



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: «Взаимодействие тропосферы и стратосферы при вариации
давления в центрах погоды»

Исполнитель Шараборина Александрина Спартаковна
(фамилия, имя, отчество)

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

Ермакова Татьяна Сергеевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 15 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

Введение.....	3
1. ЦЕНТРЫ ДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ.....	5
1.1 Центры действия атмосферы	5
1.1.1 Исландский минимум.....	6
1.1.2 Алеутский минимум.....	6
1.1.3 Сибирский максимум	7
1.2 Связь стратосферы с тропосферой.....	8
1.3 Волны Россби	9
1.4 Эль-Ниньо Южное колебание.....	11
2. ДАННЫЕ И МЕТОДЫ	14
2.1 Реанализ MERRA-2	14
2.2 Данные зондирования	15
2.3 GrADS (Grid Analysis and Display Sistem)	16
2.4 Расчет потока волновой активности	16
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДАВЛЕНИЯ И ПОТОКА ВОЛНОВОЙ АКТИВНОСТИ.....	18
3.1 Давление в центрах погоды	18
3.1.1 Алеутский минимум	18
3.1.2 Исландский минимум.....	24
3.1.3 Сибирский максимум	30
3.2 Поток волновой активности компонента F_y и F_z	36
3.2.1 Компонента F_y потока волновой активности в районе Алеутского минимума	36
3.2.2 Компонента F_z потока волновой активности в районе Алеутского минимума.	41
3.2.3 Компонента F_y потока волновой активности в районе исландского минимума.....	46
3.2.4 Компонента F_z потока волновой активности в районе Исландского минимума.....	51
3.2.5 Компонента F_y потока волновой активности в районе Сибирского максимума	56
3.2.6 Компонента F_z потока волновой активности в районе Сибирского максимума	57
Заключение	59
Список литературы	60

Введение

Атмосферные волны — колебательные движения воздуха в атмосфере. Такие волны имеют разные временные и пространственные масштабы. Они влияют на плотность воздуха, температуру, поля ветра, давления и преимущественно идентифицируются как колебания этих параметров. Волны возбуждаются обычно в тропосфере и стратосфере и распространяются как вертикально, так и в горизонтальном направлении. Движущиеся волны передают энергию и импульс от своего источника через атмосферу и рассеиваются при особых обстоятельствах. Рассеивание волны включает в себя передачу энергии и импульса. Благодаря этому переносу энергии и импульса атмосферные волны вносят значительный вклад во взаимодействие различных слоев атмосферы. Во-первых, характеристики волн определяются состоянием климата, во-вторых, волновые процессы могут вносить вклад в изменение климата.

Сибирский максимум — зимняя область повышенного атмосферного давления над Центральной Азией и Южной Сибирью, один из самых сильных сезонных центров атмосферных воздействий.

Алеутский минимум — область пониженного атмосферного давления вблизи Алеутских островов в Тихом океане, обычно возникающая в зимний период.

Исландский минимум — область низкого давления, расположенная в Северной Атлантике между Исландией и южной Гренландией на 60–65° с.ш. Этот циркумполярный минимум является одним из основных «центров действия» в Северном полушарии, который существует в зимний период.

Целью работы: изучение взаимодействия тропосферы и стратосферы с вариациями давления через центры действия атмосферы.

Задачи:

1. Проанализировать давление на станциях, расположенных в областях влияния центров погоды с целью выявления временных интервалов с аномальными значениями в холодные периоды;
2. Оценить составляющие потока волновой активности на разных высотах в периоды аномальных значений давления в центрах действия атмосферы.

1. ЦЕНТРЫ ДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ.

1.1 Центры действия атмосферы

Центры действия атмосферы – это обширные области атмосферы с повышенным или пониженным давлением с замкнутыми изобарами (циклоны или антициклоны). Центры действия атмосферы, выделяемые на климатологических картах в течение всего года: экваториальная депрессия, субтропические и частично тропические области повышенного атмосферного давления Северного и Южного полушарий, депрессии субполярных широт, полярные области повышенного атмосферного давления. Сезонные центры действия атмосферы выявляются только на климатологических картах отдельных сезонов. Центры действия атмосферы оказывают существенное влияние на погоду и климат обширных регионов Земли (Рисунок 1) [1].

Есть два вида центры действия атмосферы:

Постоянные – Алеутский и Исландский циклон, Азорский и Гавайский антициклон

Сезонные – Сибирский и Североамериканский антициклон зимой, Южно-азиатский и Североамериканский циклон [2].

