



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 «Эталонные поля давления туманов в районе акватории Печорского моря»

Исполнитель Топорикова Евгения Николаевна

(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)

«25» мая 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
СОКРАЩЕНИЯ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. Метеорологическое явление туман	7
1.1 Общая характеристика	7
1.2 Виды туманов	8
2. Акватория Печорского моря.....	12
2.1 Физико – географическая характеристика исследуемого района.....	12
2.2 Природные условия.....	13
2.3 Гидрологические условия	14
2.4 Гидрохимический режим	16
2.5 Пункты для исследования.....	17
3. Прогноз погоды	18
3.1 Виды прогноза погоды	18
3.2 Долгосрочное прогнозирование хода элементов погоды	19
3.3 Метод эталонных полей в долгосрочном прогнозировании	20
4. Нахождение эталонных полей давления в Печорском море.....	24
4.1 Сбор данных	24
4.2 Выявление эталонных полей	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	50

СОКРАЩЕНИЯ

км – километр

м – метр

мм – миллиметр

UTC - Coordinated Universal Time (Всемирное координированное время)

°С – градус Цельсия

м/с – метр в секунду

ВВЕДЕНИЕ

Современные прогнозы погоды основаны на математическом решении уравнений гидродинамики атмосферы. Оправдываемость и само прогнозирование атмосферных процессов в целом всё ещё не до конца удовлетворяет запросам различных потребителей метеоинформации. Вследствие этого развитие прогностических методов и разработка новых является актуальной задачей в современном мире.

В данной работе исследуются эталонные поля давления, при которых наблюдаются туманы. В качестве изучаемой местности было принято решение выбрать акваторию Печорского моря, поскольку прогноз туманов в мало освоенных с метеорологической точки зрения районах является очень важной задачей для обеспечения жизнедеятельности различных сфер. Как известно, на станциях принято делать так называемый «альбом аналогов», то есть разбор синоптических ситуаций, для которых характерно то или иное явление. Обычно отбором таких типовых полей синоптик или группа прогнозистов занимается вручную, в данном же исследовании аналогичная задача решалась численно.

Данное исследование особенно актуально в арктическом регионе. Это связано с повышением интереса в конце XX - начале XXI века к Арктике в целом и в связи с заметными изменениями в климатической системе. Результаты будут интересны и полезны для метеорологического сопровождения разработок нефтяных месторождений (например, МЛСП «Приразломная».)

Целью работы является выявление закономерности между полями атмосферного давления у земли и туманами. Рассматривается период времени с 2019 по 2021 год для метеостанций Варандей, Амдерма, Нарьян – Мар. Результирующие данные обработаны и визуализированы с помощью Open GrADS.

Таким образом, *объектом исследования* является прогноз туманов в акватории Печорского моря. А *предметом исследования* является прогноз с использованием модели «эталонных полей».

Данные, используемые в работе:

1. Архив метеорологических данных, представленный на сайте pr5.ru;
2. Поля реанализа приземного атмосферного давления ERA 5 с разрешением $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.

Задачи работы:

- Отобрать по архивным данным случаи с туманом и случаи с его отсутствием для Варандея, Амдермы, Нарьян-Мара;
- Скачать для выбранных случаев реанализ высокого разрешения. С помощью Climate Data Operator (CDO) преобразовать их для дальнейшей работы;
- Численно определить подобие выбранных полей;
- Выявить эталонные поля давления для случаев с туманом и без тумана для Варандея, Амдермы, Нарьян-Мара.

Выпускная квалификационная работа состоит из 4 глав.

В первой главе представлена основная информация о туманах. Рассматривается их общая характеристика и виды.

Во второй главе рассматриваются акватория Печорского моря, физико – географическая характеристика территории, её природные условия, гидрологические условия и гидрохимический режим данного исследуемого района, а также метеорологическая характеристика пунктов, взятых для данного исследования.

В третьей главе данной работы представлена информация о прогнозе погоды, о важности долгосрочного прогнозирования погоды, а также описан принцип формирования рабочих выборок и математическая модель эталонных полей давления.

В четвёртой главе описаны все этапы исследования, а именно, первоначальные данные, их преобразование с помощью программ в карты и анализ полученных результатов.

В заключении приведены выводы по проведённому исследованию.

1. Метеорологическое явление туман

1.1 Общая характеристика

Туман – это сложное метеорологическое явление, имеющее отношение как к физике атмосферы, так и к химии. Это метеорологическое явление представляет собой помутнение воздуха, вызванное скоплением продуктов конденсации, при котором видимость составляет менее 1 км [6]. На появление тумана влияет множество факторов, таких например как осадки, конденсация водяного пара и т.д. Туман можно генерировать искусственным путём для проведения исследований, в хозяйственных областях и т.д. Туман состоит из взвешенных капель воды либо кристаллов льда в воздушном пространстве [10]. Капли тумана обладают радиусом от 1 до 60 мкм, для большинства капель присущи размер от 2 до 15 мкм. Туман играет большую роль в определении дальности видимости, это явление уменьшает показатели дальности видимости до менее 1 км. Если значение видимости варьируется от 1 до 10 км, то данное явление носит название дымка. Дымка может быть умеренной и слабой, в первом случае её видимость составляет 1 – 2 км, во втором случае 2 – 10 км. Одной из основных характеристик тумана является водность. Водность представляет собой величину твёрдой или жидкой воды, которое находится в одном кубическом метре, данную водность называют абсолютной. Так же различают удельную водность, она характеризуется массой капель воды и кристаллов льда в 1 г воздуха.

Чаще всего туманы наблюдаются в Атлантическом океане. На территории России туманы чаще всего наблюдаются на Дальнем Востоке. В некоторые годы количество дней в году с туманами может достигать примерно 170. На Кольском полуострове зафиксировано больше всего случаев с туманом, количество дней в году с туманами доходит до значения 280. Если же говорить об акватории Печорского моря, то туманы здесь чаще всего встречаются с мая

по октябрь, они трудно прогнозируемы, так как из-за малой метеорологической освещенности территории качество гидродинамического прогноза видимости, облачности и осадков уступает тому, что дается для территории Европы, где станций достаточно. Если же говорить о синоптическом прогнозе, то здесь также велика вероятность, что туман как локальное явление пройдет мимо достаточно редкой сети станций и не попадет на карту. В связи с этим альбом «аналогов» или типовых ситуаций для территории акватории Печорского моря был бы весьма полезен.

1.2 Виды туманов

Туманы принято подразделять на *3 вида*:

- Туман
- Позёмный туман
- Просвечивающий туман

Собственно туман представляет из себя сплошную среду, на уровне двух метров горизонтальная видимость меньше 1000 м. В большинстве случаев отмечается утром, вечером и ночью.

Позёмный туман характеризуется низкой расположенностью к земной поверхности, поэтому в самой толще тумана горизонтальная видимость также меньше 1000 м, но с увеличением высоты значение горизонтальной видимости увеличивается и на уровне двух метров становится больше 1000 м. Чаще всего его появление фиксируют утром, вечером и ночью.

Просвечивающий туман отличается тем, что он достаточно слабо развит по вертикальной оси. Горизонтальная видимость на высоте двух метров ниже 1000 м. Также наблюдается в утреннее, вечернее и ночное время.

По своей интенсивности туманы классифицируют на [3]:

- Очень сильные
- Сильные

- Умеренные
- Слабые

Все эти виды отличаются видимостью. Для первого вида видимость составляет менее 50 м. Для второго вида видимость увеличивается до 50 – 200 м. Видимость для третьего вида варьируется в диапазоне от 200 до 500 м. И для четвертого вида видимость составляет от 500 до 1000 м.

По способу возникновения туманы подразделяют на:

- Туманы охлаждения
- Туманы испарения

Туманы охлаждения формируются тогда, когда значение температуры воздуха становится меньше точки росы. Причём рассматривается температура, расположенная достаточно близко к земной поверхности.

Туманы испарения возникают при условии, если температура водной поверхности больше (более чем на 10°C) температуры прилегающего воздуха. Эти туманы распространяются и на прибрежную зону примерно на 10 – 20 км. Чаще всего туманы испарения фиксируются за холодным атмосферным фронтом.

По синоптическим условиям образования туманы можно разделить на две категории:

- Внутримассовые
- Фронтальные

Внутримассовые туманы образуются внутри воздушной массы, они возникают, минуя фронтальные процессы. Фронтальные туманы – туманы, зависящие от атмосферных фронтов, то есть образуются рядом с ними. На перемещение фронтальных туманов влияет перемещение фронтов. Как правило, они достаточно интенсивные, но их продолжительность невелика.

Внутримассовые туманы делят на:

- Радиационные
- Адвективные

Радиационные туманы – это такие туманы, которые образуются, когда земная поверхность охлаждается и вследствие этого температура приземного слоя воздуха понижается до температуры насыщения. В большей степени такой вид туманов появляется в ночное время, когда отсутствует солнечное излучение, а тепло земли и воздушного пространства уменьшается. Высокая относительная влажность является благоприятным условием для образования радиационных туманов. Чем выше относительная влажность воздуха, тем туману образовываться гораздо легче. Также на образование тумана влияет ясность неба. Принято считать, что для образования тумана благоприятна безоблачность или облачность верхнего яруса. Облачность нижнего и среднего яруса влияют на эффективное излучение земли, тем самым уменьшая её охлаждение. По большей части, радиационные туманы наблюдаются в антициклонах. В большинстве случаев, ближе к утру радиационный туман рассеивается. Одной из форм радиационного тумана является смог. Смог – это явление, при котором наблюдается высокая степень загрязнения воздуха вредными веществами, образованными антропогенными источниками (промышленность, транспорт, различными установками и т.д.).

Адвективные туманы – туманы, образующиеся при перемещении теплого воздуха над холодной поверхностью. Если сравнить с радиационным туманом, то данный вид тумана ветра составляет приблизительно 4 -8 м/с, но в некоторых случаях данные значения появляются при более больших скоростях ветра у поверхности земли. В среднем скорость могут достигать 15 м/с. Как правило, адвективный туман рождается в западной части антициклона, в восточной части и теплом секторе циклона, именно тут градиент давления обладает достаточным значением для адвекции влажного теплого воздуха. Туман развивается в зимний период если воздух смещается с океана на

материк. В летний период туман зарождается если воздушная масса смещается с материка на океан.

2. Акватория Печорского моря

2.1 Физико – географическая характеристика исследуемого района

Печорское море расположено в юго – восточной части Баренцева моря (рисунок 2.1) [8]. В широтном направлении размеры Печорского моря составляют приблизительно 300 км, а в меридиональном около 180 км. Площадь акватории равна приблизительно 31000 км², объем водного пространства около 4 300 км³.

