факторов. Минимум складывается из высоты нижней границы облачности (или высоты принятия решения) и дальности видимости. Поэтому, при понижении видимости в тумане менее 1 км создаются условия, непригодные для выполнения тех или иных задач, а иногда происходит и полное закрытие аэродрома по погоде [6].

В каждом конкретном случае (взлет, посадка) всегда учитываются три минимума погоды: минимум аэродрома, минимум воздушного судна и минимум командира экипажа. Решение на выполнение рейса или определённого вида авиационных работ принимается на наибольшему из них.

### 3. Прогнозирование тумана на аэродроме г. Когалым

#### 3.1 Краткая физико-географическая и климатическая характеристика аэродрома г. Когалым

Аэродром расположен в Сургутской низине Среднеобской низменности, находится в 12 км южнее города Когалым. Для этой территории характерна сильная заболоченность. Здесь очень много рек, речушек, озер. Реки в основном извилистые, скорость течения – около 6 км в час. Самые крупные из них – Ингуягун, Ортьягун и Кирилл-Высьягун.

На востоке от ИВПП в 100 м проходит железная дорога. В районе аэродрома, особенно на северо-востоке и севере от ИВПП находится ряд промышленных предприятий с множеством больших и малых котельных, что способствует в зимний период года при низких температурах появлению дополнительных ядер конденсации в приземном слое атмосферы.

Аэродром расположен в зоне континентального климата Западной Сибири.

Беспрепятственное проникновение арктического холодного воздуха с севера и прогретого тропического и умеренного воздуха с юга способствуют свободному воздухообмену, осуществлению меридиональной циркуляции, вызывающей резкие изменения погоды. Суровая продолжительная зима с сильными ветрами и метелями, весенние возвраты холодов, короткий безморозный период, довольно теплое короткое лето.

Фронты, перемещаясь с запада на восток, приводят к ухудшению

погоды: наблюдаются снегопады, метели, низкая облачность. Эта типичная циркуляция нередко нарушается меридиональной циркуляцией: выходом южных циклонов, вызывающих оттепели, сильные метели, гололед, а также вторжением воздушных арктических масс с Карского моря (вторжение антициклона по ультраполярной оси) обуславливает низкие температуры воздуха и морозные туманы.

Средняя многолетняя годовая температура воздуха равна  $-3.1^{\circ}\text{C}$ . Самый холодный месяц в году – январь, со средней температурой  $-22.0^{\circ}\text{C}$ . Самый теплый – июль со средней температурой  $16.9^{\circ}\text{C}$ . Абсолютная амплитуда колебаний температуры достигает  $80^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный максимум  $-34^{\circ}\text{C}$  наблюдается в июне, июле. Абсолютный минимум  $55^{\circ}\text{C}$  – в декабре, феврале.

Средняя годовая относительная влажность равна 76%. Максимальная относительная влажность отмечается с сентября по декабрь 80-90%, летом – 66-78%.

Наибольшее количество пасмурных дней по нижней облачности отмечается в сентябре и октябре (7,3 и 11,1), наименьшее – в феврале и марте (1,7 и 1,3 дня).

Преобладающее направление ветра юго-юго-западное (от 18 до 30%).

Средняя годовая скорость ветра 4,0 м/с. На штили приходится 2,5% от общего количества наблюдений.

За год в Когалыме в среднем отмечается 45 случаев с туманом. Основной причиной образования туманов является радиационное выхолаживание.

Существуют местные особенности, оказывающие влияние на состояние погоды в районе аэродрома Когалым. На юго-востоке от аэродрома находится ГРЭС с пятью трубами высотой 240-280 м. В азимутах  $130-140^{\circ}$  на удалении 5-7 км имеется теплое незамерзающее водохранилище ГРЭС. В морозные дни близость промышленной зоны города в южной части горизонта (азимуты  $120-150^{\circ}$ ), дымление труб ГРЭС и парение теплового водоема создают особо благоприятные условия для возникновения

радиационных дымок, туманов, морозных туманов и низкой слоистой под инверсионные облачности.

Синоптические процессы, при которых отмечается гололед, характеризуются, в основном, адвекцией теплого и влажного воздуха.

### 3.2 Систематизация и анализ исходных данных

Для выявления условий образования тумана в рассматриваемом районе были отобраны телеграммы в коде METAR за период 01.01.2016-31.12.2021гг. Исходные данные обрабатывались вручную. Таблицы с исходными данными содержатся в Приложении к работе. Были определены характерные условия по температуре образования тумана, направлению и скорости ветра, времени возникновения тумана.

В таблице 1 представлен комплексный суточно-годовой ход числа случаев с туманом за рассматриваемый период.

Таблица 1. Количество случаев с туманом в определённый срок наблюдения в каждом месяце за рассматриваемый период.

месяц/срок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	всего
00	1	1	2	2	3			8	9	2	2		30
01		1	2	3	2	1		9	9	6	2		35
02		2	4	3	2			4	7	6	2	1	31
03		2	1	2	2			2	4	9	2	1	25
04		1	2	1	1			1	2	6	1	1	16
05			1	2	1				2	5	1	1	13
06				1	1				1	4	1	1	9
07										2		1	3
08									1	2			3
09										1			1
10										1	1		2
11									1	2	1		4
12									1	1		1	3
13	2									1		1	4
14										1		2	3
15	1	1								2		4	8
16	2	1	1	1					2	3		1	11
17			1	1						2		1	5
18		1	1						5	1		1	9
19													0
20													0
21		2	1	6	1		1	5	5	1	1		23

22													0
23													0
всего	6	12	16	22	13	1	1	29	49	58	14	17	238

Как видно из таблицы 1, туманы здесь наблюдаются в течение всего года. Всего за рассматриваемый период было отмечено 238 случаев с туманом. За один случай принимался туман в регулярной сводке с дискретностью 1 час.

Наиболее часто туманы отмечаются в августе (29 случаев), сентябре (49 случаев) и октябре (58 случаев). Незначительное количество отмечается в июне (1 случай) и июле (1 случай).

Чаще всего туманы наблюдались в 01, 02, и 00 часов, реже всего туманы наблюдались в 19-20 часов и в 22-23 часа.

Далее, по данным таблицы 1, была рассчитана повторяемость туманов.

Ниже в таблице 2 и на рисунке 3 представлены результаты расчётов.

Таблица 2. Повторяемость тумана за рассматриваемый период в каждом месяце.

Месяц	Количество	Повторяемость
Январь	6	2,5%
Февраль	12	5,1%
Март	16	6,7%
Апрель	22	9,3%
Май	13	5,5%
Июнь	1	0,4%
Июль	1	0,4%
Август	29	12,2%
Сентябрь	49	20,6%
Октябрь	58	24,4%
Ноябрь	14	5,9%
Декабрь	17	7,2%

Повторяемость туманов максимальная в октябре и составляет 24,4% минимальная повторяемость в июне и июле и составляет 0,4%.

На совмещенном графике, представленном на рисунке 3 наглядно видно полученные выводы.

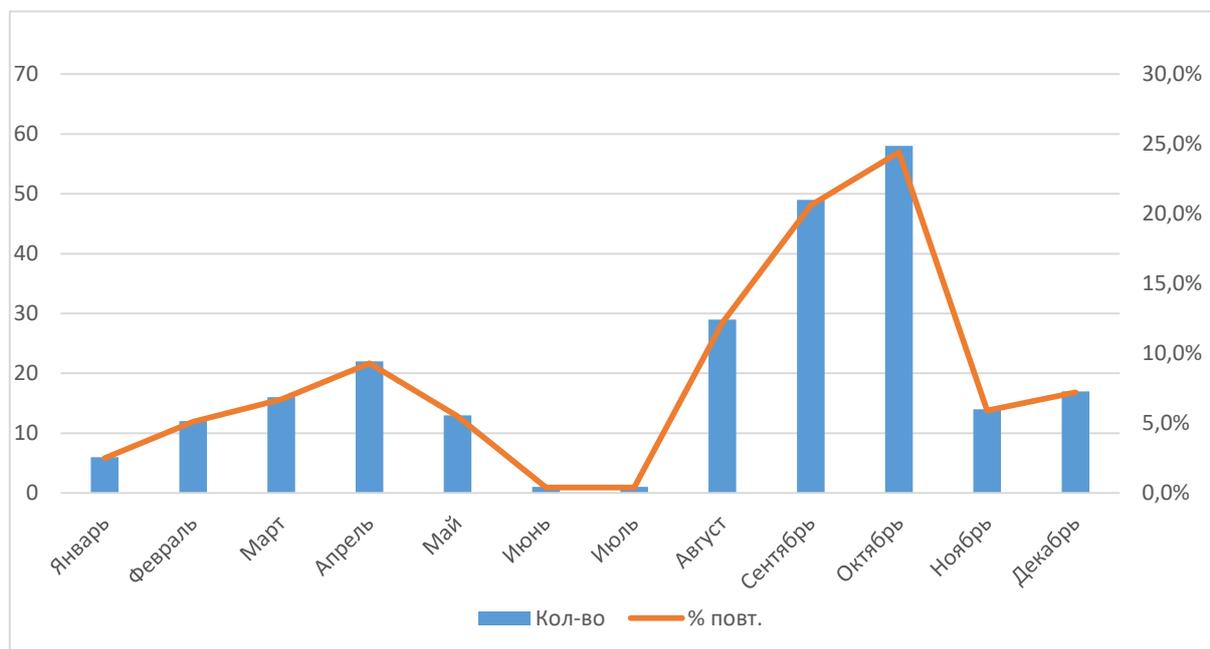


Рисунок 3. Количество случаев и повторяемость тумана.

В авиации не маловажное значение имеет продолжительность туманов. В табл. 3 представлена повторяемость непрерывной продолжительности туманов, а также средняя и максимальная продолжительность туманов.

Таблица 3. Повторяемость непрерывной продолжительности туманов.

Месяц	Продолжительность, ч				Всего случаев	Общая продолж., ч	Сред. продолж., ч	Макс. продолж., ч
	≤1	2-3	4-6	7-17				
январь	3	1			4	6	1,5	3
февраль	3	2	1		6	12	2,0	4
март	2	4	1		7	16	2,3	4
апрель	7	2	2		11	22	2,0	6
май	3		2		5	13	2,6	6
июнь	1				1	1	1,0	1
июль	1				1	1	1,0	1
август	6	6	2		14	29	2,1	6

сентябрь	11	3	5	1	20	49	2,5	8
октябрь	3	7	1	3	14	58	4,1	17
ноябрь	2	2		1	5	14	2,8	7
декабрь	4	3	1		8	17	2,1	5
всего					96	238	25,98	

По результатам анализа таблицы 3 можно сделать вывод, что чаще в рассматриваемый период наблюдались туманы продолжительностью менее 1 часа, реже продолжительностью от 7 до 10 часов. Наибольшая непрерывная продолжительность тумана зафиксирована в октябре и составляет 58 часов. Средняя непрерывная продолжительность за рассматриваемый период составила 25,98 часов. Всего на данном аэродроме за этот период туман ухудшил условия по видимости на 238 часов.

Далее, была проанализирована температура воздуха и температура точки росы, наблюдавшиеся при тумане. В таблице 4 представлены результаты систематизации и анализа этой информации.

Таблица 4. Количество случаев тумана при определённом сочетании температуры воздуха (град.°C) и температуры точки росы(град.°C).

T/Td	15+19	10+14	5+9	0+4	-5-1	-9-6	-14-10	-19-15	-27-20	-45-28
15+19	13									
10+14	3	13								
5+9			26							
0+4			3	102						
-5-1					28					
-9-6						8				
-14-10							8			
-19-15							1	5		
-27-20								3	12	
-45-28									2	11

По данным анализа таблицы 4 можно сделать следующие выводы. Чаще всего туман образовывался при сочетании температуры воздуха и

температуры точки росы в интервалах 0+4 град.С, затем -5-1 град.С, затем +5+9 град.С. Реже всего туман наблюдался, когда температура воздуха и температура точки росы находились в градации -19-15 град.С, затем -45-28, град.С, затем -27-20 град.С.

В графическом виде данные таблицы 4 представлены ниже, на рисунке 4.

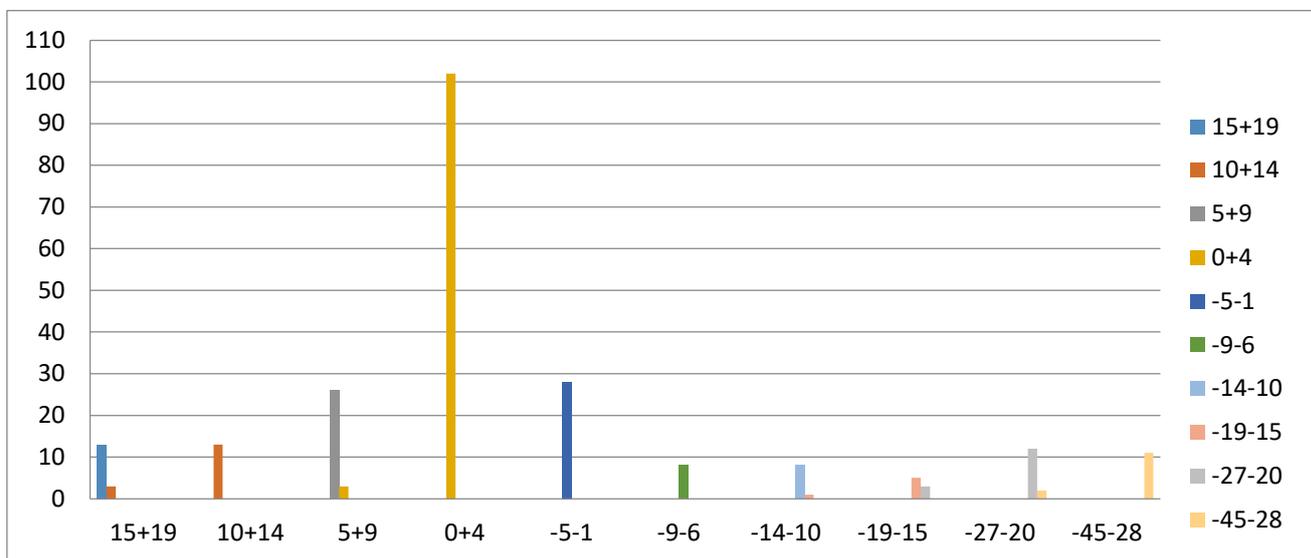


Рисунок 4. Количество случаев с туманом при различных сочетаниях температуры воздуха и температурах точки росы.

На гистограмме, представленной на рис.4 наглядно видно все представленные выше выводы.

Завершая рассмотрение температурных условий, наблюдавшихся при тумане, приведём данные, систематизированные в таблицу 5, касающиеся количества случаев с туманом при определённой температуре воздуха в каждом месяце года за весь рассматриваемый период.

Таблица 5. Количество случаев с туманом при определённой температуре воздуха.