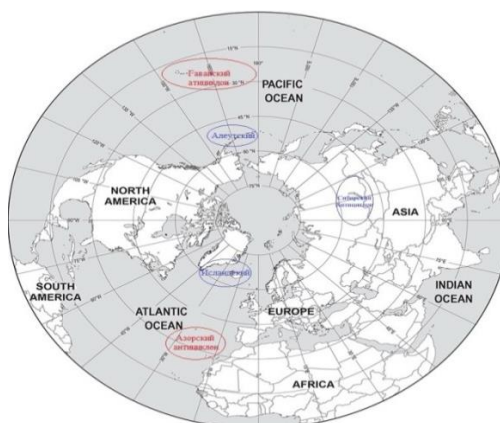


Рисунок 1 – Центры действия атмосферы

1.1.1 Исландский минимум

Исландский минимум является одним из шести центров действия атмосферы в Северном полушарии. В течение длительного времени Исландский минимум рассматривался как сезонная ячейка низкого давления. Согласно расчетам центров исландских минимумов (1966-1993 гг.), его центр расположен примерно на 62° с.ш., 35° з.д., а среднее давление в центре составляет 1000 гПа. Зимой исландский минимум представляет собой обширную область низкого давления на уровне моря, преобладающую в субполярных широтах. Одной из особенностей исландского минимума, является то, что изобары параллельны береговой линии и плотно примыкают к побережью. Область низкого давления обычно располагается к северо-востоку от Исландии над Норвежским и Баренцевым морем. Летом исландский минимум заметно слабеет и разделяется на два центра: первый – вблизи пролива Дейвиса, второй – к западу от Исландии.

Исландский минимум является один из значимых центров действия атмосферы в северном полушарии и способствует формированию мягкого климата в Западной Европе и на Восточно-Европейской равнине, такого как океанический и умеренно-континентальный климат [3].

1.1.2 Алеутский минимум

Алеутский минимум - это постоянная система низкого давления, с центром над архипелагом Алеутских островов. Зимой давление в центре понижено и составляет в среднем около 1000 гПа, а летом давление повышается и алеутский минимум ослабевает. Алеутский минимум связан с сильными циклонами, которые существенно влияют на температуру воды и поверхности суши. Алеутский минимум играет важную роль в регулировании зимнего климата в северной части Тихого

океана и североамериканского континента. Алеутский минимум влияет на температуру воды в верхних слоях океана, что может изменить среду обитание рыб в северо-восточной части Тихого океана.

Алеутский минимум усиливается с 1970-х годов, эти выводы основаны на данных о приземном давлении за вторую половину XX века. Он приносит более холодный и сухой воздух в западную часть Тихого океана, что приводит к уменьшению количества осадков в прибрежной Азии и увеличению количества осадков в восточной части Тихого океана на Аляске и на юго-западе Соединённых Штатов Америки [4].

1.1.3 Сибирский максимум

Сибирское высокое давление – это сезонная приземная система высокого давления, расположенная над Евразийским континентом в зимний период с давлением в центре превышающее значение 1030 гПа. Она играет важную роль в зимнем климате над Евразийским континентом и северо-западной частью Тихого океана, формируя холодную континентальную воздушную массу.

В среднем за один зимний сезон происходит 20–30 случаев резких вспышек холода. Выявлено, что вспышки холодного воздуха и связанная с ними миграция на юг Сибирского максимума являются низкочастотными явлениями с продолжительностью 10–20 дней. Предпочтительные траектории приповерхностных холодных антициклонических аномалий выражаются в миграции на юг вдоль подветренных склонов основных внетропических горных хребтов, что согласуется с тенденцией, обнаруженной к востоку от Тибетского нагорья. Холодный нагон часто приводит к резкому понижению температуры, сильным морозам, ледяным дождям или сильным снегопадам над восточными районами Китая, Кореи и Японии. В редких случаях его влияние распространяется вплоть до Южно-Китайского моря,

что приводит к аномально прохладным погодным условиям. Кроме того, в Монголии иногда возникает высокая интенсивность, сопровождающаяся обильным накоплением снега или замершей почвы, что приводит к серьезному ущербу для скота. И наоборот, ослабление Сибирского максимума приводит к ослаблению азиатского муссона, приносящего мягкие погодные условия на Дальний Восток.[5].

1.2 Связь стратосферы с тропосферой

Стратосфера играет важную роль в динамике погоды и климата, воздействуя на расположенную ниже тропосферу и влияя на радиационный баланс, динамику и химический состав климатической системы Земли. В значительной степени это связано с недостаточно постоянными наблюдениями за стратосферой в XX веке. Также долгое время стратосфера считалась динамически пассивной по отношению к тропосфере – это связано с вертикальной устойчивостью и сильной разрежением слоя, поэтому задача воспроизведения стратосферной динамики в численных моделях общей циркуляции атмосферы и моделях климатических моделях не рассматривалась как первоочередная.