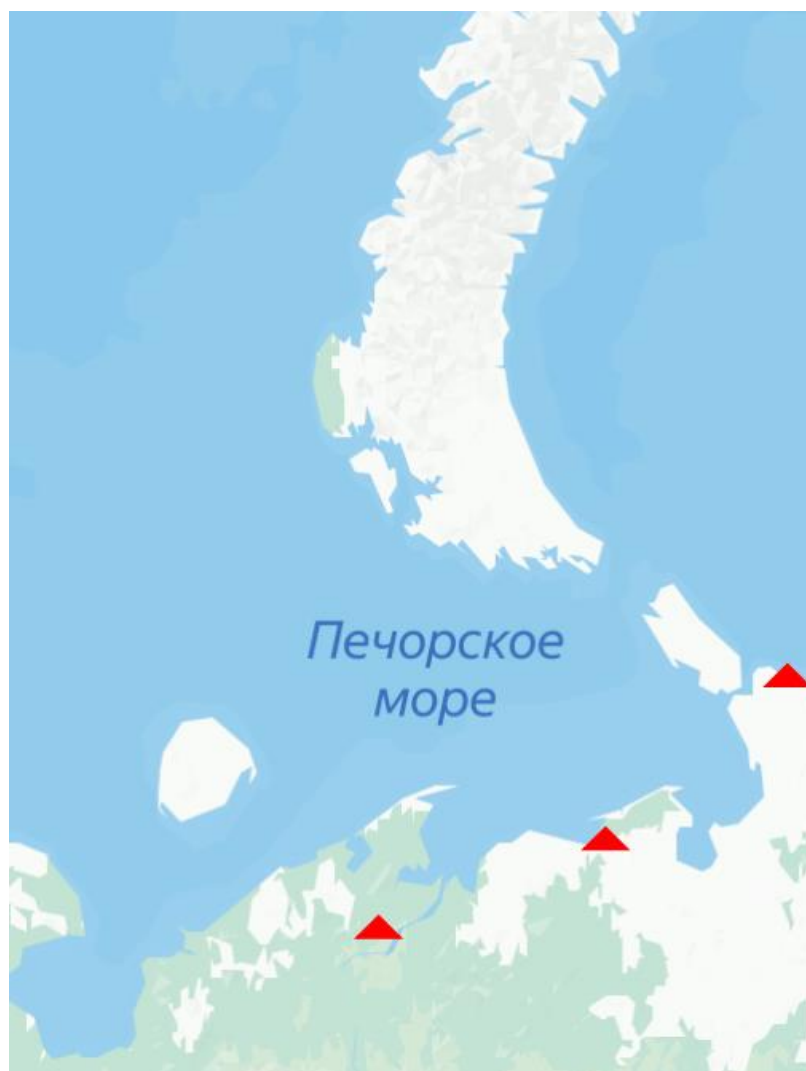


Рисунок 2.1 – Карта акватории Печорского моря
(с указанием выбранных пунктов) [13]

Поверхностные слои нагреваются в основном в августе, а глубинные слои в сентябре – октябре. Через Печорское море располагаются ветви тёплого Колгуево-Печорского течения, холодного течения Литке и стоковых Беломорского и Печорского течений.

Печорское море относительно мелководное, средняя глубина составляет 6 метров. Глубина увеличивается медленно от низменных берегов. Около архипелага Новая Земля располагается самый глубоководный желоб, длина которого примерно 150 метров. Печорское море располагается за Полярным кругом между островами Вайгач и Колгуев [4]. Границы моря проходят по мысу Костин Нос, относящегося к архипелагу Новая Земля (восточное побережья Колгуева), поворачивая к мысу Святой Нос (восточная часть Тиманского побережья), к Югорскому полуострову и Вайгачу. Над данной территорией наблюдается полярная ночь, которая длится 4 месяца с ноября по январь. Замерзание воды начинается в октябре, максимальный уровень замерзания зафиксирован в апреле, а ближе к июню – июлю происходит таяние льда. Но не всё море покрывается льдом, так, например, западная территория Печорского моря не замерзает.

2.2 Природные условия

На природно – климатические условия всего Баренцева моря, следовательно, и Печорского моря влияет высокоширотное положение данных территорий. Большое влияние также оказывают воздушные массы, надвигающиеся из умеренных широт. Особую роль играет отепляющее влияние Северной Атлантики.

Наибольшая температура воздуха наблюдается в летние месяцы, её значения составляют $+30 - +32^{\circ}\text{C}$, наименьшая температура равна $-42 - -43^{\circ}\text{C}$ [5]. В зимнее время температура над водной поверхностью превышает значения температур над сушей. В целом термический режим Печорского моря

в большей степени зависит от рассматриваемого сезона и циркуляционных процессов над морем.

Влажность воздуха почти постоянна. На протяжении всего года значения влажности сильно не изменяются. Над всеми частями моря влажность также имеет довольно слабую изменчивость. Среднемесячные значения колеблются в диапазоне значений от 83% до 89%. Осадки различаются по времени года. В тёплый сезон наблюдается дождь, в холодный сезон снег, в другие месяца зафиксированы смешанные осадки.

В прибрежной территории скорость ветра может достигать значений 35 – 40 м/с. Самые сильные порывы ветра наблюдаются в зимний период и достигают значений более 40 м/с. В среднем наибольшая скорость ветра регистрируется в ноябре и декабре, наименьшая в летний месяц – август.

Печорское море находится в юго – восточной части Баренцева моря. Есть несколько рек, впадающих в Печорское море, но самой ширококомасштабной является Печора. В пределах акватории имеется несколько губ: Печорская, Хайпудырская, Болванская, Паханчская, Колоколкова, Раменка. В южной и юго – восточной части Печорского моря глубина менее 50 метров. К северу идёт плавное понижение уровня глубины. Благодаря неглубокому дну создаются все условия для хорошей перемешиваемости вод, а также обогащение водного пространства кислородом и биогенными элементами. Печорское море расположено в пределах Полярного бассейна. По этой причине для данного моря присущи арктические виды флоры и фауны.

2.3 Гидрологические условия

В середине – конце лета температура поверхностного слоя воды увеличивается. Наибольшие температурные значения водной поверхности составляют 8-9°C. Однако были зафиксированы случаи, когда температура приравнивалась к 15°C. В некоторых местах таких как Печорской губе или в других мелководных местах максимальная температура может быть до 22-23°C.

В зимние месяцы температура Печорского моря варьируется от $-1,8^{\circ}\text{C}$ до 0°C , в весенние от 0°C до 4°C , в летние от 5°C до 8°C и в осенние – от 2°C до 4°C .

Существует несколько параметров, которые определяют ледовый режим моря. К таким параметрам относят географическое положение территории, речной сток, ледообмен с соседними морями, характер атмосферных процессов в осенне-зимний период и т.д. Лёд Печорского моря подразделяют на два вида: тонкий и толстый. К тонкому льду относят лед толщиной 30-70 см, к толстому льду 120-200 см. Тонкий лёд в основном зафиксирован в декабре-апреле. Толстый лёд наблюдается в марте в основном в северной части моря. Отступление толстого льда на восток происходит в конце июня – начале июля. В конце зимы начинает наблюдаться торосистость льда моря. Своего максимума она достигает в апреле (4-5 баллов). Высота торосов варьируется от 144 до 185 см, иногда может иметь значения 12-13 м. Торосистость особенно заметна на юге-востоке Печорского моря. В связи с потеплением торосистость уменьшается.

В Печорском море имеется три больших мелководных залива: Чёшская губа, Печорская губа, Хайпудырская губа, а также несколько небольших бухт. Побережье сложено в основном молодыми ледниковыми, водно-ледниковыми и морскими рыхлыми отложениями. Исключение составляют выходы коренных пород на мысах Канин Нос, Микулкин и др. Здесь распространены типичные абразионные берега с незначительной скоростью размыва (до 0,4 м/год). Восточнее полуострова Канин берега преимущественно низкие и слабо изрезанные. Береговая полоса восточной части Печорского моря представляет собой пологую тундру с вечной мерзлотой. Многочисленные дельты рек являются важным элементом, формирующим обширные песчаные банки, быстро меняющие своё местоположение и форму. Зону тундры и акваторию моря разделяют либо крупные аккумулятивные береговые формы (косы, бары, пересыпи), среди которых выделяются острова Варандей, Песяков, Гуляевские Кошки, либо промежуточная зона (лайда), иногда достигающая ширины нескольких километров, периодически затапливаемая во время приливов или

нагонов. Прибрежье представлено мелководным морем с эстуариями и солоноватой водой, глубины составляют менее 50 м, многочисленны отмели с глубинами 2–3 м. Разновидности аккумулятивных берегов (пляжевые, лагунные, дельтовые и осушные) в пределах моря развиты очень широко. Формы поперечного перемещения наносов представлены в основном барами и пересыпями (блокирующими устья рек либо мелководные заливы) на побережьях, сложенных рыхлыми или легкоразмываемыми породами. Своеобразным и характерным для побережий Печорского моря является сочетание протяжённых песчаных аккумулятивных береговых форм (о-ва Варандей, Песяков, Гуляевские Кошки, Колгуев). Берега на Новой Земле преимущественно обрывистые, скалистые. Остров Вайгач представляет собой невысокую равнину, которая почти по всему побережью обрывается к морю абразионным уступом высотой до 50 м. У побережья о. Вайгач имеются переймы (в том числе и двойные), соединяющие отдельные островки между собой или с основным берегом.

2.4 Гидрохимический режим

Гидрохимический режим рассматриваемого района Печорского моря существенно отличается от такового для основной части вод Баренцева моря. Здесь значительно ослаблено влияние атлантических вод, а влияние вод Карского и Белого морей повышено.

Наблюдаемые в рамках экологического мониторинга значения водородного показателя соответствовали естественному уровню рН морской воды для соответствующего периода наблюдений. Содержание биогенных элементов, определённых в районе платформы «Приразломная», во все периоды проведения измерений соответствовало естественному природному фону и не превышало предельно допустимых концентраций.

2.5 Пункты для исследования

Варандей - населённый пункт, расположенный на территории Ненецкого автономного округа в заполярном районе. В этом посёлке расположена перевалочная база платформы «Приразломная». Эта база предназначена для доставки рабочего персонала и грузов на платформу. В двух десятках километров от порта Варандей расположен нефтяной терминал «Варандей». Он является стационарным морским ледостойким отгрузочным причалом. Специалисты морского пароходства проложили по дну моря дюкер, по которому передвигается нефть. Работа терминала ведётся круглогодично. В зимний период из-за проблем с погодными условиями на водной поверхности привлекают в работу ледокольные суда.

Амдерма - посёлок, расположенный на побережье Карского моря в арктическом Заполярье. Зимний период достаточно мягкий из-за влияния Карского моря и атлантических воздушных масс, но всё же иногда минимальные температурные показатели достигают значение -40°C . Летний период достаточно прохладный, средняя температура составляет примерно $5-7^{\circ}\text{C}$. За год выпадает приблизительно 320-330 мм осадков.

Нарьян - Мар - город Ненецкого автономного округа, расположенный в низовьях реки Печоры. Для данного города присущ субарктический климат. В зимнее время средняя температура воздуха варьируется приблизительно от -16 до -18°C . По времени зима достаточно продолжительная. В летнее время средняя температура составляет приблизительно $8-14^{\circ}\text{C}$. Лето проходит достаточно быстро, без особо резких возрастаний температур. Но иногда резкое влияние на температуру могут оказать воздушные массы, идущие из степей Казахстана. Норма осадков за год в Нарьян - Маре равна 456 мм.

3. Прогноз погоды

3.1 Виды прогноза погоды

Атмосфера всегда находится в постоянном движении. Она участвует во многих процессах изменения климата и в изменении Земли в целом. Для численной характеристики состояния атмосферы используют термин метеорологическая величина. К метеорологическим величинам относятся: температура, направление и скорость ветра, давление, влажность воздуха, интенсивность и вид осадков, параметры облачности. Все эти метеорологические элементы образуют различные атмосферные явления: туман, грозу, осадки, обледенение и т.д. Прогноз этих явлений является важной проблемой в современном мире.

Изменчивость погодных условий в большей мере зависит от относительного расположения зон повышенного и пониженного давления воздуха. Изменение давления несёт за собой изменение других метеопараметров (скорости ветра, температуры и т.д.). То есть смена погоды в большинстве случаев зависит от барического поля территории, на которой проводится исследование.

Одним из оснований деления прогноза погоды на виды служит время действия. Прогноз погоды принято разделять на (рисунок 3.1):

- сверхкраткосрочный прогноз;
- краткосрочный прогноз;
- среднесрочный прогноз;
- долгосрочный прогноз;
- сверхдолгосрочный.