месяц/ $t^{\circ}$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	всего
15+19							1	15					16
10+14						1		8	4	1			14
5+9				1				6	12	12			31
0+4				15	13				22	46	2		98
-5-1		4	14	5						3	1		27
-9-6				1						1	6	1	9

-14-10			1							5	2	2	10
-19-15	2	1									3	1	7
-27-20	3	7	1									13	24
-45-28	2												2
Всего	7	12	16	22	13	1	1	29	38	68	14	17	238

По данным таблицы 5 можно сделать вывод, что температурные условия, наиболее благоприятные образованию тумана в январе наблюдались в интервале температур -27-20 град.С, в феврале в диапазон -27-20 град.С, в марте в диапазоне -5-1 град.С, в апреле в диапазоне 0+4 град.С, в мае в диапазоне 0+4 град.С, в июне в диапазоне +10+14 град.С, в июле в диапазоне +15+19 град.С, в августе в диапазоне +15+19 град.С, в сентябре в диапазоне 0+4 град.С, в октябре в диапазоне 0+4, в ноябре в диапазоне -9-6 град.С, в декабре в диапазоне -27-20 град.С.

Ниже на рисунке 5 в графическом виде представлены данные таблицы 5.

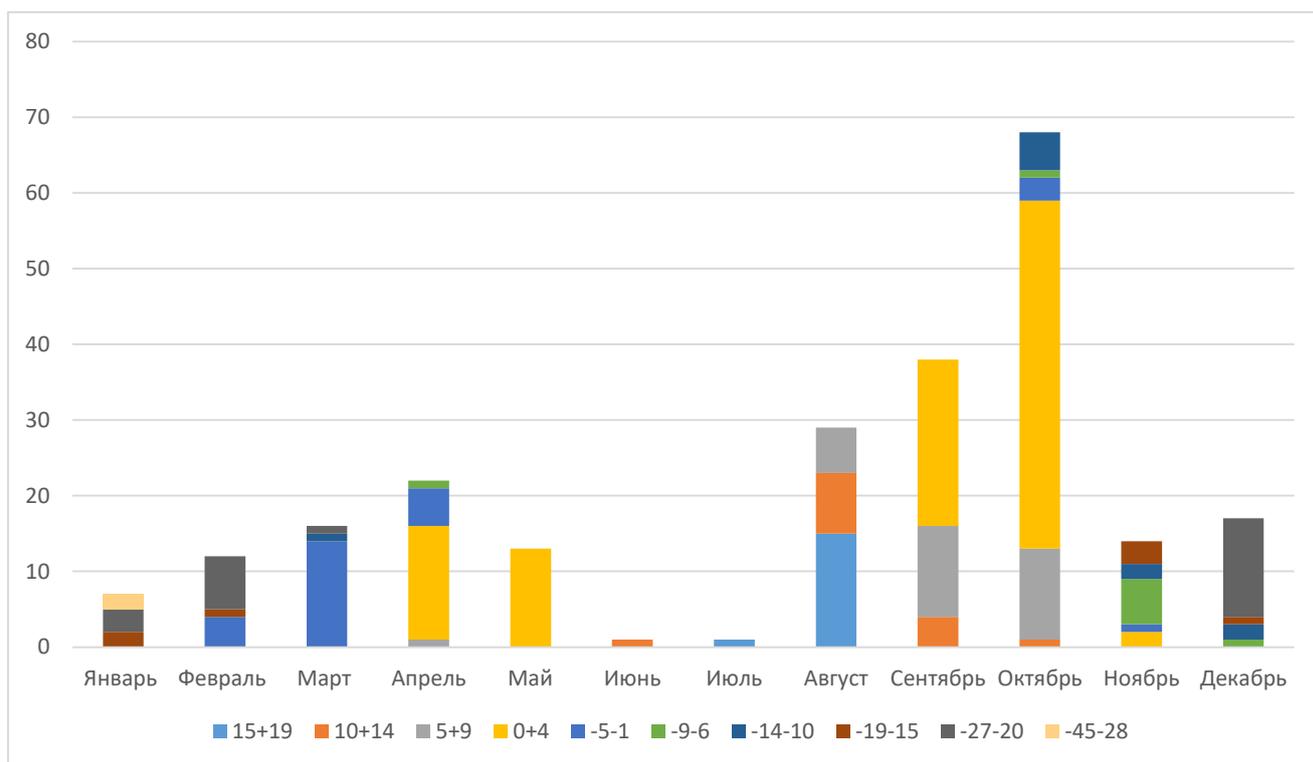


Рисунок 5. Количество случаев с туманом при определённых температурах в каждом месяце периода.

На гистограмме, представленной на рисунке 5 наглядно видны все изложенные выше выводы.

Далее, были изучены условия образования тумана, касающиеся ветрового режима. Данные отобраны, систематизированы и помещены в таблицу 6.

Таблица 6. Количество случаев с туманом при определённом сочетании скорости (м/с) и направления ветра.

направление/скорость	0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	всего
С	9						9
ССВ	14						14
СВ	8						8
ВСВ	9						9
В	14						14
ВЮВ	8						8
ЮВ	13						13
ЮЮВ	16						16
Ю	27						27
ЮЮЗ	31						31
ЮЗ	14						14
ЗЮЗ	5						5
З	11						11
ЗСЗ	11						11
СЗ	9						9
ССЗ	6						6
переменный	2						2
Штиль	31						31

Из таблицы 6 можно сделать вывод, что наиболее частое сочетание скорости и направления ветра имеет градация ЮЮЗ, далее Ю, далее ЮЮВ. Преобладающим направлением при тумане является ЮЮЗ, преобладающей скоростью 0-5 м/с. Нужно отметить, что на штиль приходится 31 случай.

Ниже, на рисунке 6 в графическом виде представлены данные таблицы 6.

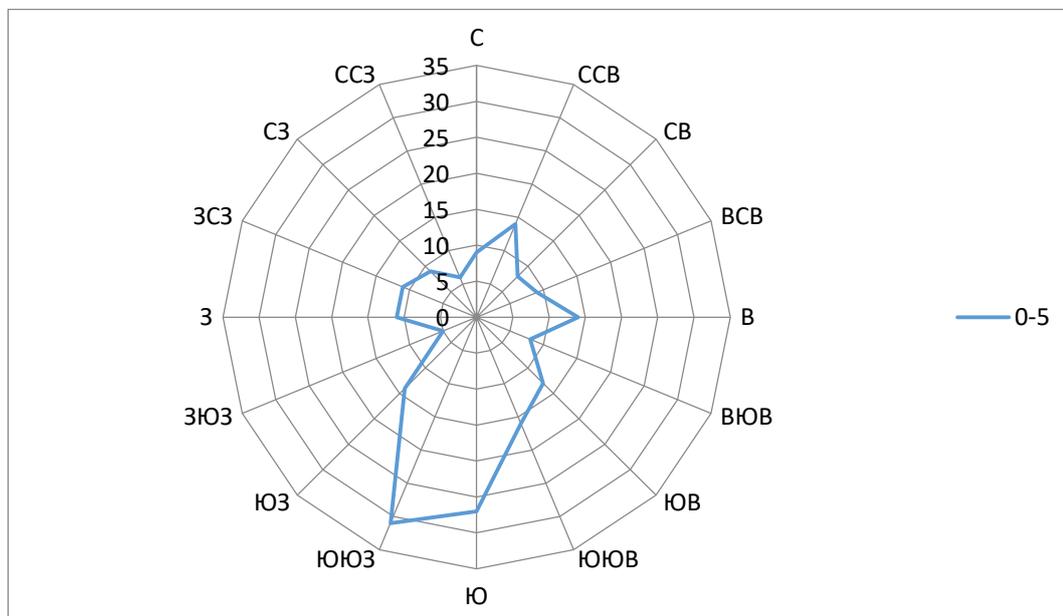


Рисунок 6. Роза ветров

Далее были рассмотрены кольцевые карты погоды за рассматриваемый период в даты с туманом (использовался архив сайта «Метеоцентр Азия») и определены синоптические ситуации, наиболее характерные для образования тумана. Рассчитана их повторяемость. На рисунке 7 в графическом виде представлены результаты данного этапа работы.

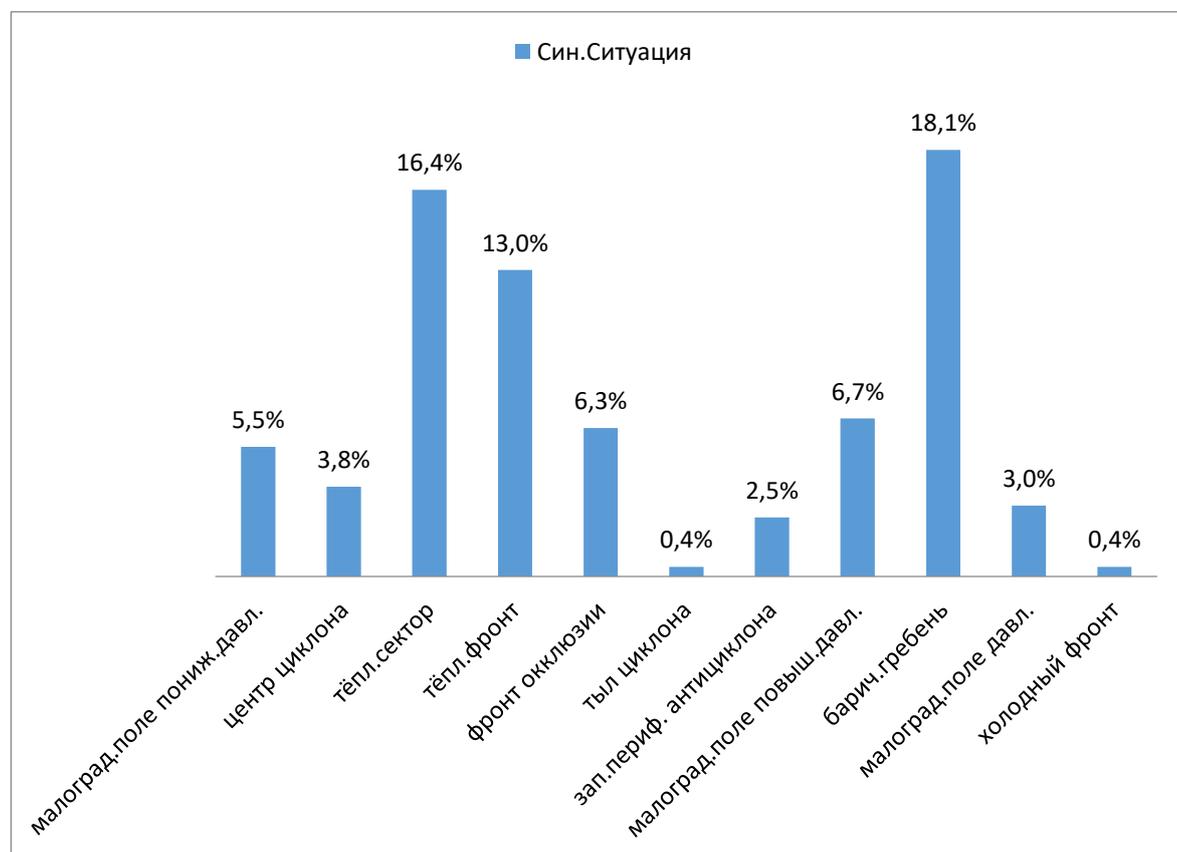


Рисунок 7. Повторяемость синоптических ситуаций при тумане.

По результатам анализа рисунка 7 можно сказать, что наиболее часто туманы наблюдались при барическом гребне (18,1%), затем в теплом секторе (16,4%), затем на теплом фронте (13,0%). Меньшей по повторяемости синоптической ситуацией является тыловая часть циклона и холодный фронт (0,4%)

Далее была проведена работа с картами, по которым был проведен фронтальный анализ. Приведём наиболее частые синоптические условия образования тумана. На рисунках 8-13 представлены синоптические ситуации с туманом в барическом гребне, в малоградиентном поле давления в тёплом секторе циклона, в барическом гребне и фронтальной зоне, в западной периферии антициклона, в тыловой части циклона и на фронт окклюзии.

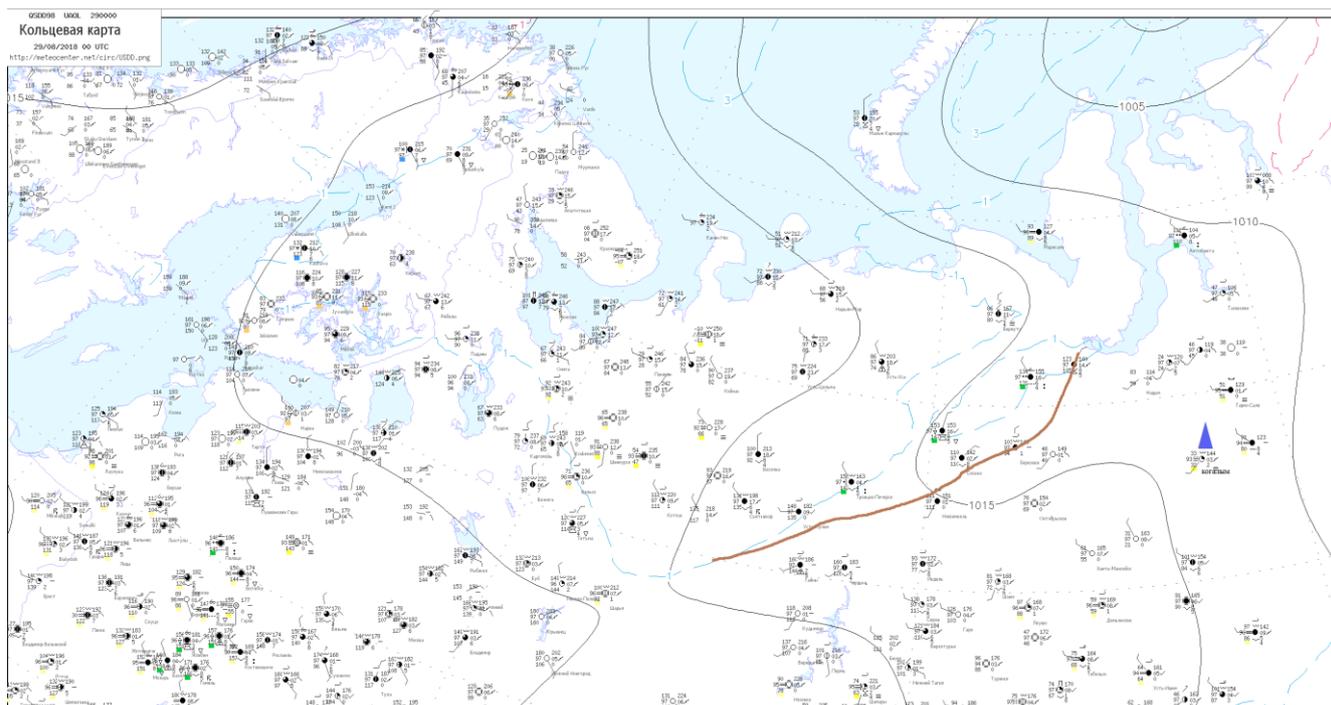


Рисунок 8. Синоптическая ситуация за 29.08.2018 г. Барический гребень.

Синоптическая ситуация за 29.08.2018 г. 00:00 UTC на карте отображен барический гребень, который способствует образованию тумана.