Динамическое воздействие стратосферы на тропосферу происходит через деформацию высоты тропопаузы, что влияет на меридиональный сдвиг тропосферных струйных течений, которые, тоже влияют на погодные аномалии у поверхности Земли. В условиях чрезвычайно сильного арктического стратосферного полярного вихря происходит смещение траекторий мезовихрей к полюсу. В то же время неопределенность в оценке интенсивности вихря снижает предсказуемость распределения синоптических вихрей в тропосфере, существенно снижая достоверность прогнозов.

Тропосфера оказывает динамическое воздействие на стратосферу через вертикальное распределение низкочастотных планетарных и

высокочастотных гравитационных волн. Концентрация их распространения корректируется не только тропосферными условиями, но и внутренней изменчивостью стратосферы. Нелинейное взаимодействие лежит в основе формирования экстремального состояния стратосферного полярного вихря. Кроме того, чувствительность компонентов стратосферно-тропосферного взаимодействия к начальным условиям и их внутренняя динамическая неустойчивость в значительно усложняют понимание этих процессов [6].

1.3 Волны Россби

На границе между верхней тропосферой и нижней стратосферой существуют переходные области между высокими холодными циклонами и высокими теплыми антициклонами — это высотные фронтальные зоны. Это части атмосферы, в которых сосредоточены большие запасы кинетической и внутренней энергий, так как там имеются значительные градиенты давления и температуры. Именно там происходит переход одного вида энергии в другой. На картах абсолютной и относительной топографии высотной фронтальной зоны показаны как области сгущения изогипс. Высотные фронтальные зоны часто связаны с одним или несколькими крупными тропосферными фронтами. Отдельно взятые высотные фронтальные зоны, переходя одна в другую, окаймляют полушарие, образуя планетарную высотную фронтальную зону.

Таким образом, высотные фронтальные зоны можно рассматривать как звенья планетарной высотной фронтальной зоны. Планетарные высотные фронтальные зоны обычно зональные, но встречаются и волны, имеющие меридиональное направление. С планетарными высотными фронтальными зонами тесно связаны процессы возникновения и развития циклонов и антициклонов. Такие процессы приводят к образованию волн в области планетных высотных фронтальных зон, их ветвлению и

деформации. Образование планетарных высотных фронтальных зон обусловлено наличием в пределах полушария разных по своему радиационному балансу широтных зон, в районе которых формируются воздушные массы разных географических типов, а также процессами, сходными с аналогичными процессами фронтогенеза, но планетарного масштаба.

При возникновении длинных волн возникают в свободной атмосфере, приземное термическое поле продолжает испытывать изменения: впадины длинных волн могут быть источником отрицательных, а гребни – положительных отклонений температуры воздуха (Рисунок 2). По мере увеличения амплитуды длинных волн, воздушные потоки все больше отклоняются от своего первоначального положения и аномальные погодные условия в разных частях волны усиливается.

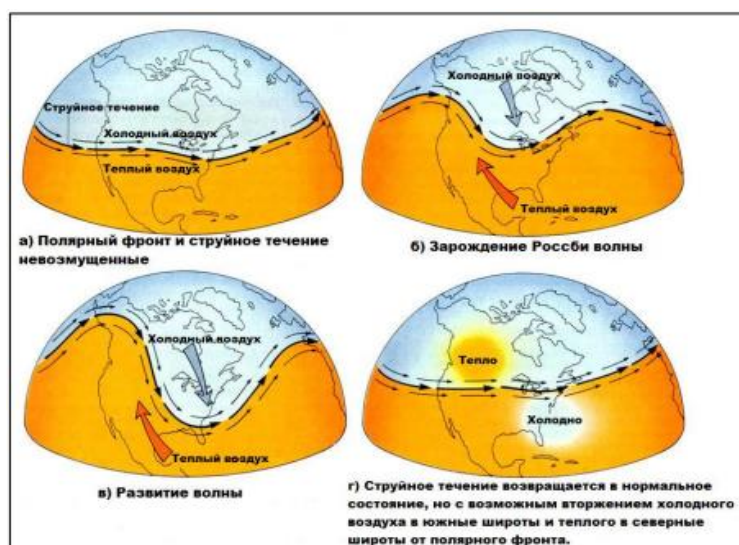


Рисунок 2 – Схема динамики струйного течения и волн Россби Северного полушария [7]

Поскольку планетарные высотные фронтальные зоны является разделительной полосой холодного арктического воздуха и относительно теплого воздуха умеренных широт, трансформации термического

градиента изменяется скорость зонального перемещения ложбин и гребней в различных широтных зонах и пропорционально меняет характеристики планетарных атмосферных волн [8].