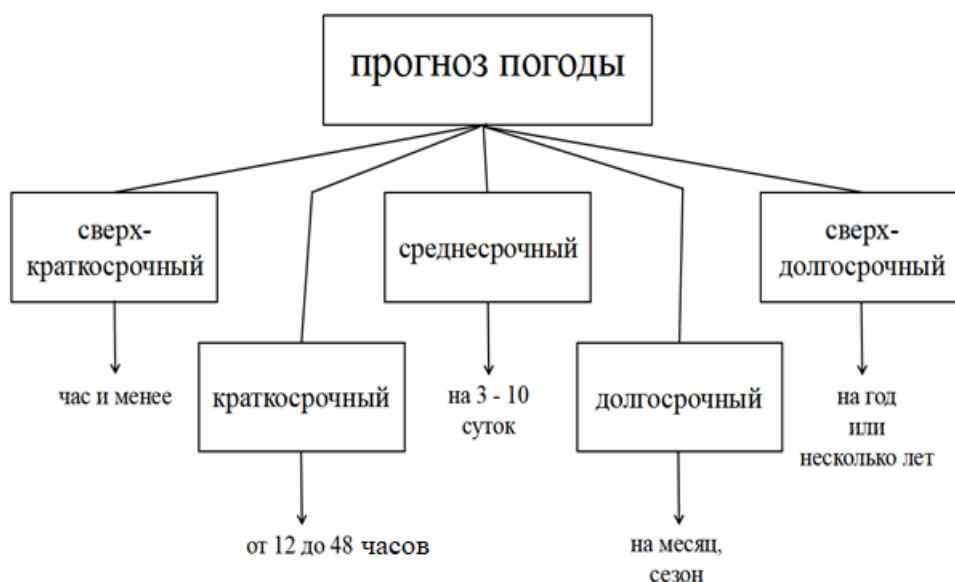


Рисунок 3.1 – Виды прогноза погоды

3.2 Долгосрочное прогнозирование хода элементов погоды

Разработка способов долгосрочного прогнозирования погоды является одной из значимых проблем не только метеорологии, но и научной деятельности в целом. С конца XIX – начала XX века проводились различные работы по формированию методов долгосрочного прогноза погоды [2].

Численные методы более точно дают прогноз погоды на срок 5 – 10 дней. Проблема состоит в том, что для численных моделей возможность прогнозирования различных атмосферных явлений ограничена примерно в 10 – 14 дней [11]. Именно поэтому исследование методов прогноза метеовеличин с заблаговременностью выше этого промежутка времени служит актуальной и современной задачей. При долгосрочном прогнозировании как гидродинамический, так и синоптический методы прогноза дают приблизительно одинаковую успешность. Главной проблемой таких прогнозов является сложность предсказуемости атмосферных явлений. Именно поэтому долгосрочный прогноз погоды хода метеорологических элементов сейчас зачастую разрабатывается с учетом как ансамблевого (гидродинамического прогноза), так и синоптического (основанного на принципах аналогичности).

Консолидированного подхода при разработке долгосрочного прогноза пока нет, как нет и утвержденной методики его оценки. Так, например, одни строят ансамблевый прогноз, манипулируя начальными данными, другие же считают, что ансамблевый прогноз должен быть мультимодельным, кто-то выбирает среднее по ансамблю, другие же выбирают тут группу ансамбля, которая на протяжении последних двух месяцев показывала большее совпадение с текущим годом. Часть ученых использует только синоптический, часть только ансамблевый подход, другие же строят прогноз, комбинируя поля, полученные и тем, и иным способом.

В настоящее время высказываются мнения, что определенный успех в долгосрочном прогнозировании может быть достигнут при комбинированном подходе: то есть сначала должна выбираться Суть метода аналогов можно сформулировать так: синоптический процесс, который идентичен синоптическому процессу, наблюдавшемуся в более раннее время на той же территориальной местности в данный период времени, будет развиваться на протяжении некоторого периода подобно первому процессу.

3.3 Метод эталонных полей в долгосрочном прогнозировании

С помощью изучения общей циркуляции атмосферы, значительных движений воздушных течений была выработана методика долгосрочного прогноза профессором, доктором физико – математических наук В.Ф. Мартазиновой. В методике используются основы синоптико – статистической модели. Данная разработка является достаточно простой и понятной, при этом она учитывает многие детали, конкретизация которых играет большую роль в получении точного результата. Благодаря методу «эталонных» можно определить наиболее возможное метеорологическое явление.

Эталонным полем называется одно из фактических полей выборки, которое ближе по расстоянию ко всем остальным полям класса и поэтому

наиболее информативно описывает все поля, входящие в нее. Выборка полей давления представляется в виде [13]:

$$X = X(z) = (X_1, X_2, \dots, X_k), 1 < z < k \quad (3.1)$$

где

k – число выбранных полей, равное удвоенному количеству отобранных за указанный период дней с туманами;

$X(k)$ – конкретное поле из архива, представленное в виде матрицы

$$X(k) = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

где

x_{ij} – значение давления в узле регулярной сетки;

i – число параллелей, $i = 1, m$;

j – число меридианов, $j = 1, n$

Тем самым, на данном шаге определены выборки полей давления для всех периодов, в каждом из которых далее находилось «эталонное» поле.

Следующим пунктом взятой методики составления долгосрочного прогноза погоды является установление «эталонного поля».

Эталонные поля давления – это такие определённые поля, которые характеризуются наивысшим подобием с другими полями в данном множестве [12]. Это поле находится ближе всего к другим полям и, именно, оно лучше всего отображает остальные поля.

Расчёты эталонных полей проводятся по формуле:

$$C_{i,p} = \frac{1}{q} \sqrt{\sum_{j=1}^q (x_{ij} - x_{pj})^2}, i, p = 1, k, q = 9801 \quad (3.3)$$

где

- $C_{i,p}$ – параметр близости (удалённости) между i -м и p -м барическими полями;
- $x_{i,j}, x_{p,j}$ – давление в узлах регулярной сетки сравниваемых полей;
- k – число выбранных полей;
- q – число узлов регулярной сетки

Подобие -го поля со всеми остальными находится по формуле:

$$S_i = \frac{1}{k} \sum_{p=1}^k C_{i,p} \quad (3.4)$$

Наименьшее значение S_i означает, что -е поле лучше всего описывает все p -поля. Именно по этому показателю можно сказать, что поле будет являться эталонным для других.

Таким образом, полученные значения $C_{i,p}$ и S_i позволяют выявить эталонные поля давления.

Описанным способом могут находиться эталонные поля для любого метеорологического явления, будь то туман, грозы или же, например, дни резких перепадов температур (10°C и более) и выпадения экстремальных осадков (более 5 мм/сутки).

Кроме того, эталонные поля давления могут быть полезны при поиске года-аналога (в долгосрочных прогнозах применяется принцип аналогичности, то есть из групп лет подбираются те, процессы развития макроциркуляционных процессов в которых были аналогичны текущему году). При определении года-

аналога по методу аналогов может быть применен принцип «плавающего» аналога. В отличие от традиционного, требующего совпадения процессов на одной и той же территории в одни и те же календарные сроки, принцип «плавающего» аналога допускает географическое несовпадение фигур ПВФЗ или распределения знака барического поля текущего и аналогового полей. Обычно аналоговые поля ищутся в интервале двух месяцев назад от исходного месяца. В основу этого принципа положен принцип двухмесячной квазипериодичности атмосферных процессов. При этом аналоги подбираются на расстоянии $\pm 15^\circ$ по меридиану и $\pm 60^\circ$ по кругу широты. Определенные аналоговые поля могут быть предикторами для прогноза того или иного явления.

4. Нахождение эталонных полей давления в Печорском море

4.1 Сбор данных

Для анализа проверены данные с сайта gr5.ru о возникновении тумана за 2019 – 2021 год [1]. За выбранный период в Варандее зафиксировано 113 случаев с туманом (таблица 4.1), в Амдерме 136 (таблица 4.2), в Нарьян – Маре 62 (таблица 4.3). Такое же количество было выбрано для дней без тумана, то есть для Варандея 113, для Амдермы 136, для Нарьян – Мара 62. Использовались поля реанализа атмосферного давления ERA5 с разрешением $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.

Таблица 4.1 – Даты образования тумана для Варандея

Местное время	T	P ₀	P	WW
14.12.2020 21:00		767,1	767,8	туман
08.12.2020 12:00	-3,6	764,5	765,1	туман
07.11.2020 12:00	-0,1	743,2	743,8	туман
06.11.2020 12:00	-0,2	744,7	745,3	туман
04.11.2020 09:00	1,1	744,7	745,3	туман
24.10.2020 18:00	-10,5	756,7	757,3	туман
20.10.2020 06:00	-4,6	752,0	752,7	туман
19.10.2020 15:00	-4,6	753,5	754,2	туман
11.10.2020 03:00	6,8	757,0	757,6	туман
10.10.2020 18:00	5,6	758,9	759,5	туман
10.10.2020 03:00	5,7	760,3	760,9	туман
09.10.2020 21:00	5,9	761,4	762,0	туман
08.10.2020 21:00	1,5	762,8	763,5	туман

Продолжение таблицы 4.1

Местное время	T	P ₀	P	WW
01.10.2020 15:00	9,5	764,4	765,0	туман
30.09.2020 18:00	6,8	768,0	768,7	туман
29.09.2020 12:00	7,4	765,3	765,9	туман
25.09.2020 09:00	6,2	762,1	762,7	туман
08.09.2020 03:00	9,9	758,0	758,6	туман
27.08.2020 03:00	9,3	754,8	755,4	туман
26.08.2020 21:00	12,0	755,1	755,7	туман
26.08.2020 15:00	11,3	754,0	754,6	туман
26.08.2020 06:00	12,2	751,4	752,0	туман
25.08.2020 21:00	12,5	749,5	750,1	туман
20.08.2020 06:00	10,5	755,2	755,8	туман
19.08.2020 18:00	11,6	754,3	754,9	туман
01.08.2020 06:00	11,2	752,2	752,8	туман
26.07.2020 09:00	11,3	766,9	767,5	туман
04.07.2020 15:00	15,6	757,3	757,9	туман
08.06.2020 09:00	11,2	761,3	761,9	туман
07.06.2020 15:00	9,6	761,5	762,1	туман
07.06.2020 09:00	11,9	759,6	760,2	туман
22.05.2020 03:00	3,0	760,0	760,6	туман
21.05.2020 03:00	2,2	750,4	751,0	туман
18.05.2020 09:00	1,5	754,9	755,5	туман
17.05.2020 03:00	0,3	754,2	754,8	туман
11.05.2020 21:00	-1,4	756,0	756,6	туман
10.05.2020 00:00	-0,9	760,0	760,7	туман
09.05.2020 06:00	-1,3	757,9	758,6	туман
08.05.2020 03:00	0,7	746,8	747,4	туман

Продолжение таблицы 4.1

Местное время	T	P ₀	P	WW
07.05.2020 18:00	1,4	749,6	750,2	туман
05.05.2020 21:00	0,3	755,9	756,5	туман
05.05.2020 03:00	0,6	754,6	755,2	туман
04.05.2020 00:00	-7,4	764,8	765,5	туман
02.05.2020 00:00	-9,0	757,6	758,2	туман
23.04.2020 00:00	-8,6	746,7	747,4	туман
22.04.2020 03:00	-6,4	752,9	753,6	туман
19.04.2020 21:00	-3,0	755,5	756,1	туман
19.04.2020 12:00	-2,3	752,8	753,4	туман
18.04.2020 21:00	-2,1	752,5	753,1	туман
18.03.2020 21:00	-9,8	744,9	745,6	туман
28.12.2019 12:00	-17,8	767,8	768,5	туман
20.12.2019 12:00	-9,8	754,4	755,1	туман
18.12.2019 06:00	-6,3	756,7	757,4	туман
16.12.2019 00:00	-1,6	762,9	763,6	туман
13.12.2019 09:00	-15,4	755,0	755,7	туман
06.12.2019 06:00	-21,7	739,0	739,6	туман
24.11.2019 06:00	-3,0	767,6	768,3	туман
23.11.2019 00:00	-2,3	762,0	762,7	туман
22.11.2019 06:00	-0,7	763,0	763,6	туман
21.11.2019 21:00	-1,6	763,0	763,7	туман
12.11.2019 00:00	-17,4	767,5	768,1	туман
09.11.2019 18:00	-12,9	772,1	772,8	туман
01.11.2019 15:00	-7,8	755,0	755,7	туман
31.10.2019 12:00	-6,7	754,8	755,5	туман
29.10.2019 00:00	-10,8	742,4	743,1	туман