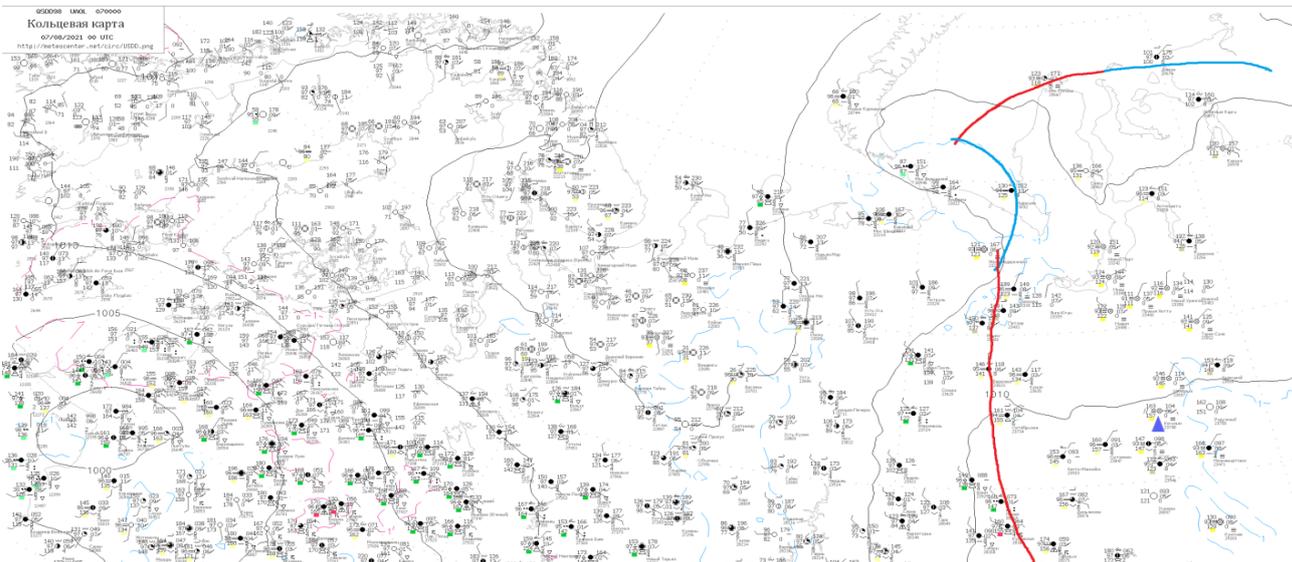


Рисунок 9. Синоптическая ситуация за 07.08.2021 г. малоградиентное поле давления в теплом секторе. На данной карте за 07.08.2021 г. представлена синоптическая ситуация в виде малоградиентного поля в теплом секторе.

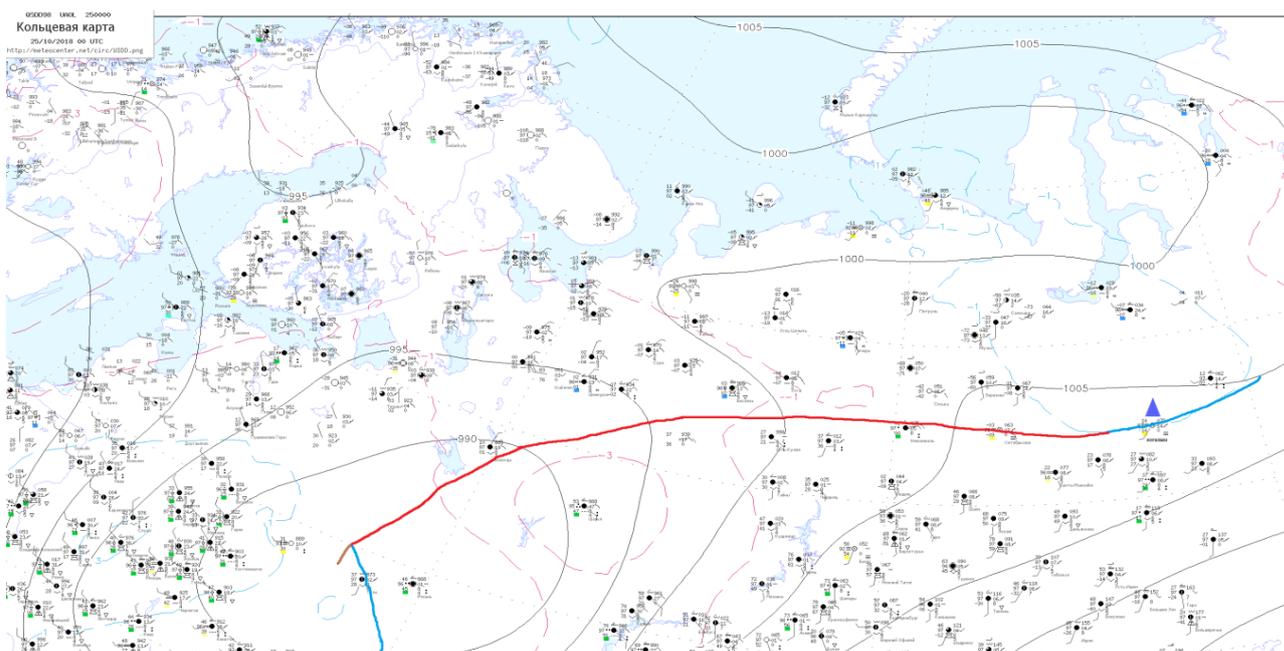


Рисунок 10. Синоптическая ситуация за 25.10.2018 г. барический гребень и фронтальная зона

Карта, была подготовлена за 00:00 25.10.2018 г. на ней отображена синоптическая ситуация, которая способствует образованию радиационного тумана. В этот день туман наблюдался продолжительность 11 часов.

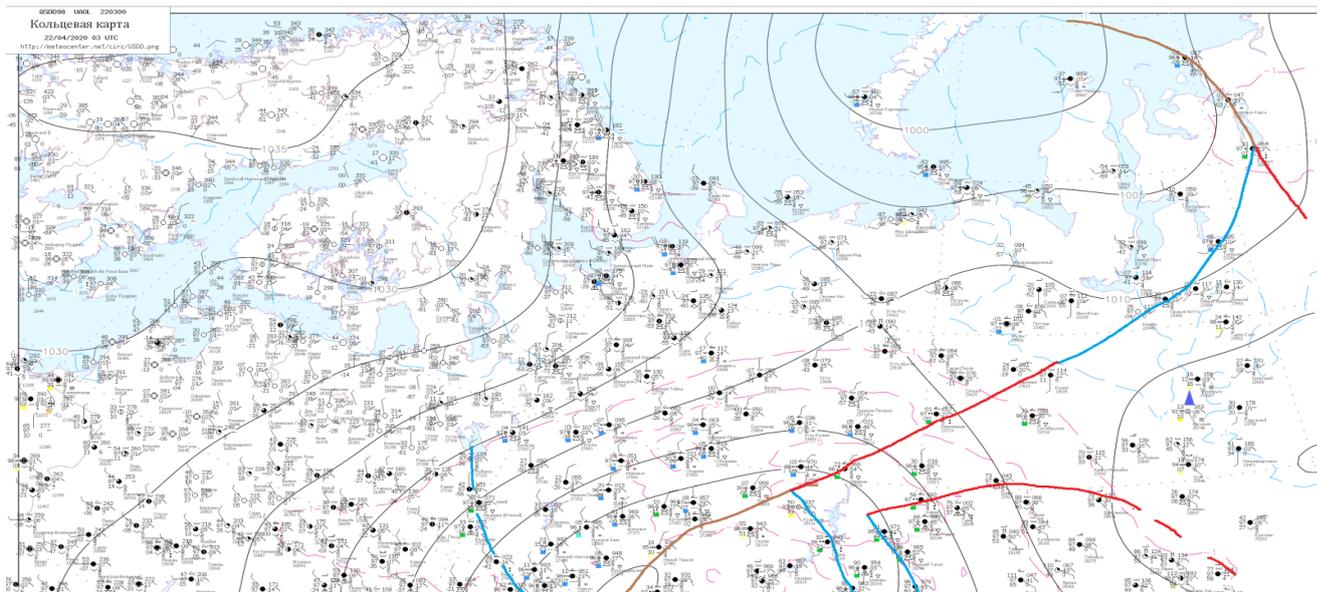


Рисунок 11. Синоптическая ситуация за 22.04.2020 г. западная периферия антициклона

На данном рисунке синоптическая ситуация за 03 UTC, аэродром Когалым находится в зоне повышенного давления. Было зафиксировано 6 часов тумана.

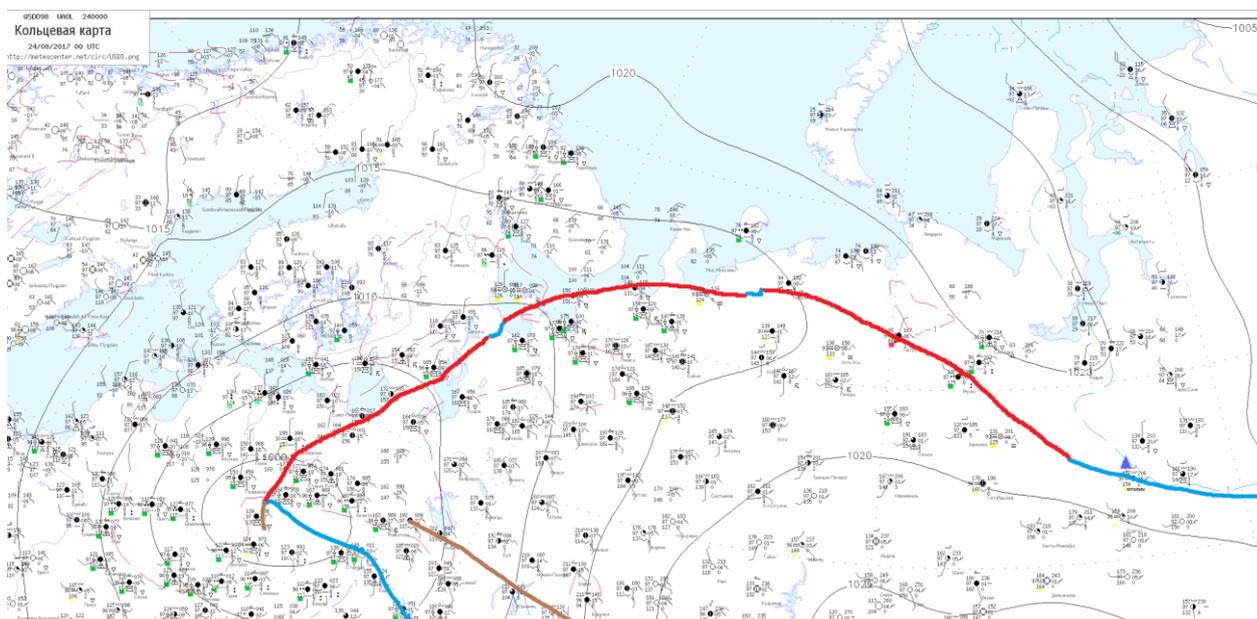


Рисунок 12. Синоптическая ситуация за 24.08.2017 тыловая часть циклона.

На представленной карте указана синоптическая обстановка за 00 UTC, на рисунке мы видим, что в районе аэродрома Когалым наблюдается холодный фронт. За 3 часа было образование 2 случаев тумана.

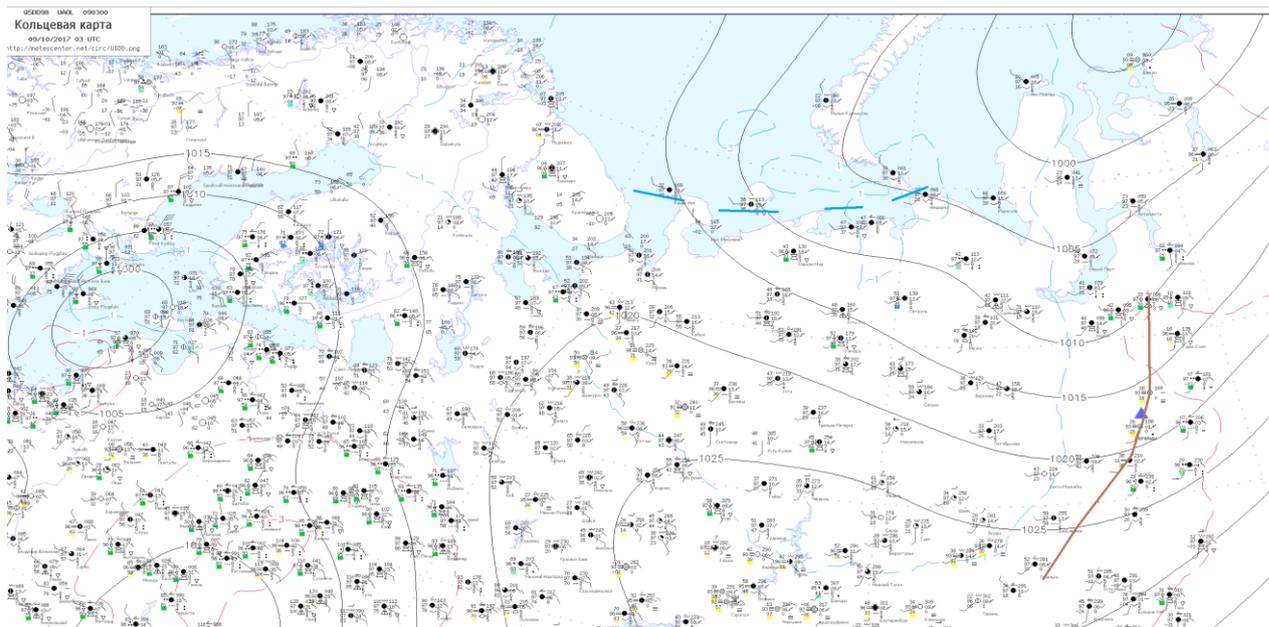


Рисунок 13. Синоптическая ситуация за 09.10.2017 фронт окклюзии

На карте представлена синоптическая обстановка за 09.10.2017 г. за 03 UTC. Фронт окклюзии проходит вблизи района аэродрома Когалым. Было зафиксировано 3 случая образования тумана.

### 3.3 Методический и гидродинамический прогноз тумана

Из полученных выше выводов можно сказать, что проблема ухудшения видимости при тумане на данном аэродроме существует. Для повышения безопасности полётов в метеорологическом плане рассмотрим вопрос прогнозирования этого явления.

Для начала было решено выявить точность прогнозирования тумана путём сопоставления данных о тумане в прогнозах по аэродрому и фактической погоды. В результате было рассмотрено 238 прогнозов в коде TAF. В результате сравнения с периодами тумана, получены следующие выводы. Оправдавшихся прогнозов из них 205 случая, 33 раза туман присутствовал, но по прогнозу не прогнозировали (пропуск явления). Статистика оправдывавшихся прогнозов по туману составляет 86,1%. Таким образом, существуют пропуски явления в прогнозах. Поэтому, было решено выявить наиболее точно прогнозирующие туман в данном районе гидродинамические модели. Были отобраны данные реанализа моделей GFS,

ICON, ECMWF в даты и время с туманом. В результате модель GFS прогнозирует туман в 65% случаев, ICON в 50% случаев, ECMWF в 46% случаев. Исходя из анализа архива данных взятых с сайта «Ventusky» можно сказать, что модель GFS оправдывает образование тумана точнее, нежели другие модели.

Далее, на рисунках 14-16, как пример работы с информацией, представлены результаты прогноза тумана выбранными для анализа моделями.