Продолжение таблицы 4.1

Местное время	T	P ₀	P	WW
26.10.2019 12:00	-10,6	744,8	745,5	туман
22.10.2019 18:00	-3,2	748,5	749,2	туман
29.09.2019 06:00	2,1	745,9	746,5	туман
18.09.2019 03:00	3,7	742,5	743,1	туман
14.09.2019 06:00	9,3	752,3	752,9	туман
13.09.2019 18:00	10,4	753,8	754,4	туман
12.09.2019 21:00	10,2	756,5	757,1	туман
12.09.2019 03:00	8,5	762,5	763,1	туман
06.09.2019 03:00	8,6	763,0	763,6	туман
05.09.2019 15:00	10,2	758,3	758,9	туман
01.09.2019 06:00	6,4	763,7	764,3	туман
23.08.2019 15:00	8,8	756,8	757,4	туман
22.08.2019 09:00	9,4	759,8	760,4	туман
18.08.2019 03:00	6,4	765,2	765,8	туман
17.08.2019 03:00	7,6	750,9	751,5	туман
08.08.2019 15:00	5,7	742,4	743,0	туман
08.08.2019 03:00	6,8	738,7	739,4	туман
07.08.2019 12:00	8,6	742,7	743,3	туман
01.08.2019 21:00	4,9	752,5	753,1	туман
01.08.2019 06:00	6,1	750,1	750,7	туман
21.07.2019 18:00	6,3	762,0	762,6	туман
20.07.2019 00:00	7,0	754,9	755,5	туман
17.07.2019 09:00	8,5	757,4	758,0	туман
15.07.2019 15:00	5,7	761,8	762,4	туман
14.07.2019 21:00	6,7	758,2	758,8	туман
12.07.2019 06:00	5,4	750,3	750,9	туман

Продолжение таблицы 4.1

Местное время	T	P ₀	P	WW
09.06.2019 00:00	3,6	758,8	759,4	туман
08.06.2019 15:00	4,1	763,3	763,9	туман
03.06.2019 18:00	1,9	752,2	752,8	туман
03.06.2019 12:00	2,6	748,4	749,0	туман
08.05.2019 00:00	-6,0	770,8	771,5	туман
30.04.2019 03:00	-9,6	759,7	760,3	туман
22.04.2019 12:00	0,1	748,1	748,7	туман
11.04.2019 00:00	-10,3	767,9	768,6	туман
10.04.2019 03:00	-11,9	768,5	769,2	туман
08.04.2019 06:00	-6,8	760,3	761,0	туман
23.03.2019 06:00	-7,8	757,8	758,5	туман
13.03.2019 09:00	-15,5	745,8	746,5	туман
02.03.2019 12:00	-18,8	743,5	744,1	туман
02.03.2019 06:00	-21,2	741,1	741,7	туман
01.03.2019 09:00	-20,0	738,3	739,0	туман
24.02.2019 21:00	-5,4	745,1	745,8	туман
20.02.2019 18:00	-21,3	751,1	751,8	туман
26.01.2019 15:00	-26,2	771,6	772,3	туман
26.01.2019 03:00	-27,4	769,1	769,8	туман
16.01.2019 18:00	-17,4	752,1	752,8	туман
08.01.2019 12:00	-24,3	750,9	751,6	туман
03.01.2019 03:00	-15,2	754,9	755,6	туман

Таблица 4.2 – Даты образования тумана для Амдермы

Местное время	T	P ₀	P	WW
01.01.2021 12:00	-25,2	778,2	783,6	туман
29.10.2020 18:00	0,0	746,9	751,6	туман
19.10.2020 09:00	-4,7	748,5	753,4	туман
11.10.2020 21:00	5,6	748,6	753,2	туман
11.10.2020 06:00	6,4	751,4	756,1	туман
10.10.2020 03:00	3,9	755,6	760,3	туман
30.09.2020 18:00	7,4	762,7	767,4	туман
30.09.2020 09:00	7,4	762,3	767,0	туман
30.09.2020 03:00	7,1	761,2	765,8	туман
29.09.2020 21:00	7,1	760,8	765,4	туман
09.09.2020 06:00	8,8	753,8	758,5	туман
08.09.2020 06:00	10,5	753,0	757,6	туман
27.08.2020 03:00	9,2	751,5	756,1	туман
26.08.2020 12:00	11,3	748,3	752,8	туман
22.08.2020 03:00	9,2	753,6	758,2	туман
21.08.2020 18:00		753,2	757,8	туман
20.08.2020 12:00	10,5	751,0	755,5	туман
19.08.2020 03:00	10,9	749,6	754,2	туман
12.08.2020 12:00	10,3	743,0	747,5	туман
09.08.2020 03:00	9,5	755,6	760,3	туман
02.08.2020 03:00	10,3	749,6	754,2	туман
01.08.2020 15:00	10,6	749,7	754,3	туман
31.07.2020 21:00	11,8	750,7	755,3	туман
26.07.2020 00:00	9,9	762,7	767,3	туман
24.07.2020 21:00	11,2	761,0	765,7	туман
10.07.2020 03:00	6,9	758,5	763,2	туман

Продолжение таблицы 4.2

Местное время	T	P ₀	P	WW
09.07.2020 21:00	8,0	758,1	762,8	туман
09.07.2020 00:00	9,6	756,7	761,3	туман
05.07.2020 00:00	11,1	752,6	757,2	туман
29.06.2020 09:00	3,9	745,0	749,7	туман
29.06.2020 00:00	2,9	747,4	752,0	туман
28.06.2020 00:00	3,0	742,4	747,1	туман
08.06.2020 00:00	4,0	757,6	762,4	туман
05.06.2020 06:00	2,1	759,4	764,2	туман
03.06.2020 00:00	-0,4	759,5	764,3	туман
31.05.2020 00:00	0,6	754,5	759,3	туман
30.05.2020 18:00	0,9	754,3	759,1	туман
30.05.2020 09:00	1,3	752,6	757,3	туман
30.05.2020 00:00	1,6	752,1	756,8	туман
29.05.2020 12:00	1,6	753,1	757,9	туман
23.05.2020 03:00	0,1	752,2	756,9	туман
22.05.2020 12:00	0,8	756,4	761,2	туман
20.05.2020 15:00	0,6	750,7	755,5	туман
20.05.2020 03:00	-0,1	756,1	760,9	туман
15.05.2020 09:00	-1,0	751,9	756,7	туман
14.05.2020 21:00	1,0	752,0	756,8	туман
13.05.2020 18:00	0,5	752,8	757,6	туман
10.05.2020 18:00	-1,2	753,6	758,4	туман
09.05.2020 21:00	-1,5	754,9	759,7	туман
07.05.2020 21:00		745,3	750,0	туман
05.05.2020 18:00	-0,1	749,7	754,5	туман
05.05.2020 09:00	0,0	749,5	754,3	туман

Продолжение таблицы 4.2

Местное время	T	P ₀	P	WW
28.04.2020 15:00	-3,3	755,0	759,8	туман
28.04.2020 06:00	-4,0	753,6	758,5	туман
28.04.2020 00:00	-4,1	753,0	757,9	туман
27.04.2020 12:00	-3,2	749,9	754,7	туман
18.04.2020 15:00	-2,8	749,0	753,8	туман
18.04.2020 06:00	-0,8	747,6	752,3	туман
01.04.2020 06:00	-19,3	750,2	755,4	туман
17.03.2020 15:00	-9,0	737,4	742,2	туман
07.02.2020 09:00	-19,6	742,6	747,7	туман
30.01.2020 12:00	-31,9	768,1	773,7	туман
29.01.2020 21:00	-32,4	764,5	770,1	туман
28.01.2020 18:00	-27,3	756,1	761,5	туман
20.12.2019 06:00	-9,8	749,7	754,6	туман
18.12.2019 09:00	-6,2	752,7	757,6	туман
15.12.2019 06:00	-2,6	754,5	759,4	туман
05.12.2019 15:00	-11,6	745,5	750,4	туман
22.11.2019 12:00	-1,0	755,3	760,1	туман
21.11.2019 03:00	-4,8	762,3	767,2	туман
10.11.2019 00:00	-15,6	769,0	774,1	туман
09.11.2019 18:00	-15,9	766,9	772,1	туман
01.11.2019 21:00	-12,7	750,1	755,1	туман
26.10.2019 21:00	-8,7	736,9	741,8	туман
02.10.2019 06:00	1,9	741,5	746,2	туман
26.09.2019 06:00	-0,2	736,9	741,7	туман
16.09.2019 21:00	2,9	739,9	744,6	туман
06.09.2019 06:00	8,1	758,2	762,9	туман

Продолжение таблицы 4.2

Местное время	T	P ₀	P	WW
05.09.2019 18:00	9,8	754,4	759,0	туман
01.09.2019 03:00	6,4	759,4	764,1	туман
31.08.2019 21:00	6,1	759,4	764,1	туман
26.08.2019 21:00	3,7	756,9	761,7	туман
24.08.2019 00:00	6,4	753,6	758,2	туман
23.08.2019 03:00	8,6	753,7	758,4	туман
22.08.2019 21:00	8,7	754,9	759,5	туман
17.08.2019 06:00	8,5	747,1	751,6	туман
16.08.2019 00:00	8,2	753,4	758,0	туман
15.08.2019 00:00	9,9	752,5	757,1	туман
07.08.2019 21:00	9,8	735,8	740,3	туман
07.08.2019 09:00	8,6	741,1	745,6	туман
05.08.2019 21:00	8,3	748,1	752,7	туман
04.08.2019 06:00	7,7	739,4	744,0	туман
03.08.2019 03:00	5,3	745,4	750,1	туман
01.08.2019 03:00	5,6	746,1	750,7	туман
31.07.2019 03:00	7,0	749,0	753,7	туман
30.07.2019 09:00	5,8	752,0	756,7	туман
26.07.2019 15:00	6,1	751,0	755,7	туман
26.07.2019 03:00	7,8	752,5	757,1	туман
23.07.2019 18:00	3,7	761,7	766,5	туман
23.07.2019 00:00	4,2	761,5	766,2	туман
22.07.2019 03:00	4,8	758,3	763,0	туман
19.07.2019 21:00	5,8	752,2	757,0	туман
18.07.2019 21:00	4,5	757,6	762,4	туман
18.07.2019 00:00	3,8	756,6	761,4	туман

Продолжение таблицы 4.2

Местное время	T	P ₀	P	WW
16.07.2019 09:00	4,1	759,0	763,7	туман
15.07.2019 03:00	2,9	753,3	758,0	туман
14.07.2019 09:00	4,8	747,6	752,2	туман
12.07.2019 09:00	3,6	748,6	753,2	туман
10.07.2019 06:00	3,5	751,0	755,7	туман
09.07.2019 03:00	2,3	752,2	757,0	туман
08.07.2019 03:00	2,6	754,3	759,1	туман
07.07.2019 15:00	3,6	753,4	758,2	туман
02.07.2019 21:00	5,8	753,2	757,9	туман
24.06.2019 03:00	1,6	745,9	750,7	туман
18.06.2019 15:00	-0,1	741,7	746,4	туман
15.06.2019 09:00	0,3	742,4	747,1	туман
09.06.2019 15:00	0,2	752,4	757,2	туман
09.06.2019 00:00	1,0	754,9	759,7	туман
06.06.2019 18:00	-1,3	761,7	766,6	туман
04.06.2019 00:00	0,4	749,5	754,3	туман
03.06.2019 18:00	1,1	746,5	751,2	туман
30.05.2019 18:00	-2,6	757,3	762,1	туман
28.05.2019 12:00	-0,5	749,5	754,3	туман
27.05.2019 03:00	-6,6	751,6	756,6	туман
09.05.2019 21:00	-0,3	759,2	764,1	туман
29.04.2019 21:00	-11,9	756,2	761,2	туман
27.04.2019 06:00	-13,0	756,1	761,2	туман
21.04.2019 15:00	-0,5	748,6	753,4	туман
21.04.2019 03:00	-0,9	746,5	751,2	туман
21.03.2019 18:00	-4,3	747,7	752,6	туман

Продолжение таблицы 4.2

Местное время	T	P ₀	P	WW
05.03.2019 12:00	-25,3	741,4	746,5	туман
05.03.2019 06:00	-24,1	741,1	746,2	туман
27.01.2019 03:00	-25,0	765,4	770,8	туман
26.01.2019 21:00	-23,4	766,5	771,8	туман
26.01.2019 06:00	-23,4	764,9	770,2	туман
16.01.2019 21:00	-19,6	748,5	753,7	туман

Таблица 4.3 – Даты образования тумана для Нарьян – Мара

Местное время	T	P ₀	P	WW
21.12.2020 12:00	-11,1	759,3	760,3	туман
08.12.2020 15:00	-2,6	765,9	766,9	туман
08.12.2020 03:00	-2,2	764,3	765,4	туман
08.11.2020 06:00	-1,4	736,3	737,2	туман
07.11.2020 00:00	1,0	741,8	742,9	туман
06.11.2020 06:00	-0,5	741,4	742,5	туман
28.10.2020 18:00	2,0	748,3	749,4	туман
20.10.2020 09:00	-5,8	752,2	753,2	туман
20.10.2020 03:00	-6,6	753,1	754,2	туман
19.10.2020 12:00	-3,0	753,9	754,9	туман
18.10.2020 21:00	-4,8	756,6	757,6	туман
10.10.2020 12:00	8,8	759,2	760,2	туман
09.10.2020 09:00	7,4	762,3	763,3	туман
08.09.2020 06:00	9,5	757,9	758,9	туман
04.09.2020 03:00	4,9	768,3	769,3	туман
29.08.2020 03:00	-0,1	763,7	764,8	туман
26.08.2020 09:00	13,7	752,3	753,3	туман
25.08.2020 00:00	14,1	748,3	749,2	туман
20.08.2020 06:00	10,9	755,3	756,3	туман
19.08.2020 21:00	12,6	754,6	755,5	туман
02.08.2020 06:00	12,8	751,3	752,2	туман
12.07.2020 00:00	9,8	756,3	757,3	туман
21.05.2020 00:00	1,7	750,6	751,6	туман
16.05.2020 03:00	-2,8	752,2	753,2	туман
12.05.2020 06:00	7,0	747,8	748,8	туман
07.05.2020 18:00	4,1	747,8	748,8	туман

Продолжение таблицы 4.3

Местное время	T	P ₀	P	WW
28.04.2020 06:00	-4,9	755,1	756,1	туман
27.04.2020 21:00	-4,2	754,7	755,8	туман
19.04.2020 18:00	-1,0	754,8	755,8	туман
01.04.2020 00:00	-18,1	754,2	755,3	туман
19.02.2020 18:00	-5,9	742,9	744,0	туман
08.02.2020 09:00	-22,5	753,1	754,2	туман
05.02.2020 21:00	-28,3	745,5	746,6	туман
23.12.2019 21:00	-21,3	762,8	763,9	туман
20.12.2019 15:00	-10,7	754,1	755,2	туман
17.12.2019 21:00	-4,8	755,5	756,6	туман
15.12.2019 00:00	-1,3	759,5	760,6	туман
07.12.2019 06:00	-23,3	743,2	744,3	туман
23.11.2019 03:00	0,5	765,1	766,2	туман
06.11.2019 15:00	-12,5	751,7	752,8	туман
06.11.2019 09:00	-7,2	750,0	751,0	туман
31.10.2019 09:00	-6,6	755,5	756,6	туман
29.10.2019 03:00	-8,1	745,1	746,2	туман
27.10.2019 09:00	-11,1	742,9	743,9	туман
13.09.2019 03:00	7,8	754,6	755,7	туман
11.09.2019 06:00		765,4	766,4	туман
06.09.2019 00:00	6,7	762,1	763,0	туман
02.09.2019 06:00	1,4	763,0	764,1	туман
01.09.2019 06:00	4,7	763,3	764,3	туман
22.08.2019 03:00	10,2	760,8	761,8	туман
20.07.2019 03:00	10,0	754,7	755,7	туман
09.06.2019 12:00	8,4	754,7	755,7	туман

Продолжение таблицы 4.3

Местное время	T	Po	P	WW
07.06.2019 00:00	2,8	766,4	767,5	туман
18.05.2019 03:00	-1,7	754,3	755,4	туман
12.04.2019 00:00	-17,3	757,6	758,8	туман
10.04.2019 00:00	-13,8	769,3	770,3	туман
08.04.2019 03:00	-3,7	760,9	762,0	туман
18.01.2019 18:00	-18,5	744,7	745,7	туман
18.01.2019 03:00	-19,3	735,9	736,9	туман
08.01.2019 06:00	-26,5	748,9	750,0	туман
03.01.2019 09:00	-13,2	756,4	757,4	туман
02.01.2019 18:00	-14,4	751,4	752,5	туман

4.2 Выявление эталонных полей

Для отобранных дней с туманом были скачаны данные реанализа высокого разрешения ERA 5 с разрешением $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ в формате .nc. Далее с помощью cdo они были преобразованы в массивы данных, которые можно считать Fortran. CDO (climate data operators) является очень удобным инструментом для подготовки и анализа метеорологических данных. К возможностям пользователя здесь предоставляется более 600 команд, закодированных различными аббревиатурами.

Изначально скаченные в .nc поля преобразовались в cdo следующим образом:

```
rm -rf output_am/mergetime.nc output_am/fields.txt &> log
```

```

cdo -b 64 mergetime
/data0/home/141/toporikova/etalon/toporikova/amderma/nfo_nar/*.nc
output_am/mergetime.nc
cdo output output_am/mergetime.nc > output_am/fields.txt
cdo showtimestamp output_am/mergetime.nc > output_am/dates.txt
cdo ntime output_am/mergetime.nc > output_am/ntime.txt
rm log
exit

```

Далее описанный выше метод эталонов была реализована на языке программирования Fortran. Код приведен ниже.

```

integer,parameter :: Q=9801,k=62
real,dimension (k,Q) :: f
real,dimension (k,k) :: c
real,dimension (k) :: S
character*14,dimension (k) :: day
character*14 tt
print*,"read dates ..."
open(1,file='output_nar/dates.txt') ;
read(1,*)day
do i=1,k ; print*," daynum:", i, " date: ",day(i) ;enddo
close(1)
print*,"read dates ok";print*,""
print*,"read fields ..."
open(1,file='output_nar/fields.txt') ;
do i=1,k ;read(1,*) f(i,:) ; enddo
close(1)
print*,"read fields ok";print*,""

```

```

print*, "calculate ..."
do i=1,k
  do p=1,k
    c(i,p)=0
    do j=1,Q
      c(i,p)=c(i,k)+(f(i,j)-f(p,j))**2
    enddo
    c(i,p)=sqrt(c(i,p))/Q ! параметр близости
  enddo

  S(i)=sum(c(i,:))/k

enddo

print*, "calculate ok";print*, ""
print*, "write output_nar/cip.txt ..."

open(2,file='output_nar/cip.dat')
write(2,'(<k>f10.2)') ((c(i,p),i=1,k),p=1,k)
close(2)
do i=k-1,1,-1
  do j=1,i
    if(S(j)>S(j+1)) then
      t=S(j) ; tt=day(j)
      S(j)=S(j+1) ; day(j)=day(j+1)
      S(j+1)=t ; day(j+1)=tt
    endif
  enddo
enddo

```

```
print*,"write output_nar/etalon.txt ..."  
open(3,file='output_nar/etalon_nofog.dat')  
write(3,'(a10,f10.3)') (day(i),s(i),i=1,k)  
print*,"output_nar/etalon.txt writed ok";print*,""  
stop  
end
```

Таким образом, с помощью статистического анализа были найдены эталонные поля давления для туманов. Согласно полученным расчётам эталоном для дней с туманами для Варандея является барическое поле за 1 марта 2019 года (рис. 4.1). Для сравнения ситуаций, когда туманы не наблюдались, было отобрано такое же количество случаев для дней без тумана. Для этих полей был рассчитан аналогичным образом параметр схожести. Эталонное поле давления для дней без туманов 20 сентября 2019 года (рис. 4.2). На территории Амдермы эталон с туманами установлен 16 января 2019 года (рис. 4.3), без тумана – 4 января 2020 года (рис. 4.4). Для Нарьян – Мара с туманом – 27 октября 2019 год (рис. 4.5), без тумана – 31 декабря 2019 год (рис. 4.6). Визуализация полученных данных проведена с помощью системы анализа и отображения сетки OpenGrADS.

Для отобранных дней с сайта meteocenter.asia были получены следующие карты [9]:

- Кольцевая карта для дня без тумана для Варандея за 20.09.2019 09 UTC (рис. 4.7)

- Кольцевая карта для дня с туманом для Амдермы за 16.01.19 21 UTC (рис. 4.8)

Кольцевая карта для дня без тумана для Амдермы за 04.01.2020 03 UTC (рис. 4.9)

- Кольцевая карта для дня с туманом для Нарьян – Мара за 27.10.2019 09 UTC (рис. 4.10)

- Кольцевая карта для дня без тумана для Нарьян – Мара за 31.12.2019 15 UTC (рис. 4.11)

Как видно, для Варандея, расположенного на берегу, типичной ситуацией для тумана является тёплый сектор циклона. Это область, находящаяся между тёплым и холодным фронтом. Как показывает практика, этой области присущи небольшие значения скорости ветра, неинтенсивные осадки. В Амдерме чаще всего туманы наблюдаются в гребнях антициклонов, то есть в зоне повышенного давления между двумя зонами пониженного давления. Данная ситуация отличается нисходящим движением воздуха и малооблачной погодой. В Нарьян-Маре туманы зафиксированы в тыловых частях циклонов, иными словами, за холодным фронтом. Эта зона характеризуется высокими значениями скорости ветра, температура здесь значительно уменьшается.