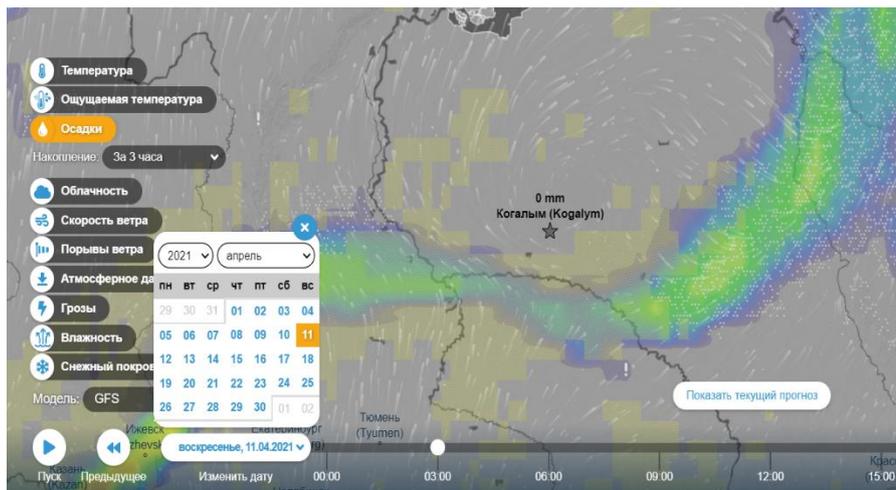


Рисунок 14. Прогноз тумана по модели GFS 11.04.2021 г. 03 UTC

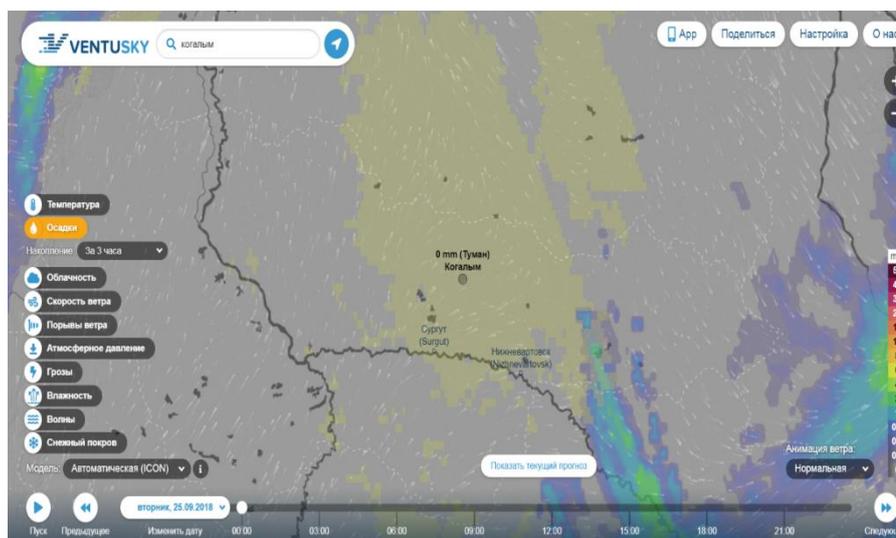
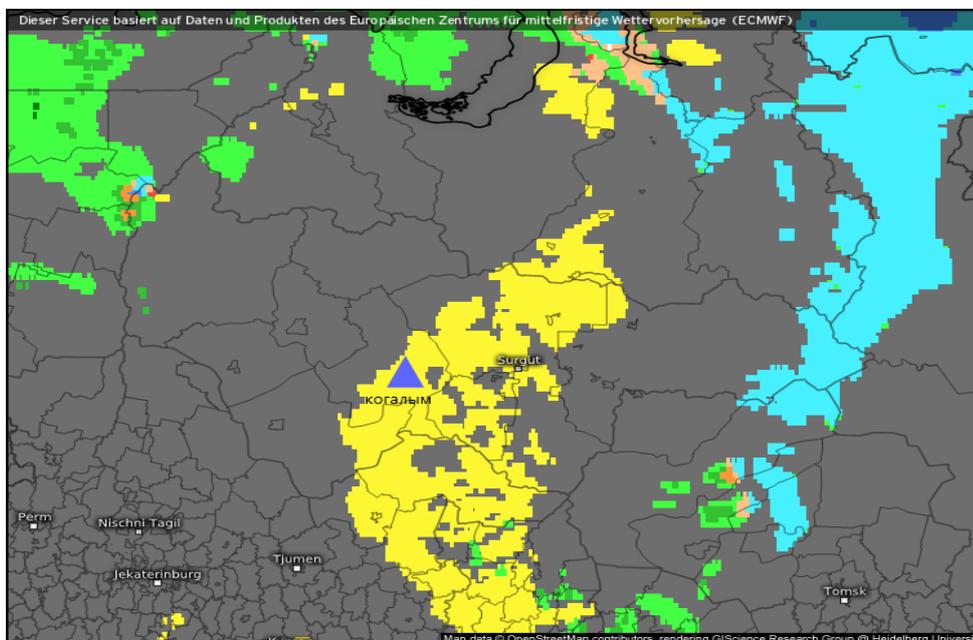


Рисунок 15. Прогноз тумана по модели ICON 25.09.2018 г. 00 UTC



**Signifikantes Wetter**

Prognose für  
Do. 14.10.2021, 05:00 Uhr MESZ

Рисунок 16. Прогноз тумана по модели ECMWF 14.10.2021 г. 05 UTC

После обработки и анализа всех собранных, данных о тумане. Мы может сказать, что более частыми туманами на аэродроме является радиационный туман. Поэтому соответственно было решено рассмотреть, методы прогноза именно для радиационного типа туманов. В таблице 7 представлены случаи радиационного тумана. Из нее видно, что из 35 случаев всего лишь 8 раз туман наблюдался, но не прогнозировался.

Таблица 7. Туман в прогнозе указан (+) и не указан (-).

дата	время	ICON	ECMWF	GFS	TAF
19.11.2017	00.00				+
19.11.2017	01.00				+
19.11.2017	02.00				+
29.08.2018	00.00	-		-	+
23.09.2018	00.00	-		-	+
23.09.2018	01.00	-		-	+
23.09.2018	02.00	-		-	+
23.09.2018	03.00	-		-	+
25.10.2018	01.00	+		+	+
25.10.2018	02.00	+		+	+
25.10.2018	03.00	+		+	+
25.10.2018	04.00	+		+	+
25.10.2018	05.00	+		+	+
25.10.2018	06.00	+		+	+

25.10.2018	07.00	+		+	+
25.10.2018	08.00	+		+	+
25.10.2018	09.00	+		+	+
25.10.2018	10.00	+		+	+
25.10.2018	11.00	+		+	+
12.01.2019	00.00	+	-	-	+
19.07.2019	21.00	+	-	+	-
15.08.2019	00.00	+	-	-	-
23.08.2019	00.00	+	+	-	+
16.12.2019	15.00	+	-	-	-
22.12.2019	17.00	-	-	-	+
29.02.2020	01.00	-	-	-	+
29.02.2020	02.00	-	-	-	+
29.02.2020	03.00	-	-	-	+
29.02.2020	04.00	-	-	-	+
08.09.2021	00.00	+	+	+	-
08.09.2021	01.00	+	+	+	-
08.09.2021	02.00	+	+	+	-
08.09.2021	03.00	+	+	+	-
09.09.2021	01.00	+	-	-	+
10.09.2021	00.00	+	-	-	-

Для прогнозирования радиационного тумана решено проверить точность метода по Н.В. Петренко.

Для того что бы понять работает ли метод нам необходимо найти температуру туманообразования ( $T_t$ ), затем сравнить её с ожидающейся минимальной температурой ( $T_{мин}$ ).

Если  $T_t$  выше, чем  $T_{мин}$ . или равна ей, то ожидается туман. И наоборот.

Если  $T_t$  ниже, чем  $T_{мин}$ .на 1-2 град, то возможна дымка.

После того как информация была собрана и занесена в таблицу 8, по графику предложенному Н.В. Петренко на рис.1, была определена температуру туманообразования.

Таблица 8. Исходные данные для прогноза тумана.

дата	$T_d$ (град.С)при заходе	$T^{\circ}$ (град.С)	$T_t^{\circ}$ (град.С)по графику(туман/слабый туман/дымка)
19.11.2017	-15,6	-19,3	-20,0/ -17,0/ -16,0
19.11.2017		-18,2	
19.11.2017		-16,7	
29.08.2018	9,0	7,2	4,0/ 7,0/ 9,0
23.09.2018	8,7	3,3	4,0/ 7,0/ 9,0
23.09.2018		2,9	

23.09.2018		5,2	
23.09.2018		7,7	
25.10.2018	1,1	1,5	-5,0/ -1,0/ 1,0
25.10.2018		1,1	
25.10.2018		0,8	
25.10.2018		1,1	
25.10.2018		1,8	
25.10.2018		1,3	
25.10.2018		1,7	
25.10.2018		2,0	
25.10.2018		1,8	
25.10.2018		2,0	
25.10.2018		1,5	
12.01.2019	-36,0	-33,7	-42,0/ -40,0/ -36,0
19.07.2019	20,1	18,4	14,0/ 17,0 /20,0
15.08.2019	15,1	14,4	9,0/ 12,0/ 15,0
23.08.2019	11,9	9,0	7,0/ 9,0/ 12,0
16.12.2019	-7,2	-6,8	-12,0/ -8,0/ -7,0
22.12.2019	-19,6	-18,5	-25,0/ -21,0/ -19,0
29.02.2020	-10,1	-19,7	-13,0/ -11,0/ -9,0
29.02.2020		-21,1	
29.02.2020		-21,2	
29.02.2020		-19,0	
08.09.2021	7,1	3,8	2,0/ 5,0/ 7,0
08.09.2021		3,8	
08.09.2021		4,4	
08.09.2021		5,5	
09.09.2021	2,5	0,1	-1,0/ 0,5/ 2,5
10.09.2021	2,8	-0,1	-1,0/ 0,9/ 2,8

Проанализировав таблицу 8 можно сказать, что температура туманообразования (для густого тумана) в нашем случае 8 раз превышала минимальную температуру, в 3-х случаях была не более, чем на 1 град.С ниже минимальной и в 5 случаях более, чем на 2 град.С ниже минимальной. Тем самым можно сказать что, метод работает и его можно использовать для прогноза радиационного тумана, при правильном прогнозе минимальной температуры.

Так как для авиационных метеорологических подразделений прогноз температуры воздуха не является обязательным, а предоставляется только по локальному соглашению, то в эти же даты (с радиационным туманом) был рассмотрен архив реанализа моделей GFS, ICON и ECMWF на тех же интернет-порталах, что и прогноз тумана (как явления погоды). Минимальную температуру в случаях с туманом сравнивали с прогнозом по гидродинамическим моделям. В результате, с учётом допуска в +/- 1 град.С

было получено, что модель ECMWF прогнозирует температуру лучше, чем две другие. Таким образом, данные по прогнозу минимальной температуры воздуха этой гидродинамической моделью можно использовать для прогноза тумана по методу Н.В. Петренко.

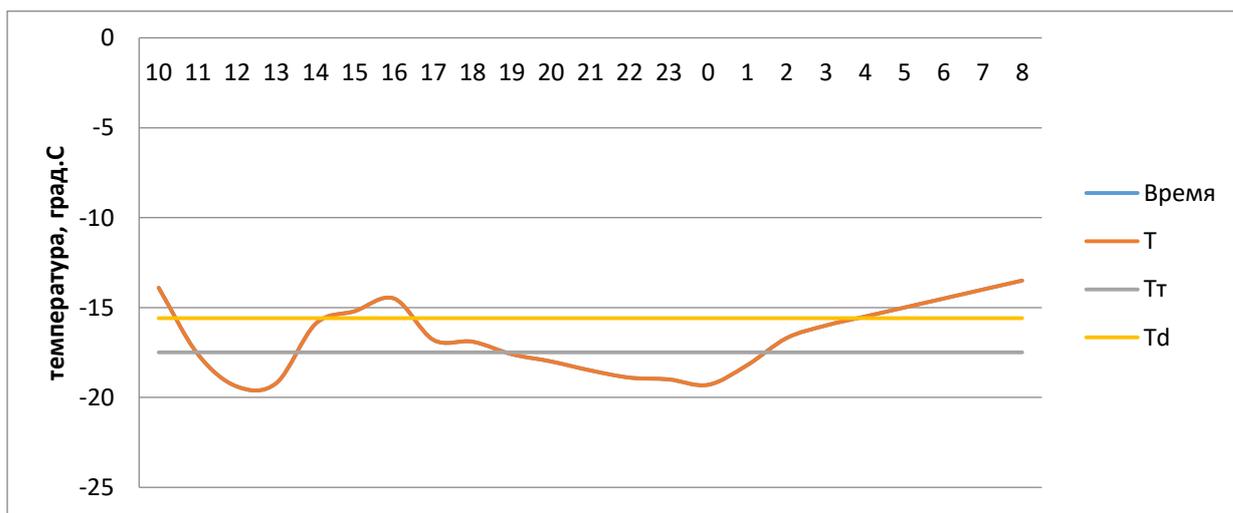
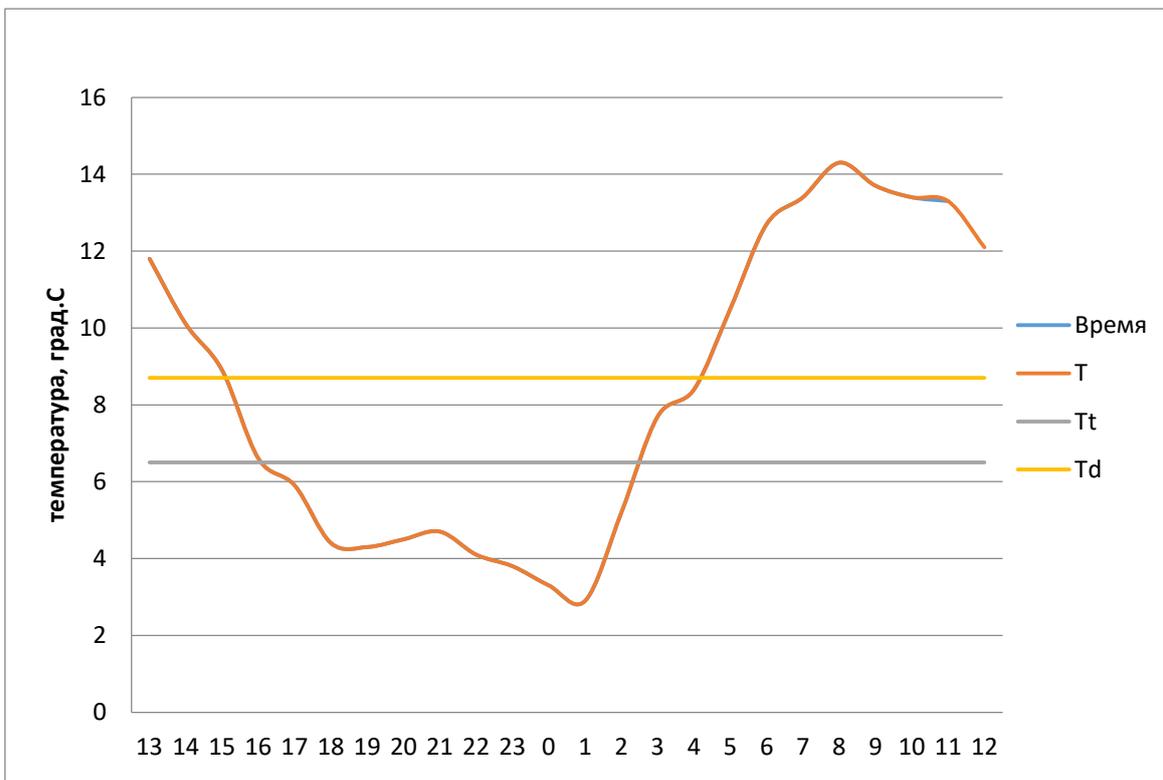
Ниже, в таблице 9 приведены результаты сравнения.

Таблица 9. Прогноз минимальной температуры воздуха (град.С) по разным гидродинамическим моделям.

дата	время	T icon	Tgfs	Tecmwf	Tмин	T icon-Tмин	Tgfs-Tмин	Tecmwf-Tмин
29.08.2018	00.00	7	10	8	7,2	-0,2	2,8	0,8
23.09.2018	00.00	4	7	5	3,3	0,7	3,7	1,7
25.10.2018	01.00	0	1	1	1,5	-1,5	-0,5	-0,5
12.01.2019	00.00	-35	-32	-35	-33,7	-1,3	1,7	-1,3
19.07.2019	21.00	19	19	19	18,4	0,6	0,6	0,6
15.08.2019	00.00	15	17	15	14,4	0,6	2,6	0,6
23.08.2019	00.00	11	13	10	9	2	4	1
16.12.2019	15.00	-8	-15	-9	-6,8	-1,2	-8,2	-2,2
22.12.2019	17.00	-14	-21	-19	-18,5	4,5	-2,5	-0,5
29.02.2020	01.00	-13	-17	-18	-19,7	6,7	2,7	1,7

Далее, для отобранных случаев радиационного тумана был построен прогноз графическим методом, описанным в п. 1.5. Было определено время начала тумана и время его рассеивания. По температуре точки росы в момент захода солнца и по температуре туманообразования, определённой по графику и занесённой в таблицу 8.

Считается, что время образования тумана должно совпадать со временем, когда температура воздуха опустится до температуры туманообразования, а время рассеивания тумана должно совпадать со временем, когда температура воздуха поднимется выше температуры точки росы в момент захода солнца.



ные построений.

Рисунок 17. Случай 19.11.2017г.

Туман по графику определялся два раза. Первый раз с 11 до 13 часов, время рассеивания 14 часов, второй раз с 19 до 03 часов. Фактически туман наблюдался с 00 до 3 часов. Вывод: прогноз по графическому методу не оправдался в первом случае, а во втором случае время начала туманообразования определялось на несколько часов ранее, чем фактическое.

Рисунок 18. Случай 29.08.2018г.

Туман определялся по графическому методу с 20 до 00 часов, время рассеивания в 01 час. Фактически туман наблюдался с 18 до 01 часов. В 18 ч температура воздуха понизилась до температуры туманообразования при дымке. Вывод: прогноз по графическому методу оправдался и по наличию тумана и по срокам.

Рисунок 19. Случай 23.09.2018г.

Слабый туман определялся с 16 до 03 часов, время рассеивания 04 часа. Фактически туман наблюдался с 21 до 04 часов. К 21 часу температура воздуха понизилась до температуры туманообразования для густого тумана. Вывод: прогноз по методу оправдался. Время рассеивания тумана спрогнозировано точно, время образования определяло туман на несколько часов раньше, чем фактическое время наблюдения тумана.

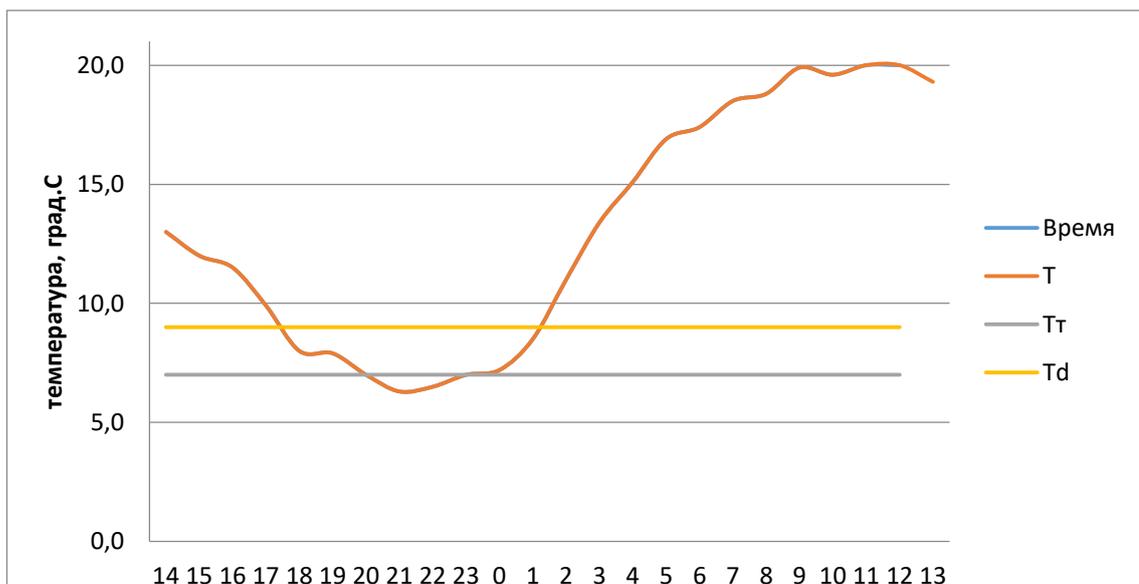


Рисунок 20. Случай 25.10.2018г.

Туман определялся по графику с 02 до 04 часов, время рассеивания 04 часа. Фактически туман наблюдался с 16 UTC 24.10 до 06 UTC 25.10. Время начала и окончания явления спрогнозировано не точно, туман образовался раньше. Вывод: прогноз по методу можно считать не оправдавшимся.

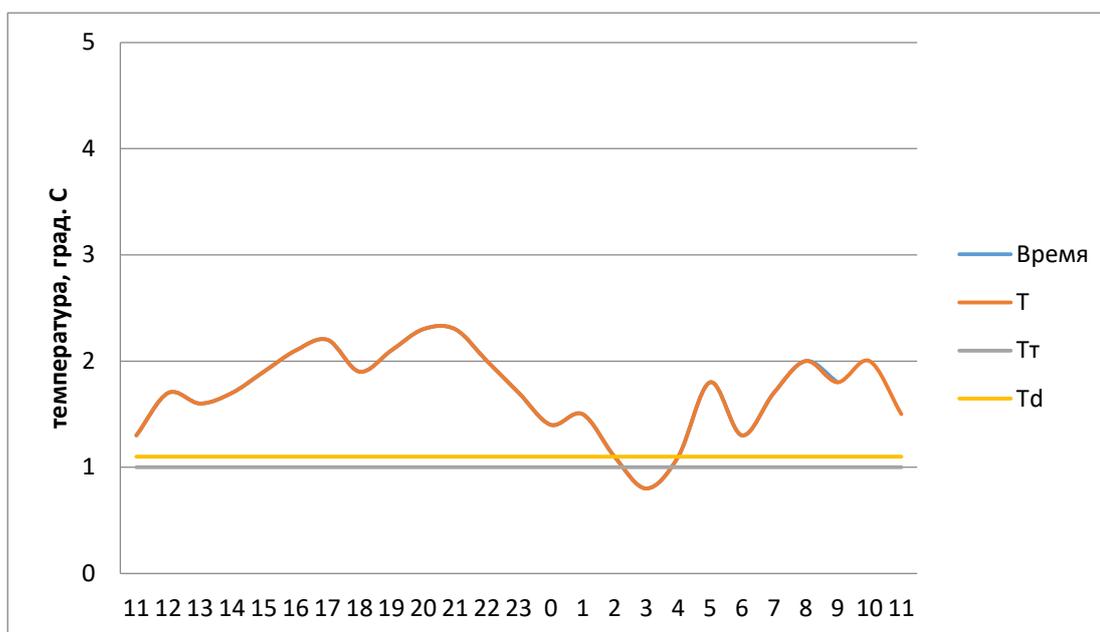
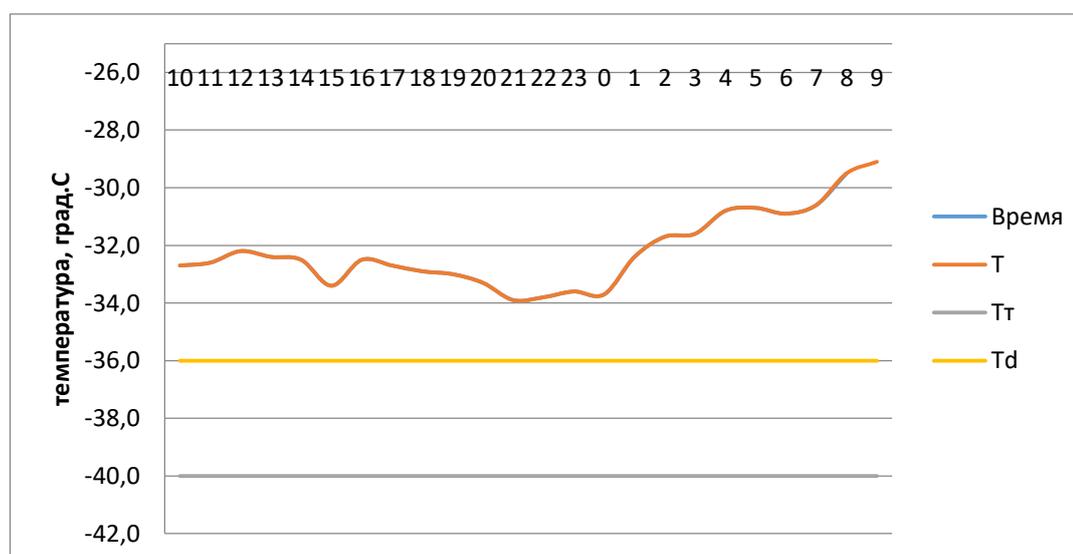


Рис  
уно  
к  
21.  
Слу  
чай  
12.  
01.  
201  
9г.

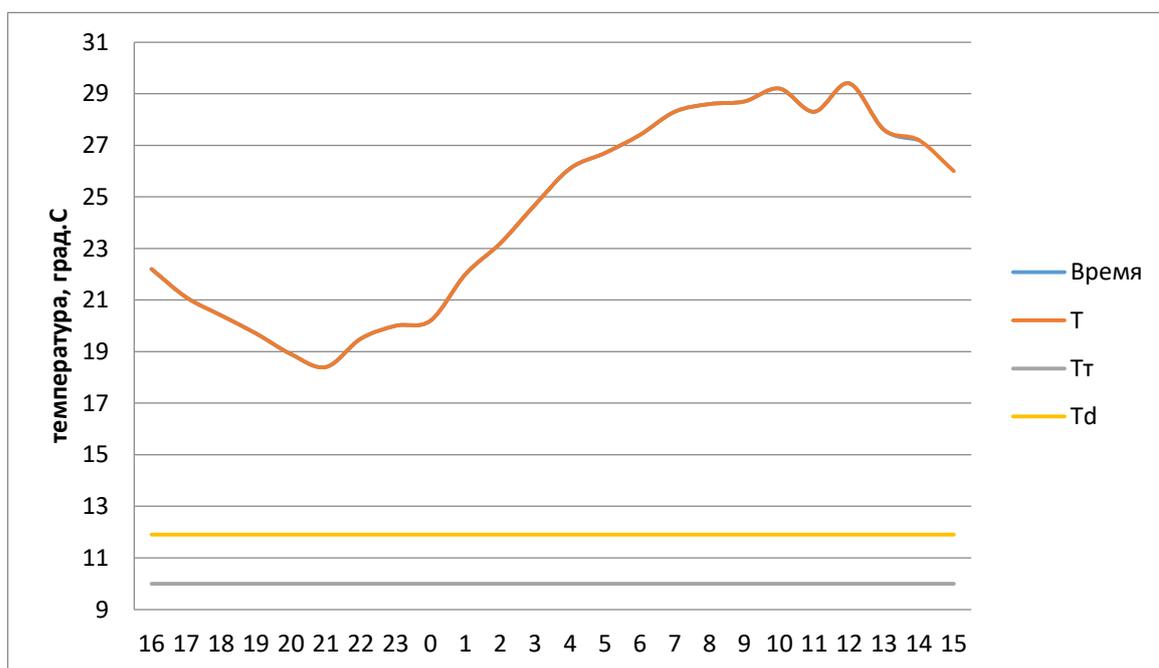
Туман по графику не определялся. Фактически туман наблюдался с 00 UTC меньше часа, то есть был кратковременным. Вывод: такой туман графический методу не определил. Поскольку температура воздуха при этом было ниже 30 град.С можно предположить, что туман в этом случае образовался из-за кратковременных изменений условий внешней среды,



связанных, например, с выбросом дополнительных ядер конденсации от проезжающего автомобиля аэродромных служб или после взлёта (посадки) воздушного судна.

Рисунок 22. Случай 19.07.2019г.

Фактически туман наблюдался в 21 час и был кратковременным. Для температуры туманообразования дымки (+20 град.С) время прогноза этого



явления от 19 до 23 часов. Для других явлений (густой туман и слабый туман) условия образования (+14град.С и +17 град.С) не прогнозировались. Вывод: в подобных случаях не стоит пренебрегать полученными графическими результатами и учитывать возможность, хоть и кратковременного, но ухудшения видимости до градации тумана.

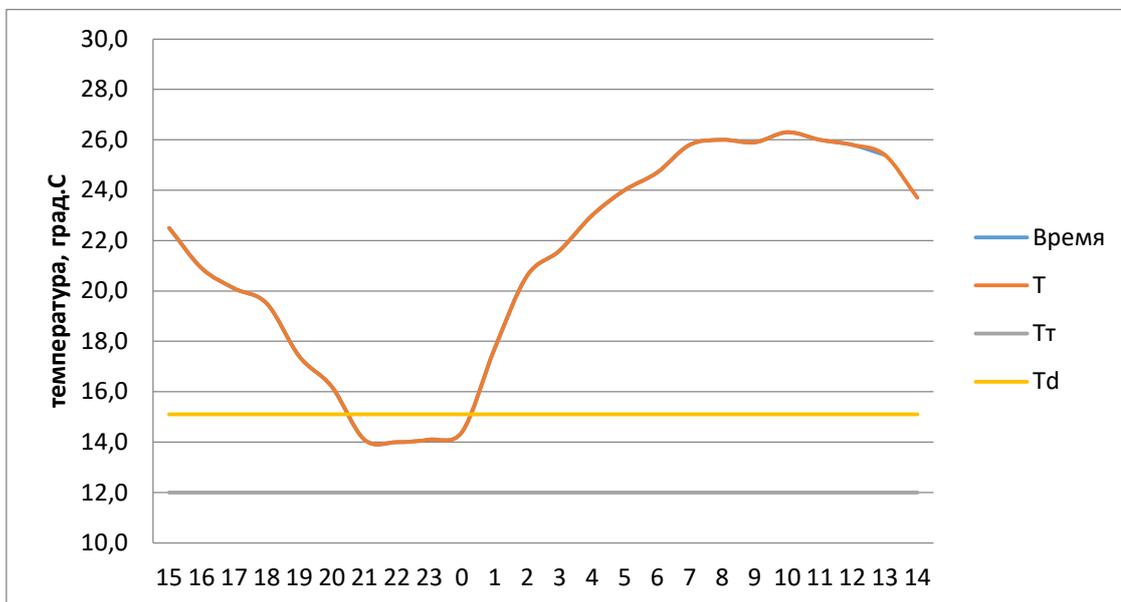


Рисунок 23. Случай 15.08.2019г.