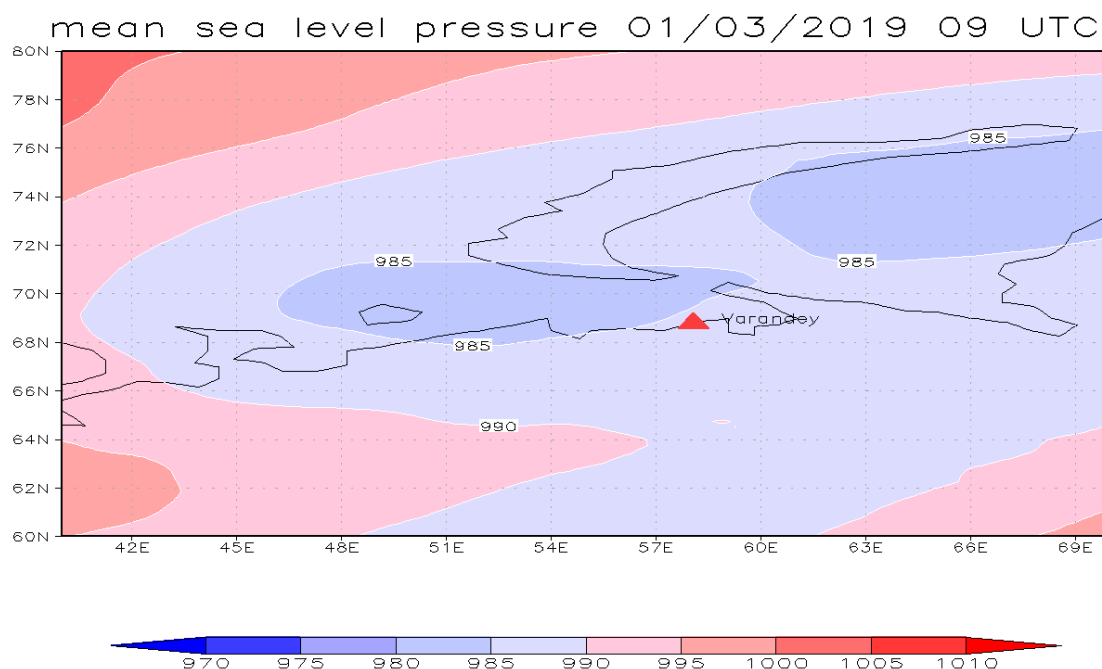


Рисунок 4.1 – Схема барического поля у земли в Варандее 1 марта 2019 г.

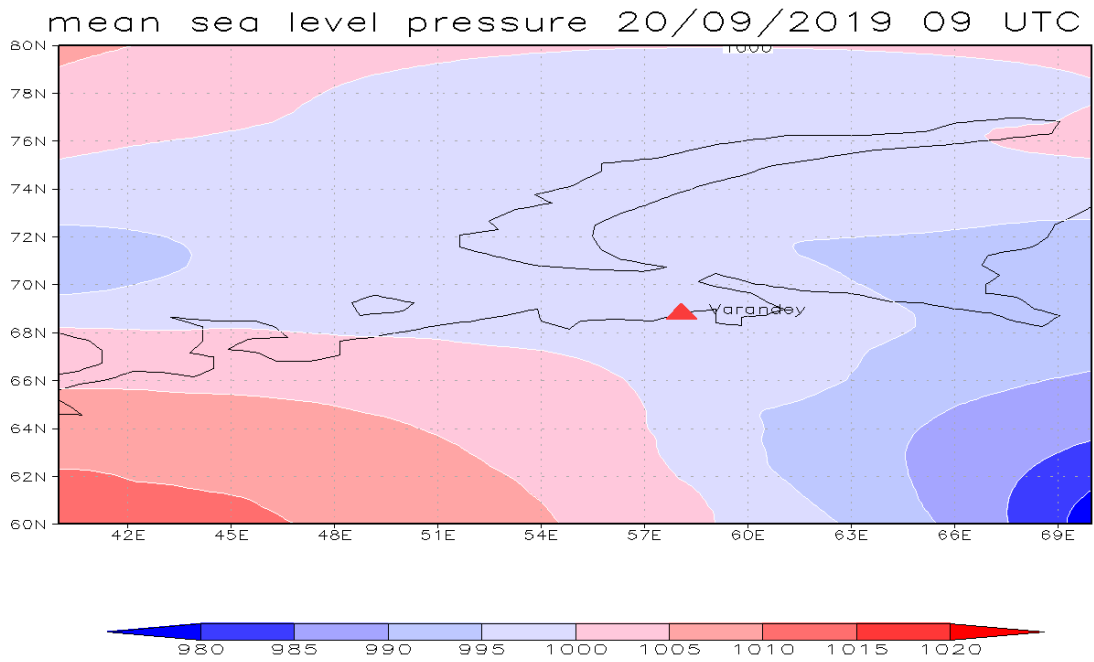


Рисунок 4.2 – Схема барического поля у земли в Варандее 20 сентября 2019 г.

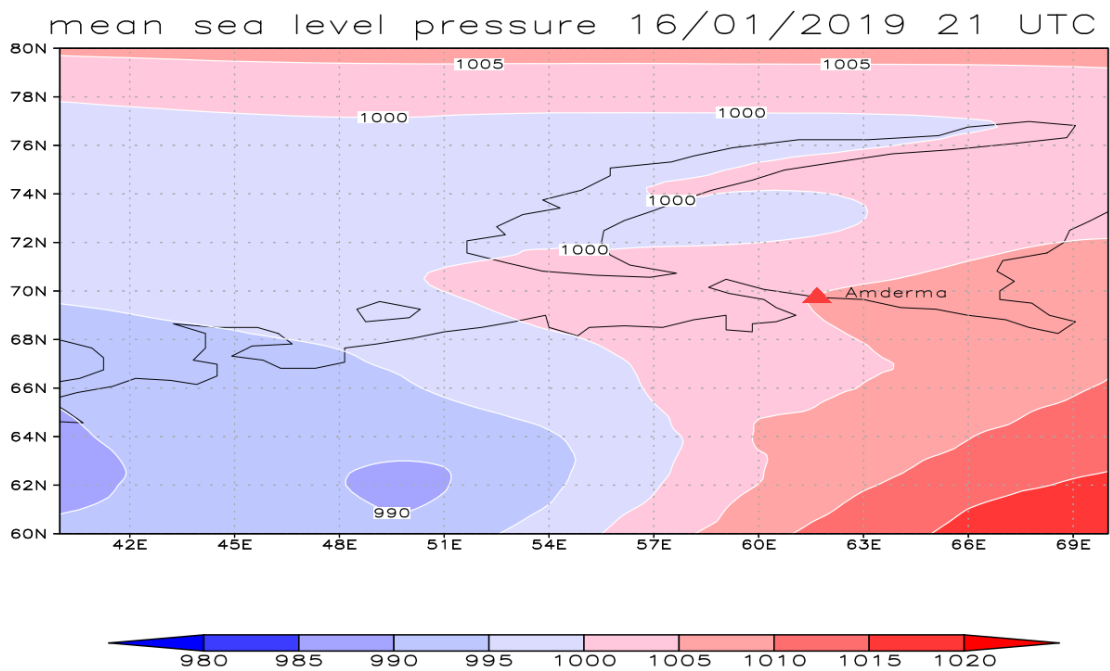


Рисунок 4.3 – Схема барического поля у земли в Амдерме 16 января 2019 г.

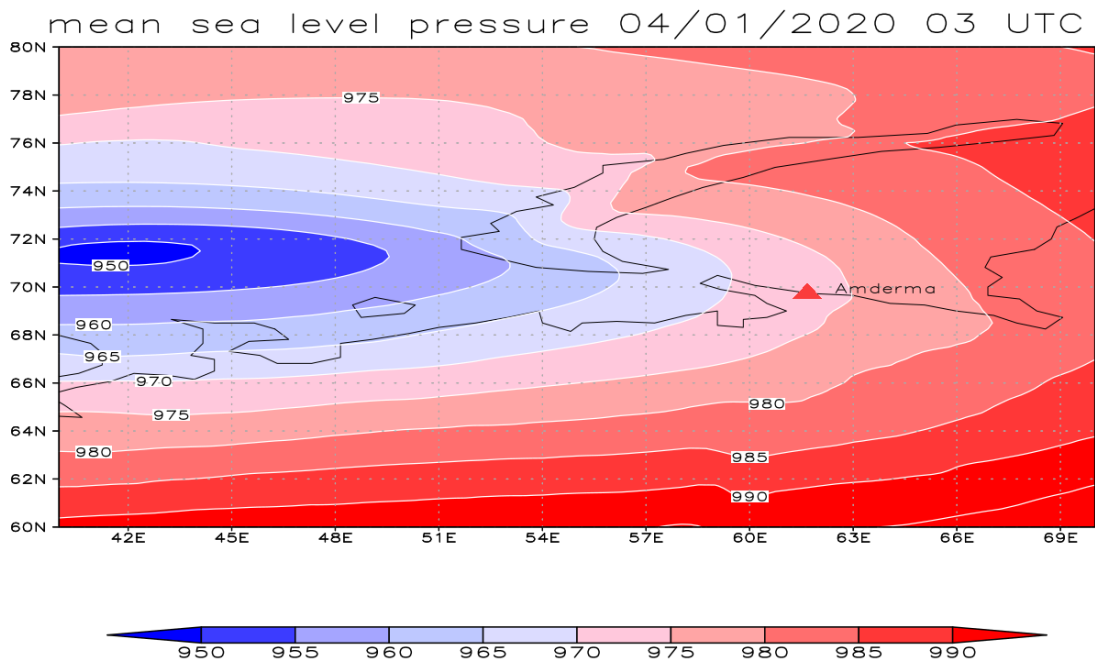


Рисунок 4.4 – Схема барического поля у земли в Амдерме 4 января 2020 г.

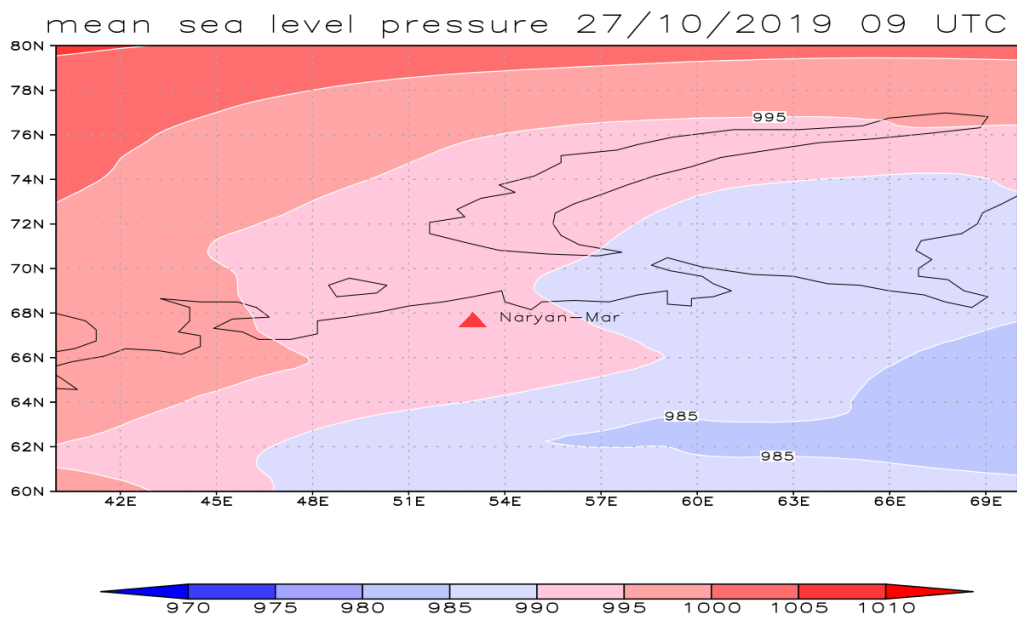


Рисунок 4.5 – Схема барического поля у земли в Нарьян-Маре
27 октября 2019 г.