Туман по графику не наблюдался (условия по температуре туманообразования +9 град.С и + 12 град.С). Условия для образования дымки (температура дымкообразования +15 град.С) наблюдались с 21 часа до 01 часа. Фактически туман наблюдался с 21 до 00 часов. Вывод: прогноз по графическому методу не определил условия образования тумана; определил только дымку.

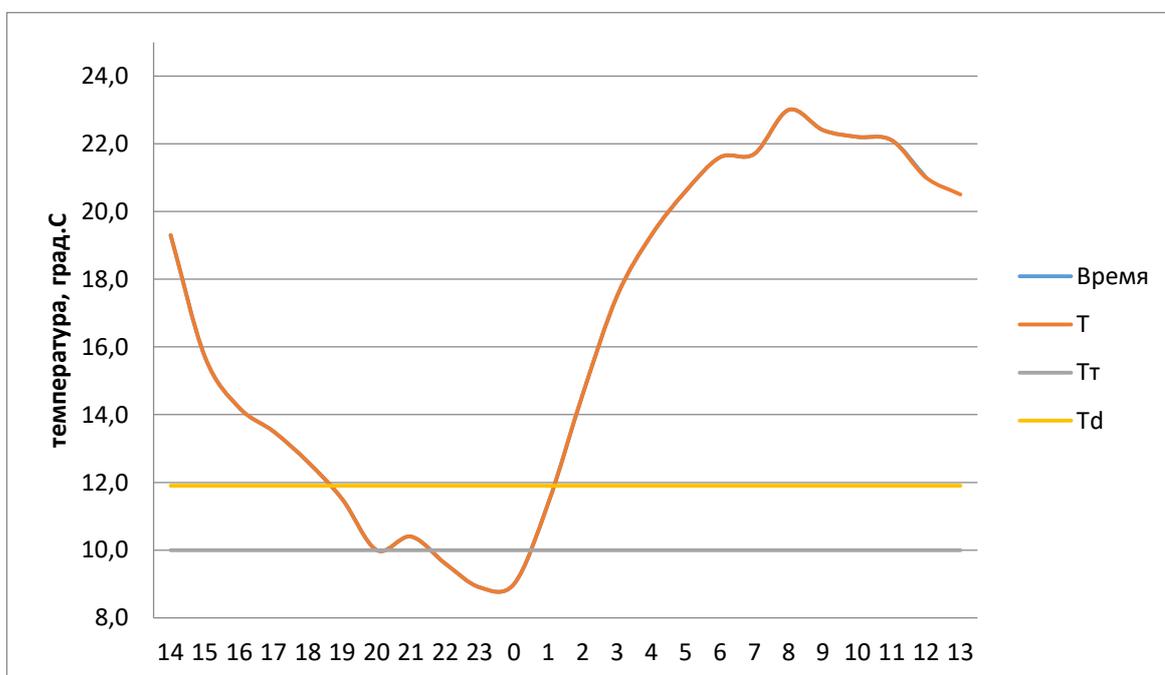
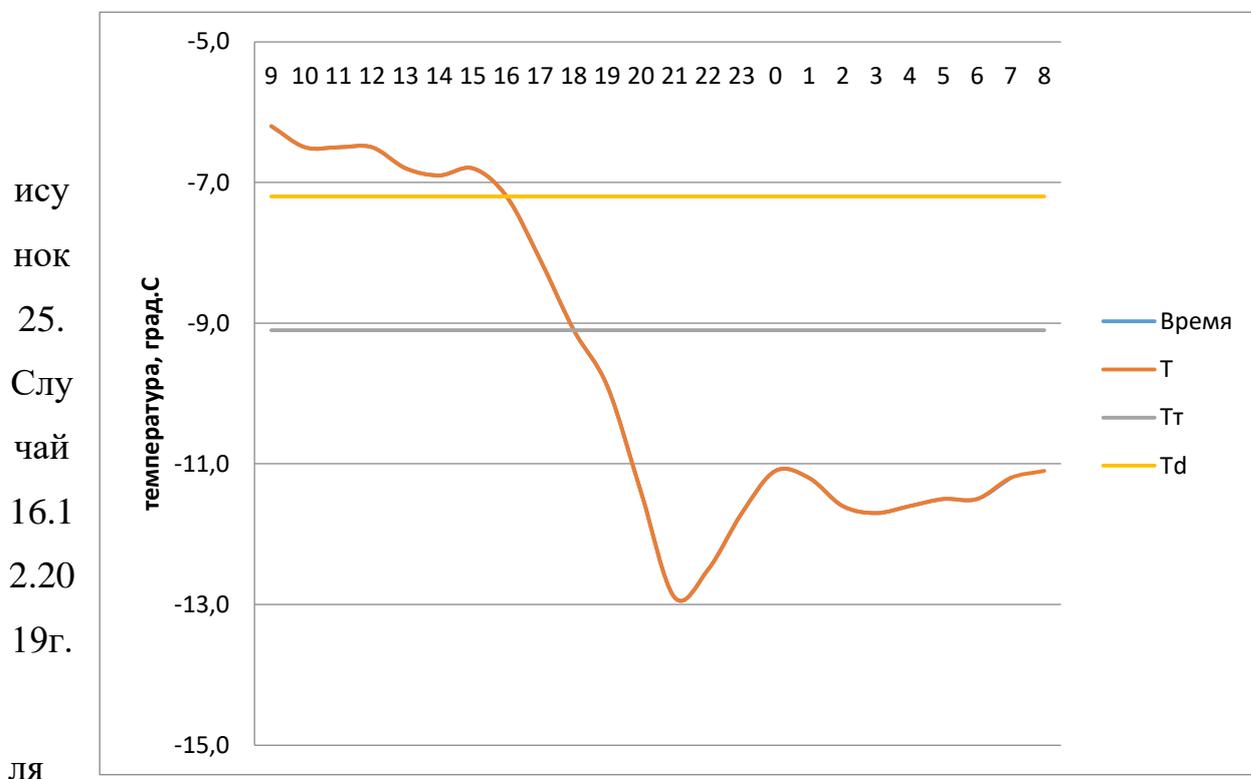


Рисунок 24. Случай 23.08.2019г.

Туман определялся по графическому методу с 20 до 00 часов, время рассеивания 01 час. Фактически туман наблюдался с 20 до 01 часов. Вывод: прогноз по методу оправдался полностью (по наличию явления и по продолжительности).



этого случая температура туманообразования густого тумана -12 град.С (время образования с 19 до 22 часов), слабого тумана -8 град.С (время образования 17 часов)и дымки -7 град.С (время образования в 16 часов). Фактически туман наблюдался с 13 до 16 часов. Таким образом, если руководствоваться этим графиком, то время образования тумана было бы спрогнозировано позже наблюдаемого фактически явления, то есть был бы пропуск явления в прогнозе. Вывод: прогноз по методу для данного случая плохо оправдался на определение явления и на время его возникновения.

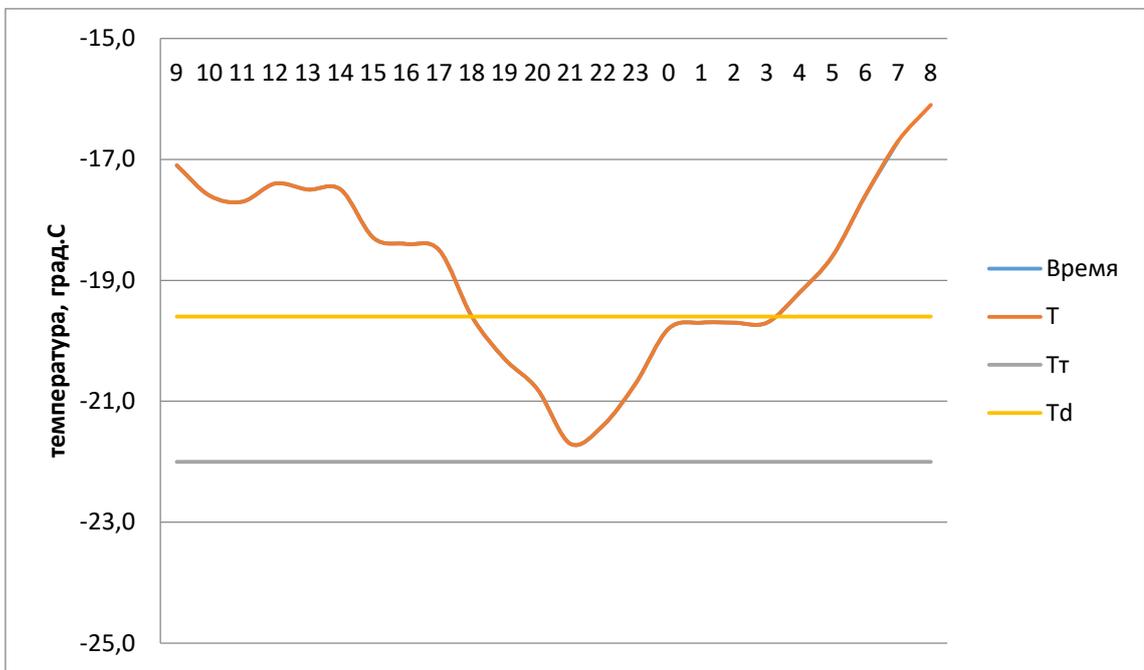


Рисунок 26. Случай 22.12.2019г.

Для данного случая температура образования густого тумана -25 град.С (условия не прогнозировались), для слабого тумана -21 град.С. (с 20 до 22 часов), для дымки -19 град.С (с 17 до 04 часов). Фактически туман наблюдался с 16 до 18 часов. Вывод: прогноз по методу плохо определил время начала и окончания явления.

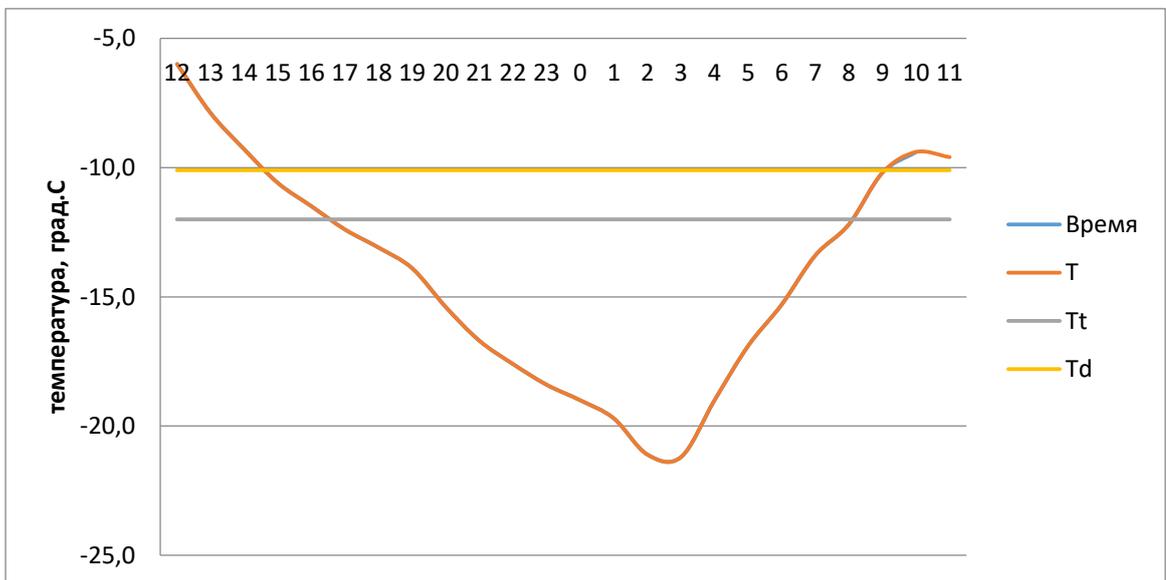


Рисунок 27. Случай 29.02.2020г.

Для данного случая температура образования густого тумана -25 град.С (не было условий), слабого тумана -21 град.С (с 01 до 03 часов), дымки -19 град.С (с 22 до 04 часов). Фактически туман наблюдался с 17 до 04 часов.

Вывод: прогноз по методу не оправдался по времени начала явления. Время рассеивания (09 часов) также плохо согласуется с фактическим.

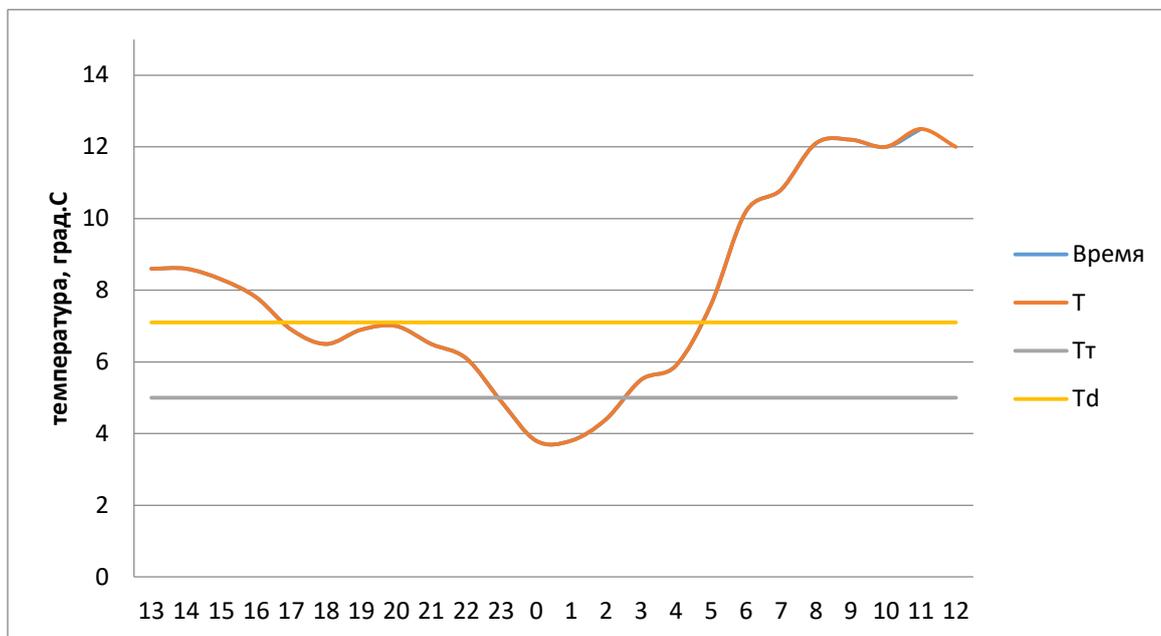
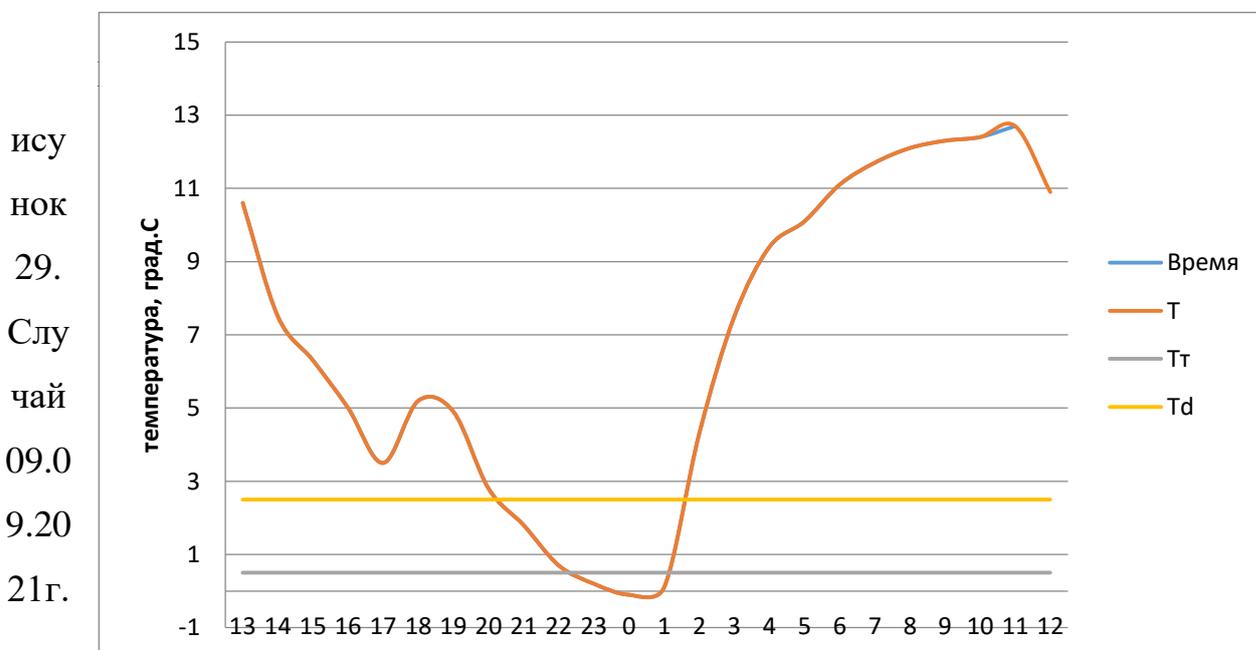


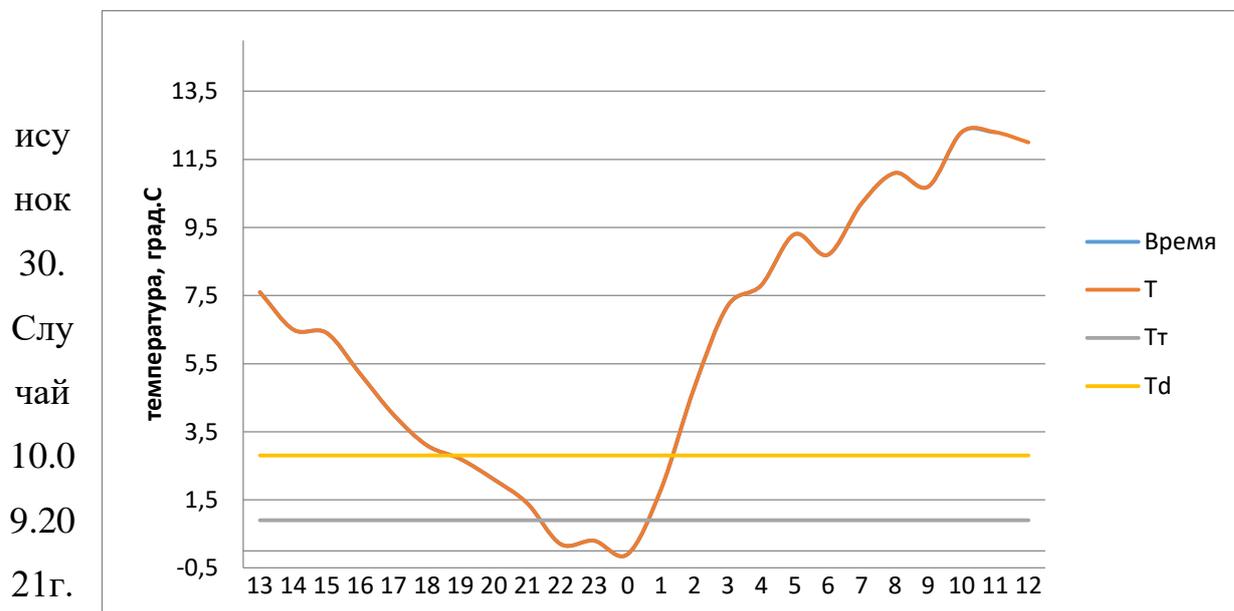
Рисунок 28. Случай 08.09.2021г.

Туман определялся по графическому методу с 23 до 03 часов, время рассеивания 05 часов. Фактически туман наблюдался с 22 до 03 часов. Вывод: прогноз по методу можно считать оправдавшимся.



Туман определялся с 22 до 01 часов, время рассеивания 02 часа. Фактически туман наблюдался с 00 до 02 часов. Вывод: прогноз по

графическому методу определил время образования тумана на несколько часов раньше, чем он фактически наблюдался. На этот срок прогнозировалась дымка (по условиям температуры образования +2,5 град.С)



Туман по графическому методу определялся с 21 до 01 часа, время рассеивания 02 часа. Фактически туман наблюдался с 23 до 00 часов. Вывод: прогноз по методу определил туман во временных градациях несколько шире наблюдавшихся.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были выполнены все поставленные задачи:

- изучены краткие физико-географические и климатические особенности аэродрома г. Когалым;

Аэродром расположен в Сургутской низине Среднеобской

низменности. Для этой территории характерна сильная заболоченность. Характерные черты сезонов: суровая продолжительная зима с сильными ветрами и метелями, весенние возвраты холодов, короткий безморозный период, довольно теплое короткое лето.

- подготовлены исходные данные для систематизации и анализа наблюдавшихся туманов;

Для выявления условий образования тумана были использованы данные ежечасных авиационных наблюдений в коде METAR за период 2016-2021гг. на АМСГ Когалым, для анализа синоптической ситуации архив кольцевых карт сайта «Метеоцентр Азия», реанализ моделей GFS, ICON, ECMWF.

-определены характерные условия образования тумана;

Чаще всего туман образуется в 01 часов, в октябре месяце. Наиболее часто непрерывная продолжительность составляет 17 часов, температура воздуха и температура точки росы 0+4гр., направление ветра при этом ЮЮЗ скорость ветра 0-5 м/с. Синоптические условия в большинстве случаев это барический гребень (18,1%) и теплый сектор (16,4%).

По прогнозам ТАФ: из 238 случаев с туманом количество неоправдавшихся прогнозов составило 33 (13,9%), оправдавшихся 205 (86,1%).

-оценена возможность прогнозирования тумана по данным гидродинамических моделей и методическим прогнозам.

Данные реанализа моделей GFS, ICON, ECMWF показали, что точность прогнозов тумана составляет GFS (65%), ICON (50%), ECMWF (46%), точнее прогноз минимальной температуры у модели ECMWF.

Методу Петренко для определения температуры туманообразования совместно с графическим методом для прогноза времени образования и рассеивания тумана также в большинстве случаев показал хорошие результаты. Часто время начала явления прогнозируется на несколько часов раньше фактически наблюдаемого явления. В отдельных случаях метод

прогнозировал туман, наоборот, после срока фактического наблюдения явления.

Значимость исследований данной темы подтверждает тот факт, что умение определять время рассеяние тумана поможет повлиять на планирование полетов в утренние часы, и полетов в течение суток для малой и большой авиации.

Полученные в ходе работы результаты и выводы могут быть использованы в оперативной практике как дополнительные предикторы при прогнозе тумана.

#### Список использованных источников

1. Зверев, А.С. Синоптическая метеорология. Издание второе, переработанное и дополненное [Текст] / А.С. Зверев – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Обь-Иртышский Север в Западно-Сибирской и Уральской периодике (1857—1944 гг.): библиографический указатель. Тюмень, 2000. 399 с.
3. Куриков В. М. Ханты-Мансийский автономный округ: с верой и надеждой в третье тысячелетие. Екатеринбург, 2000.
4. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА – 95) [текст] / М.: изд. Росгидромет, 1995. – 160 с.
5. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология [Текст] / В.И. Воробьев. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
6. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии [Текст] О.Г. Богаткин - СПб.: Изд. РГГМУ, 2009 г.
7. Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды [Текст] / О.Г. Богаткин – 2-е изд., стереотипное. – СПб.: БХВ - Петербург, 2010. – 178 с.: – ил. – (Учебное пособие).
8. Богаткин О.Г. Практикум по курсу «Основы авиационной метеорологии» [текст] / О.Г. Богаткин. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. – 136 с.

Приложение. Таблица 1. Исходные данные

дата	время	T	Td	напр.ветра	ск-ть ветра	син.ситуация	ICON	ECMWF	GFS	TAF
15.01.2016	13.00	-20,5	-22,2	20	1	центр циклона				-
15.01.2016	15.00	-18,9	-20,6	0	0					+
15.01.2016	16.00	-19,3	-21,0	0	0					+
18.01.2016	16.00	-32,4	-35,4	0	0					+
25.02.2016	18.00	-1,7	-2,5	320	1					+
26.02.2016	21.00	-1,8	-2,3	40	1					+
16.04.2016	05.00	2,2	2,2	100	3					+
16.04.2016	06.00	2,4	2,4	100	3					+
17.04.2016	02.00	1,7	1,7	290	3					+
25.04.2016	21.00	1,8	1,8	270	2					-
25.04.2016	01.00	1,8	1,8	160	3					+
24.08.2016	00.00	10,3	10,1	200	2					-
18.09.2016	16.00	7,6	7,3	0	0					+
18.09.2016	18.00	6,6	6,6	20	1					+
19.09.2016	21.00	4,9	4,9	310	1					+
19.09.2016	00.00	5,6	5,6	90	1					+
19.09.2016	01.00	6,1	6,0	40	1					+
19.09.2016	02.00	7,3	7,2	320	2					+
19.09.2016	03.00	7,7	7,6	300	1					+
19.09.2016	04.00	9,4	9,3	VRB	1					+
20.09.2016	16.00	12,0	11,2	0	0					-
23.09.2016	00.00	0,3	0,3	30	2					+
23.09.2016	01.00	3,1	3,0	350	1					+
23.09.2016	02.00	3,1	3,0	30	1					+
23.09.2016	03.00	3,1	3,0	10	2					+
23.09.2016	04.00	3,6	3,5	30	1					+
23.09.2016	05.00	3,8	3,7	70	2					+
23.09.2016	06.00	4,2	4,1	20	1					+
23.09.2016	18.00	0,3	0,0	0	0					+

продолжение Таблица 1 (исходные данные)

24.09.2016	21.00	1,0	1,0	0	0					+
24.09.2016	00.00	1,4	1,4	90	1					+
24.09.2016	01.00	2,2	2,1	0	0					+
24.09.2016	02.00	2,9	2,8	150	1					+
27.09.2016	05.00	11,1	10,9	220	2					+
10.10.2016	03.00	-2,3	-2,6	90	2					+
10.10.2016	04.00	-2,4	-2,8	70	1					+
10.10.2016	05.00	-1,6	-1,9	70	2					+
22.10.2016	01.00	-8,3	-8,8	10	2					+
22.10.2016	02.00	-10,0	-10,9	10	2					+
22.10.2016	03.00	-10,9	-11,9	30	1					+
22.10.2016	04.00	-11,0	-12,2	0	0					+
22.10.2016	05.00	-10,9	-12,1	0	0					+
22.10.2016	06.00	-10,3	-11,5	280	1					+
01.12.2016	02.00	-24,4	-26,8	0	0					+
01.12.2016	14.00	-26,8	-29,4	270	1					+
01.12.2016	15.00	-27,1	-29,9	270	1					+
18.12.2016	12.00	-45,1	-48,9	350	1					+
18.12.2016	13.00	-45,2	-49,0	0	0					+
18.12.2016	16.00	-45,7	-49,5	300	1					+
19.12.2016	14.00	-46,3	-50,2	0	0					+
19.12.2016	15.00	-46,8	-50,8	0	0					+
20.12.2016	03.00	-46,7	-50,7	300	1					+
20.12.2016	04.00	-46,8	-50,8	310	1					+
20.12.2016	05.00	-47,3	-51,3	320	1					+
20.12.2016	06.00	-47,5	-51,4	300	1					+
20.12.2016	07.00	-47,2	-51,2	280	1					+
04.05.2017	06.00	3,8	3,4	270	5	фронт окклюзии				+
08.05.2017	00.00	0,5	0,5	220	2	малогр.поле пониж. давлен.				-
08.05.2017	01.00	0,5	0,2	310	2	малогр.поле пониж. давлен.				-
08.05.2017	02.00	0,8	0,5	210	1	малогр.поле пониж. давлен.				-

продолжение Таблица 1. Исходные данные

08.05.2017	03.00	1,8	1,5	VRB	1	малогр.поле пониж. давлен.				-
12.05.2017	00.00	1,0	1,0	130	2	тёпл.фронт				+
24.08.2017	01.00	15,6	15,6	330	1	хол.фронт				+
28.08.2017	01.00	14,4	14,4	20	1	тёпл.сектор				+
28.08.2017	02.00	15,7	15,7	110	2	тёпл.сектор				+
14.09.2017	18.00	1,1	0,8	0	0	малогр.поле повыш.давлен.				-
15.09.2017	21.00	2,9	2,9	90	1	центр циклона				-
15.09.2017	00.00	2,9	2,9	80	2	тёпл.фронт				-
15.09.2017	01.00	3,3	3,3	80	3	тёпл.фронт				-
17.09.2017	08.00	9,3	9,3	190	4	тёпл.фронт				-
09.10.2017	03.00	2,6	2,6	200	5	фронт окклюзии				+
20.10.2017	01.00	2,5	2,5	140	4	тёпл.сектор				+
22.10.2017	01.00	0,0	-0,1	170	3	центр циклона				+
19.11.2017	00.00	-19,3	-20,5	270	1	малоград.поле давл.				+
19.11.2017	01.00	-18,2	-20,4	230	1	малоград.поле давл.				+
19.11.2017	02.00	-16,7	-18,6	230	1	малоград.поле давл.				+
23.11.2017	00.00	-4,9	-4,9	170	2	тёпл.фронт				+
23.11.2017	01.00	-6,0	-6,7	150	1	тёпл.фронт				+
23.11.2017	02.00	-6,8	-7,6	0	0	тёпл.фронт				+
23.11.2017	03.00	-7,1	-7,9	150	1	тёпл.фронт				+
23.11.2017	04.00	-7,6	-8,4	110	1	тёпл.фронт				+
23.11.2017	05.00	-8,1	-9,0	120	1	тёпл.фронт				+
23.11.2017	06.00	-8,9	-10,0	140	1	тёпл.фронт				+
03.03.2018	02.00	-24,5	-27,2	170	2	фронт окклюзии	-	-		+
06.04.2018	21.00	-5,6	-6,0	290	1	фронт окклюзии	-	-		-
20.06.2018	01.00	13,2	12,9	290	2	фронт окклюзии	-	-		+
24.08.2018	01.00	13,0	12,7	110	3	малогр. поле пониж. давл.	-	-		+
25.08.2018	01.00	11,1	10,9	40	2	малогр. поле пониж. давл.	-	-		+
28.08.2018	21.00	6,3	6,1	300	1	фронт окклюзии	-	-		+
22.09.2018	21.00	4,7	4,5	20	1	тёпл.фронт	-	-		+

продолжение Таблица 1. Исходные данные.