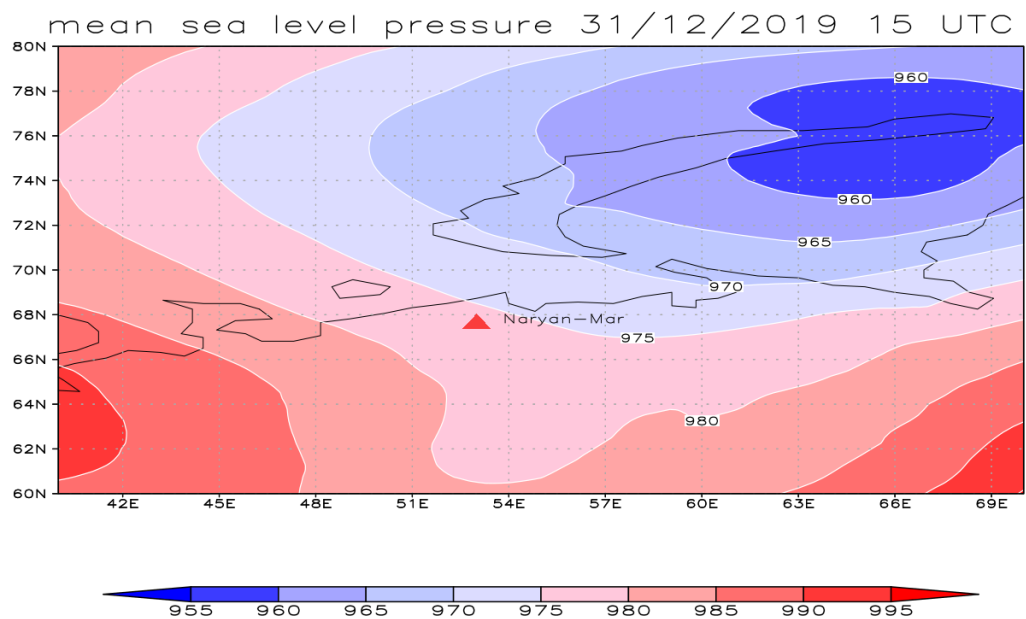


Рисунок 4.6 – Схема барического поля у земли в Нарьян-Маре
31 декабря 2019 г.

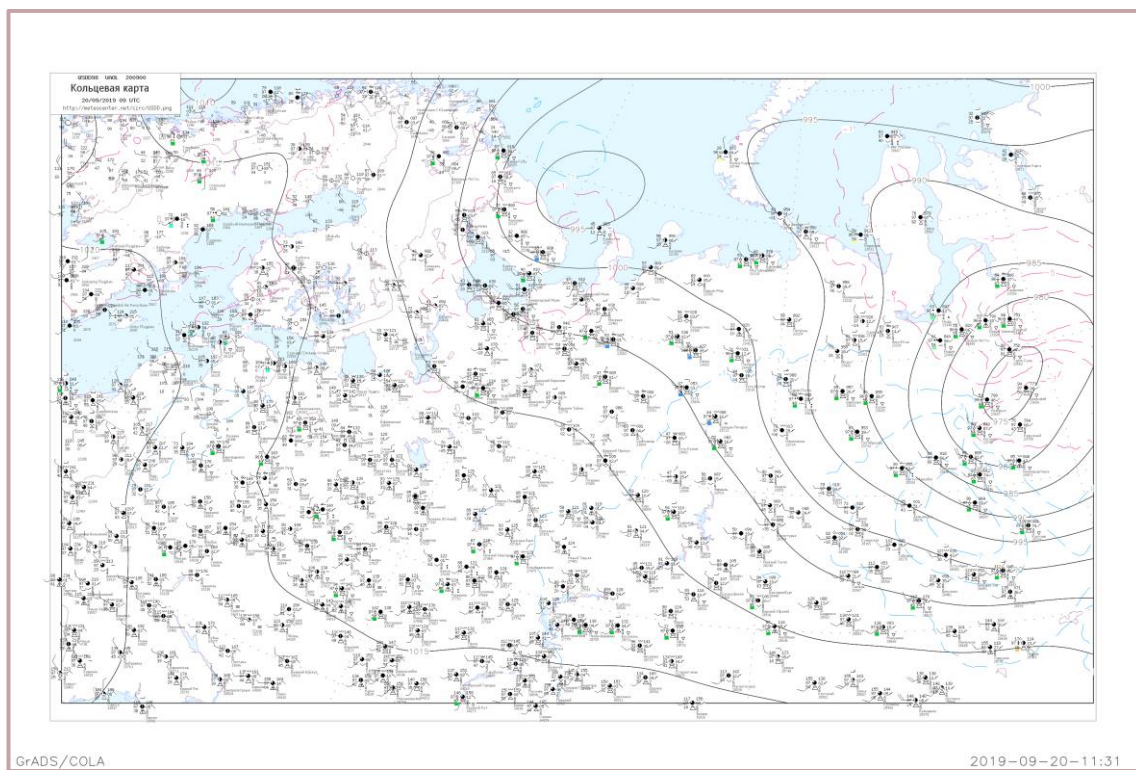


Рисунок 4.7 – Кольцевая карта для дня без тумана для Варандея
за 20.09.2019 09 UTC

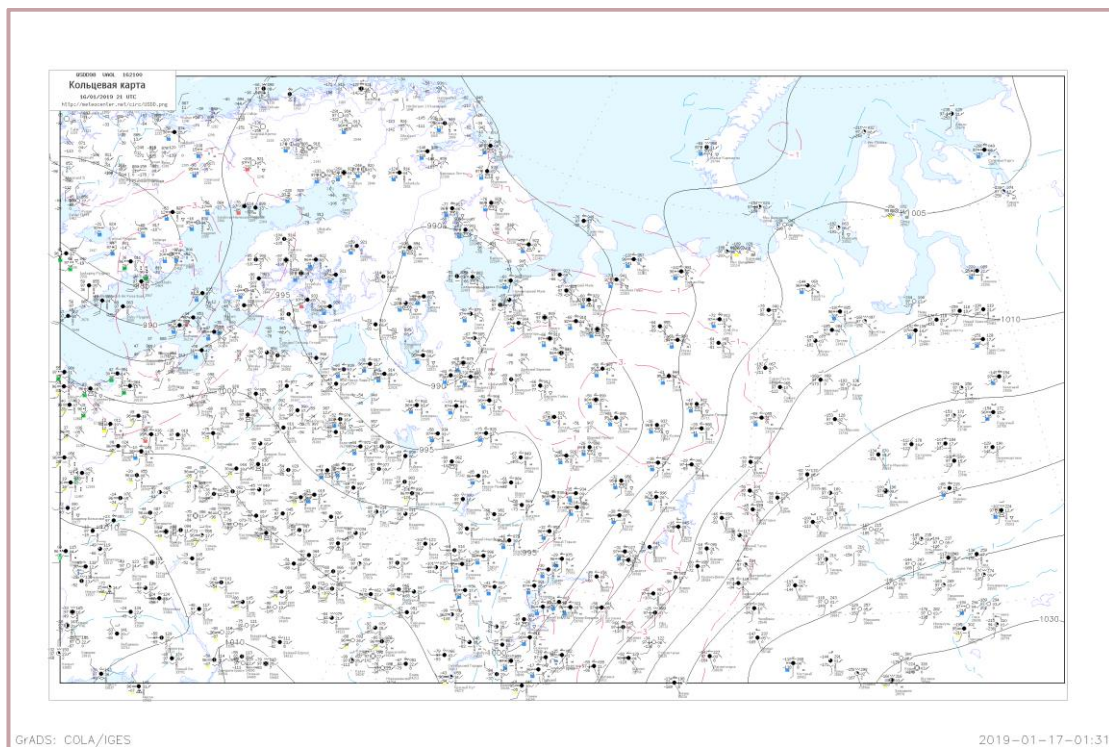


Рисунок 4.8 – Кольцевая карта для дня с туманом для Амдермы
за 16.01.19 21 UTC

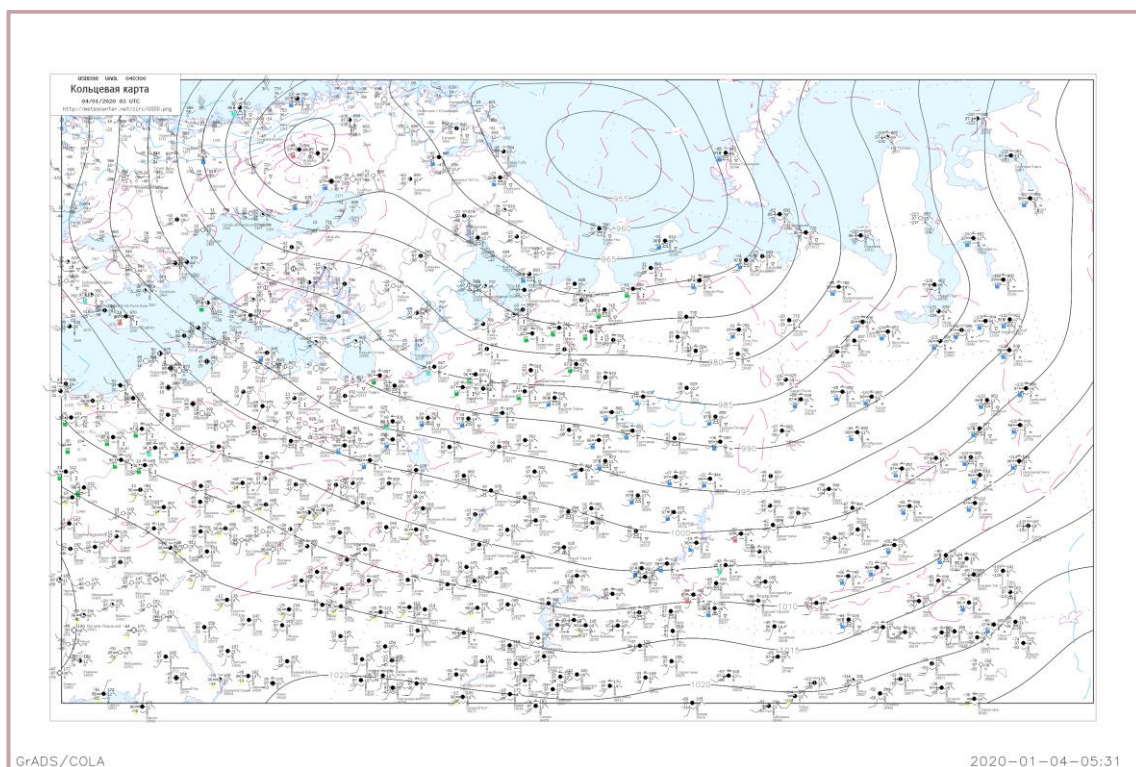


Рисунок 4.9 – Кольцевая карта для дня без тумана для Амдермы
за 04.01.2020 03 UTC

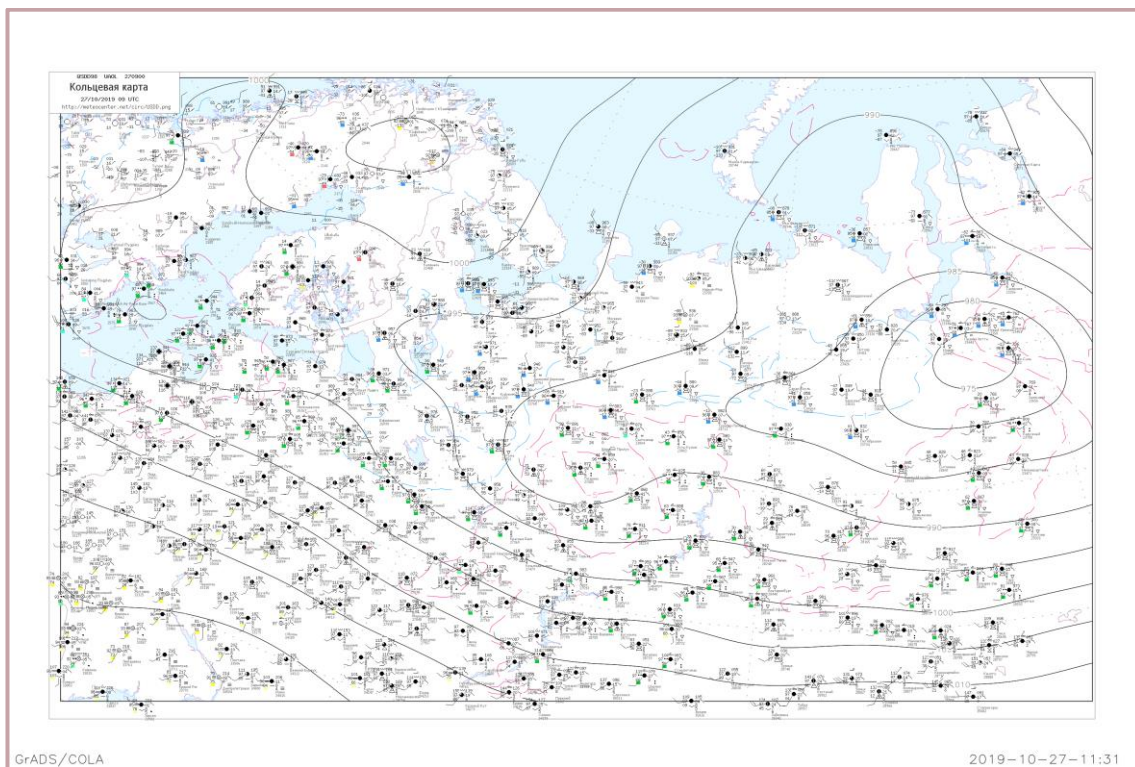


Рисунок 4.10 – Кольцевая карта для дня с туманом для Нарьян – Мара
за 27.10.2019 09 UTC