23.09.2018	00.00	3,3	3,1	40	1	барич.гребень	-		-	+
23.09.2018	01.00	2,9	2,8	0	0	барич.гребень	-		-	+
23.09.2018	02.00	5,2	5,1	0	0	барич.гребень	-		-	+
23.09.2018	03.00	7,7	7,7	0	0	барич.гребень	-		-	+
24.09.2018	18.00	11,1	10,9	250	1	малогр.поле повыш.давлен.	+		-	+
24.09.2018	21.00	8,8	8,6	240	1	тёпл.сектор	+		-	+
25.09.2018	00.00	7,0	7,0	0	0	малогр.поле повыш.давлен.	+		-	+
25.09.2018	01.00	6,1	6,1	170	1	малогр.поле повыш.давлен.	+		-	+
25.09.2018	02.00	6,9	6,9	200	1	малогр.поле повыш.давлен.	+		-	+
24.10.2018	16.00	2,1	2,0	200	5	фронт окклюзии	+		+	+
24.10.2018	17.00	2,2	2,1	200	5	фронт окклюзии	+		+	+
25.10.2018	01.00	1,5	1,5	220	1	барич.гребень	+		+	+
25.10.2018	02.00	1,1	1,1	200	2	барич.гребень и фронтальн.зона	+		+	+
25.10.2018	03.00	0,8	0,8	200	1	барич.гребень и фронтальн.зона	+		+	+
25.10.2018	04.00	1,1	1,1	190	1	барич.гребень и фронтальн.зона	+		+	+
25.10.2018	05.00	1,8	1,8	0	0	барич.гребень и фронтальн.зона	+		+	+
25.10.2018	06.00	1,3	1,3	160	2	барич.гребень и фронтальн.зона	+		+	+
25.10.2018	07.00	1,7	1,7	140	1	барич.гребень и фронтальн.зона	+		+	+
25.10.2018	08.00	2,0	2,0	180	1	барич.гребень и фронтальн.зона	+		+	+
25.10.2018	09.00	1,8	1,8	170	1	барич.гребень и фронтальн.зона	+		+	+
25.10.2018	10.00	2,0	2,0	160	2	барич.гребень и фронтальн.зона	-		+	+
25.10.2018	11.00	1,5	1,5	140	2	барич.гребень и фронтальн.зона	-		+	+
25.10.2018	12.00	1,4	1,4	140	2	тёпл.фронт	-		+	+
25.10.2018	13.00	1,3	1,3	120	2	тёпл.фронт	-		+	+
25.10.2018	14.00	1,3	1,3	140	2	тёпл.фронт	-		+	+
25.10.2018	15.00	1,5	1,5	150	3	тёпл.сектор	-		+	+
25.10.2018	16.00	1,7	1,7	150	3	тёпл.сектор	-		+	+
25.10.2018	17.00	1,9	1,9	150	3	тёпл.сектор	-		+	+
05.01.2019	13.00	-26,1	-28,9	200	1	барич.гребень	+	-	-	+
12.01.2019	00.00	-33,7	-37,2	220	1	барич.гребень	+	-	-	+

продолжение Таблица 1. Исходные данные.

17.02.2019	21.00	-20,6	-23,0	0	0	малогр.поле пониж. давлен.	-	-	-	-
18.02.2019	00.00	-20,5	-22,9	0	0	малогр.поле пониж. давлен.	-	+	-	-
18.02.2019	02.00	-21,0	-23,4	170	1	малогр.поле пониж. давлен.	-	+	-	-
18.02.2019	03.00	-21,5	-24,0	0	0	малогр.поле пониж. давлен.	-	+	-	-
22.03.2019	01.00	-3,9	-4,4	220	3	нет карты(малоград.поле давл.)	-	+	+	+
22.03.2019	02.00	-3,9	-4,6	220	4	нет карты(малоград.поле давл.)	-	+	+	+
22.03.2019	03.00	-4,0	-4,7	230	4	нет карты(малоград.поле давл.)	-	+	+	+
22.03.2019	04.00	-3,4	-4,1	210	5	нет карты(малоград.поле давл.)	-	+	+	+
23.03.2019	01.00	-5,3	-6,0	210	3	нет карты(тёпл.фронт)	+	+	+	+
23.03.2019	02.00	-5,4	-6,2	210	3	нет карты(тёпл.фронт)	+	+	+	+
24.03.2019	04.00	-3,0	-3,5	290	1	нет карты(тёпл.фронт)	+	+	+	+
24.03.2019	05.00	-2,6	-3,1	230	3	нет карты(тёпл.фронт)	-	+	+	+
24.03.2019	21.00	-5,9	-6,7	150	3	нет карты(тёпл.сектор)	-	-	+	+
03.05.2019	21.00	3,6	3,4	220	4	нет карты(тёпл.фронт)	-	-	+	-
04.05.2019	00.00	3,2	3,0	220	4	нет карты(тёпл.сектор)	-	-	+	+
04.05.2019	01.00	3,3	3,2	200	4	нет карты(тёпл.сектор)	-	-	+	+
04.05.2019	02.00	3,5	3,4	200	3	нет карты(тёпл.сектор)	-	-	+	+
04.05.2019	03.00	3,7	3,5	190	4	нет карты(тёпл.сектор)	-	-	+	+
04.05.2019	04.00	3,0	2,9	160	4	нет карты(тёпл.сектор)	-	-	+	+
04.05.2019	05.00	3,6	3,5	170	5	нет карты(тёпл.сектор)	-	-	+	+
19.07.2019	21.00	18,4	18,2	0	0	малогр.поле повыш.давлен.	+	-	+	-
15.08.2019	00.00	14,4	14,2	40	1	малогр.поле повыш.давлен.	+	-	-	-
23.08.2019	00.00	9,0	8,8	0	0	малогр.поле повыш.давлен.	+	+	-	+
15.09.2019	11.00	9,8	9,7	140	4	тёпл.фронт	-	-	+	+
15.09.2019	12.00	10,5	10,3	140	4	тёпл.фронт	-	-	+	+
16.12.2019	15.00	-6,8	-7,9	180	2	барич.гребень	+	-	-	-
18.12.2019	18.00	-10,7	-12,0	100	1	тёпл.фронт	+	-	-	+
22.12.2019	17.00	-18,5	-20,8	0	0	барич.гребень	-	-	-	+
29.02.2020	01.00	-19,7	-22,0	310	1	барич.гребень	-	-	-	+
29.02.2020	02.00	-21,1	-23,5	0	0	барич.гребень	-	-	-	+
29.02.2020	03.00	-21,2	-23,6	150	1	барич.гребень	-	-	-	+

Продолжение Таблица 1. Исходные данные.

29.02.2020	04.00	-19,0	-21,4	0	0	барич.гребень	-	-	-	+
20.03.2020	16.00	-1,3	-1,7	60	1	тёпл.сектор	-	+	+	+
20.03.2020	17.00	-3,1	-3,5	40	1	тёпл.сектор	-	-	+	+
20.03.2020	18.00	-3,3	-3,8	300	1	тёпл.сектор	-	+	+	+
19.04.2020	21.00	-0,3	-0,6	150	2	фронт окклюзии	+	-	+	-
22.04.2020	00.00	1,8	1,5	220	3	западн.периферия антициклона	+	-	+	+
22.04.2020	01.00	0,9	0,6	150	2	западн.периферия антициклона	+	-	+	-
22.04.2020	02.00	0,7	0,4	130	3	западн.периферия антициклона	+	-	+	+
22.04.2020	03.00	1,3	1,0	130	4	западн.периферия антициклона	+	-	+	+
22.04.2020	04.00	2,1	1,8	130	3	западн.периферия антициклона	+	-	+	+
22.04.2020	05.00	3,1	3,0	110	3	западн.периферия антициклона	+	-	+	+
30.04.2020	16.00	4,6	4,3	110	1	центр циклона	-	-	+	+
24.08.2020	01.00	12,3	11,8	340	2	центр циклона	+	+	+	+
24.08.2020	02.00	12,0	11,5	20	1	центр циклона	+	+	+	-
26.08.2020	00.00	8,7	8,3	10	2	барич.гребень	+	+	+	-
26.08.2020	01.00	9,2	8,7	310	1	барич.гребень	+	+	+	-
28.08.2020	00.00	8,8	8,4	200	2	барич.гребень	-	-	-	+
14.09.2020	01.00	8,4	7,8	190	1	малогр.поле повыш.давлен.	+	-	-	+
24.09.2020	02.00	3,3	2,6	30	4	тыл циклона	+	-	+	+
01.10.2020	02.00	7,4	7,0	190	3	фронт окклюзии	+	-	+	+
01.10.2020	03.00	7,8	7,4	200	3	фронт окклюзии	+	-	+	+
12.10.2020	03.00	3,2	2,8	200	4	фронт окклюзии	-	-	+	+
12.10.2020	04.00	4,0	3,6	230	3	фронт окклюзии	-	-	+	+
13.10.2020	00.00	5,0	4,6	310	2	барич.гребень	+	-	+	+
13.10.2020	01.00	4,5	4,1	270	3	барич.гребень	+	-	+	+
13.10.2020	02.00	4,3	3,9	250	3	барич.гребень	+	+	+	+
13.10.2020	03.00	4,7	4,3	240	2	барич.гребень	+	+	+	+
13.10.2020	04.00	4,8	4,0	210	2	барич.гребень	+	+	+	+
13.10.2020	05.00	4,9	4,5	200	3	барич.гребень	-	+	+	+
13.10.2020	06.00	5,3	4,9	230	3	барич.гребень	-	+	+	+
30.10.2020	11.00	-0,3	-0,9	190	3	нет карты (тёплый фронт)	-	-	+	+

продолжение Таблица 1. Исходные данные.

30.10.2020	15.00	0,0	-0,3	210	4	нет карты (тёпл.сектор)	-	-	+	+
30.10.2020	16.00	0,3	-0,1	190	4	нет карты (тёпл.сектор)	-	-	+	+
07.11.2020	10.00	1,3	0,7	180	3	нет карты (тёплый фронт)	-	-	+	+
07.11.2020	11.00	1,6	1,2	170	4	нет карты (тёплый фронт)	-	-	+	+
27.11.2020	21.00	-13,4	-15,1	10	1	барич.гребень	-	-	-	-
28.11.2020	03.00	-14,7	-16,7	50	1	барич.гребень	-	-	-	+
04.12.2020	15.00	-10,6	-11,9	210	4	фронт окклюзии	+	-	-	+
06.02.2021	15.00	-1,8	-2,5	170	5	тёпл.фронт	-	-	+	+
06.02.2021	16.00	-1,4	-2,1	170	5	тёпл.фронт	-	+	+	+
25.03.2021	00.00	-10,4	-12,1	200	2	барич.гребень	-	+	+	+
27.03.2021	00.00	-2,5	-3,3	0	0	малогр.поле пониж.давлен.	-	+	+	+
27.03.2021	02.00	-4,8	-5,9	80	2	малогр.поле пониж.давлен.	-	+	+	+
06.04.2021	17.00	0,5	-0,2	280	1	центр циклона	+	+	+	-
10.04.2021	21.00	-0,5	-1,1	330	1	барич.гребень	+	+	+	+
11.04.2021	00.00	-1,8	-2,5	60	3	барич.гребень	+	+	+	+
11.04.2021	01.00	-1,9	-2,6	80	2	барич.гребень	+	+	+	+
11.04.2021	02.00	-1,4	-2,1	100	3	барич.гребень	+	+	+	+
11.04.2021	03.00	-0,7	-1,4	120	3	барич.гребень	+	+	+	+
11.04.2021	21.00	2,6	2,0	240	4	тёпл.фронт	-	-	+	+
29.04.2021	21.00	1,4	0,8	290	2	центр циклона	+	+	+	-
05.08.2021	01.00	15,0	14,2	330	1	малогр.поле повыш.давлен.	+	+	+	+
05.08.2021	21.00	13,0	12,4	340	2	малогр.поле повыш.давлен.	+	-	-	+
06.08.2021	21.00	15,6	14,8	40	2	малогр.поле пониж.давлен.	+	-	-	+
07.08.2021	00.00	16,5	15,9	60	4	малогр.поле пониж.давлен.в тёпл.секторе	+	-	-	+
07.08.2021	01.00	16,4	15,8	60	3	малогр.поле пониж.давлен.в тёпл.секторе	+	-	-	+
07.08.2021	02.00	16,4	15,8	100	2	малогр.поле пониж.давлен.в тёпл.секторе	+	-	-	+
07.08.2021	03.00	16,9	16,3	80	2	малогр.поле пониж.давлен.в тёпл.секторе	+	-	-	+

продолжение Таблица 1. Исходные данные.

07.08.2021	21.00	16,0	15,2	0	0	малогр.поле пониж.давлен.в тёпл.секторе	+	-	-	+
08.08.2021	00.00	16,6	16,0	20	1	малогр.поле пониж.давлен.в тёпл.секторе	+	+	-	+
08.08.2021	01.00	16,4	15,8	350	1	малогр.поле пониж.давлен.в тёпл.секторе	+	+	-	+
08.08.2021	02.00	16,9	16,3	30	3	малогр.поле пониж.давлен.в тёпл.секторе	+	-	-	+
08.08.2021	03.00	17,2	16,5	30	2	малогр.поле пониж.давлен.в тёпл.секторе	+	-	-	+
08.08.2021	04.00	17,6	17,0	10	2	малогр.поле пониж.давлен.в тёпл.секторе	+	-	-	+
08.08.2021	21.00	15,8	14,9	330	3	малогр.поле пониж.давлен.в тёпл.секторе	+	-	-	+
07.09.2021	18.00	6,5	5,8	160	1	фронт окклюзии	+	-	+	+
08.09.2021	00.00	3,8	3,1	140	2	малогр.поле повыш.давлен.	+	+	+	-
08.09.2021	01.00	3,8	3,2	180	3	малогр.поле повыш.давлен.	+	+	+	-
08.09.2021	02.00	4,4	3,8	190	3	малогр.поле повыш.давлен.	+	+	+	-
08.09.2021	03.00	5,5	4,9	190	3	малогр.поле повыш.давлен.	+	+	+	-
09.09.2021	01.00	0,1	-0,6	300	1	малогр.поле повыш.давлен.	+	-	-	+
10.09.2021	00.00	-0,1	-0,8	170	2	барич.гребень	+	-	-	-
13.10.2021	18.00	0,8	0,1	210	4	тёпл.фронт	-	+	+	+
13.10.2021	21.00	0,7	0,0	230	4	тёпл.фронт	-	+	+	+
14.10.2021	00.00	1,0	0,3	210	3	тёпл.сектор	-	+	+	+
14.10.2021	01.00	1,2	0,5	210	4	тёпл.сектор	-	+	+	+
14.10.2021	02.00	0,6	-0,1	200	4	тёпл.сектор	-	+	+	+
14.10.2021	03.00	0,4	-0,4	210	5	тёпл.сектор	-	+	+	+
14.10.2021	04.00	0,3	-0,4	200	4	тёпл.сектор	-	+	+	+
14.10.2021	05.00	0,1	-0,6	190	5	тёпл.сектор	-	+	+	+
14.10.2021	06.00	0,6	-0,2	210	5	тёпл.сектор	-	+	+	+
14.10.2021	07.00	1,1	0,4	190	5	тёпл.сектор	-	+	-	+
14.10.2021	08.00	1,6	0,6	180	5	тёпл.сектор	-	+	-	+
22.10.2021	02.00	1,3	0,6	70	1	центр циклона	+	+	+	+
22.10.2021	03.00	1,3	0,6	160	2	центр циклона	+	+	+	+