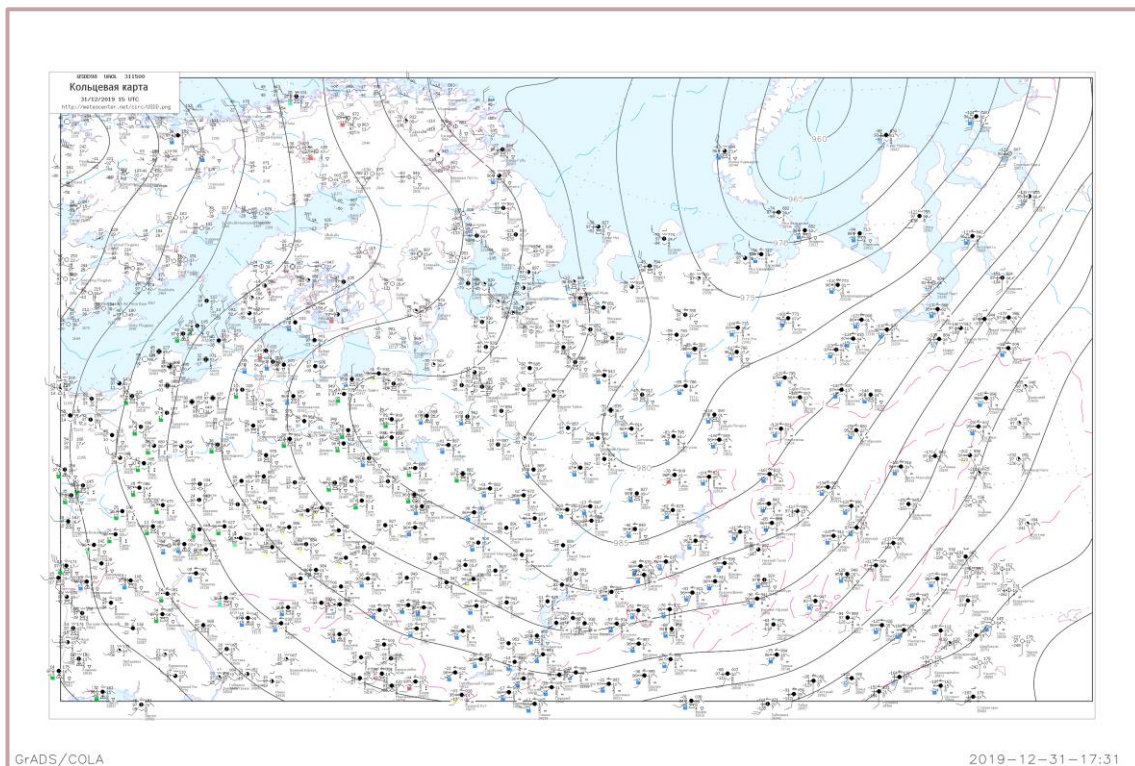


Рисунок 4.11 – Кольцевая карта для дня без тумана для Нарьян – Мара
за 31.12.2019 15 UTC

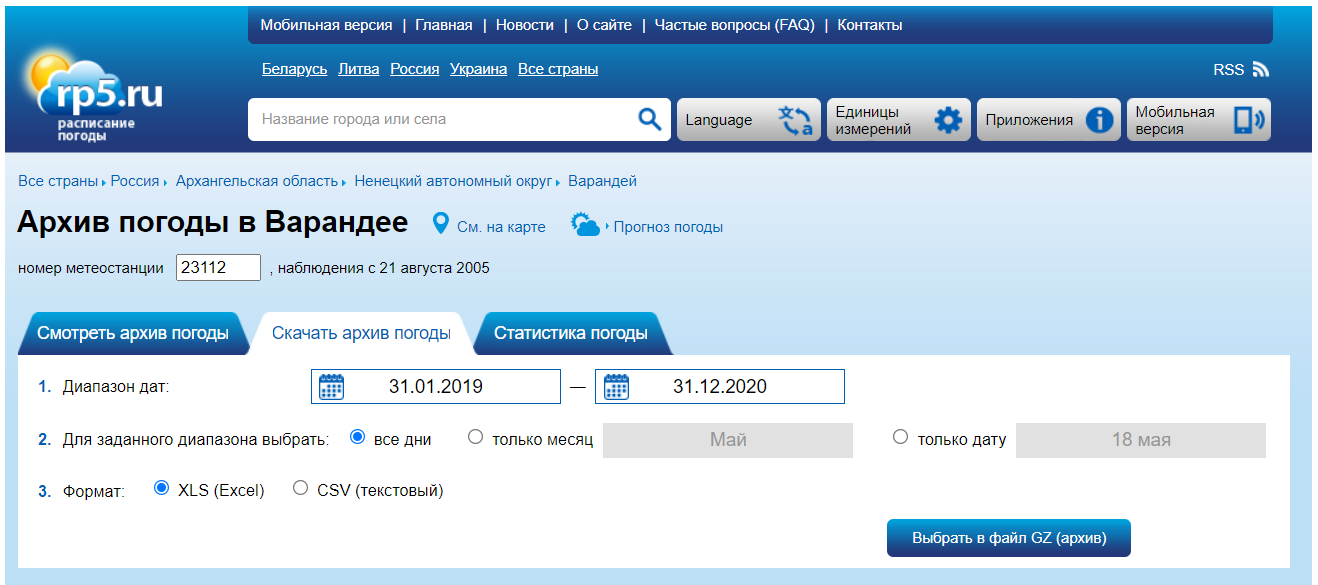


Рисунок 4.12 – Пример скачивания метеорологических величин, выбранных на метеорологической станции в Варандее с сайта rp5.ru

Index of /maps/circ/USDD/2019/09/20










Name	Last modified	Size	Description
 Parent Directory		-	
 USDD-2019-09-20-21.png	2019-09-20 23:01	1.1M	
 USDD-2019-09-20-18.png	2019-09-20 21:01	1.2M	
 USDD-2019-09-20-15.png	2019-09-20 18:01	1.2M	
 USDD-2019-09-20-12.png	2019-09-20 15:01	1.2M	
 USDD-2019-09-20-09.png	2019-09-20 12:01	1.2M	
 USDD-2019-09-20-06.png	2019-09-20 09:01	1.2M	
 USDD-2019-09-20-03.png	2019-09-20 06:01	1.2M	
 USDD-2019-09-20-00.png	2019-09-20 03:01	1.2M	

Рисунок 4.13 – Пример получения кольцевых карт за 20.09.2019 с сайта meteocenter.asia

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленная в начале данной работы цель, а именно выявление закономерности между атмосферным давлением и туманами в акватории Печорского моря, в ходе выполнения работы была полностью достигнута.

Для достижения данной цели были решены следующие конкретные задачи:

1. Была изучена основа формирования рабочих выборок;
2. Была изучена модель «эталонных полей», освоен способ нахождения эталонных полей;
3. Проведен численный отбор эталонных полей для акватории Печорского моря, выявлены даты с эталонными полями давления для случаев с туманами и без туманов;
4. Созданы карты эталонных полей давления для близрасположенных пунктов, а именно для Варандея, Амдермы и Нарьян - Мара;
5. Для более наглядного представления получены кольцевые карты данных территорий, сравниваемые с картами эталонных полей;
6. Выполнен анализ полученных данных;

Таким образом, в соответствии с проделанной работой можно сделать следующие выводы:

1. Модель эталонных полей давления для прогноза возникновения тумана для акватории Печорского моря показала хорошие возможности и перспективы ее использования;
2. В результате выполненного исследования получено, что для Варандея типичной ситуацией для тумана является теплый сектор циклона, в Амдерме чаще всего туманы наблюдаются в гребнях антициклонов, в Нарьян-Маре – в тыловых частях циклонов;

3. В последующем планируется продолжить и усовершенствовать исследования по долгосрочному прогнозированию атмосферных явлений на территории арктического региона, а также типизировать все поля по сезонам;

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архив данных погоды: официальный сайт. – URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 20.10.2021);
2. В.Ф. Мартазинова, В.С. Мадерич, В.Е. Тимофеев, Е.К. Иванова. Возможности долгосрочного прогнозирования погодных условий над антарктическим полуостровом / В.Ф. Мартазинова, В.С. Мадерич, В.Е. Тимофеев, Е.К. Иванова // 2010. 32 – 37с.;
3. Информация о видах туманов: официальный сайт. – URL: <https://meteojournal.ru/tuman-vidy-po-prichinam-obrazovaniya/> (дата обращения: 18.11.2021);
4. Информация о Печорском море: официальный сайт. – URL: <https://ote4estvo.ru/moryarossii/86491-pechorskoe-more.html> (дата обращения: 27.01.2022);
5. Информация о Печорском море: официальный сайт. – URL: https://shelf.gazpromneft.ru/development/ecology/environmental_monitoring/Atlas_250319.pdf (дата обращения: 27.01.2022);
6. Информация о тумане: официальный сайт. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720378906> (дата обращения: 30.01.2022);
7. С.В. Морозова, Е.А. Полянская, Г.А. Пужлякова, Л.М. Фетисова. К вопросу обобщения гидрометеорологической информации / С.В. Морозова, Е.А. Полянская, Г.А. Пужлякова, Л.М. Фетисова // Саратовский государственный университет, кафедра метеорологии и климатологии.;
8. Карта Печорского моря: официальный сайт. – URL: [https://www.google.com/maps/place/Печорское + море](https://www.google.com/maps/place/Печорское+море) (дата обращения: 25.01.2022);
9. Кольцевые карты: официальный сайт. – URL: <http://meteocenter.asia/> (дата обращения 13.03.2022);

10. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы / (Матвеев Л.Т.) // Ленинград: Гидрометеиздат // 1 января 1965. – 875с.;
11. С.В. Морозова, Е.А. Полянская, Г.А. Пужлякова, Л.М. Фетисова. Региональная модель долгосрочного прогноза резких изменений температуры воздуха с месячной заблаговременностью / С.В. Морозова, Е.А. Полянская, Г.А. Пужлякова, Л.М. Фетисова // 2004. 195 – 198с.;
12. В.М. Хан. Труды гидрометеорологического научно – исследовательского центра российской федерации / В.М. Хан // 2015. 147- 149с.;
13. Смирнов П.В. Эталонные поля давления для майских заморозков на территории Пермской области / Смирнов П.В // 2000. 29 – 36с.;