1.4 Эль-Ниньо Южное колебание

Эль-Ниньо и Ла-Нинья – погодные явления, наблюдаемые в Тихом океане, которые могут оказывать значительное влияние на глобальные погодные условия. Эль-Ниньо характеризуется потеплением поверхности океана в центральной и восточной части Тихого океана, а Ла-Нинья - характеризуется похолоданием поверхности океана в том же регионе (Рисунок 3). Как Эль-Ниньо, и Ла-Нинья могут вызвать изменения в характере осадков, ветра и температуры, что может привести к засухам, наводнениям и другим экстремальным погодным явлениям в разных частях планеты.

Обычная продолжительность явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья составляет 9 - 12 месяцев, но некоторые события могут длиться дольше, иногда до двух лет. периодичность этих явлений может сильно варьироваться, в среднем от 2 до 7 лет. События Эль-Ниньо, как правило, происходят чаще, чем события Ла-Нинья. Важно отметить, что частота и продолжительность явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья может сильно варьироваться от года к году, и трудно предсказать.

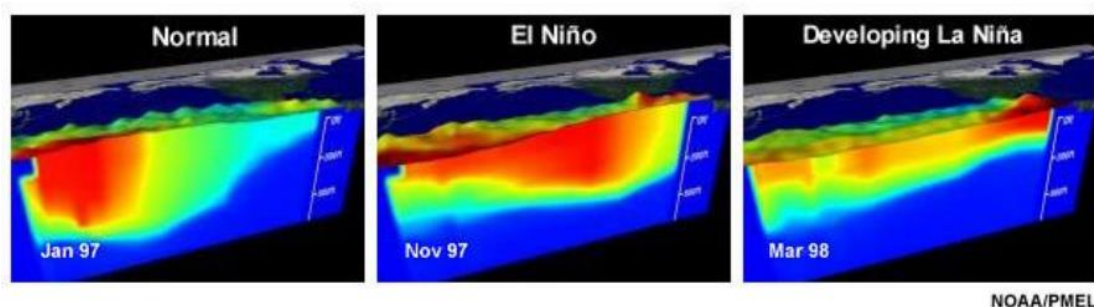


Рисунок 3 Нейтральная фаза, Эль-Ниньо и Ла-Нинья [9]

Эль-Ниньо – это погодная модель, которая возникает в Тихом океане и характеризуется потеплением поверхности океана в центральной и восточной части Тихого океана. Это потепление может привести к изменениям в характере ветра и осадков, что может оказать значительное влияние на глобальную погоду. Название «Эль-Ниньо» происходит от испанского «маленький мальчик», и первоначально использовалось рыбаками у побережья Южной Америки для описания во время Рождества.

Южное колебание Эль-Ниньо (ЭНЮК) – это название явления, которое включает в себя как Эль-Ниньо, так и его аналог – Ла-Нинья. ЭНЮК – это крупномасштабное взаимодействие океана и атмосферы, происходящее в тропической части Тихого океана. Во время Эль-Ниньо поверхностные воды в центральной и восточной частях Тихого океана становятся значительно теплее, чем обычно, а во время явления Ла-Нинья – значительно холоднее [10]. Эль-Ниньо связано с повышением давления воздуха на уровне моря над Индонезией, Австралией и через Индийский океан в Атлантики [11].

Ла-Нинья – это погодная модель, которая возникает в Тихом океане и характеризующийся охлаждением поверхности океана в центральной и восточной части Тихого океана. Это похолодание может привести к изменению характера ветра и осадков, что может оказать значительное влияние на глобальную погоду. Название «Ла-Нинья» происходит от испанского языка, означающего «маленькая девочка», и является аналогом Эль-Ниньо, которое характеризуется потеплением поверхности океана в том же регионе [10].

Нейтральная фаза ЭНЮК – это ветер, дующий на запад вдоль экватора из Южной Америки в сторону Азии. Температура поверхности воды у берегов Азии на 8 градусов теплее, чем в восточной части Тихого океана, что связано с подъемом более холодной воды с больших глубин в восточной части Тихого океана. Более холодная вода в Южной Америке

богата питательными веществами, что способствует высокой первичной продуктивности, разнообразию морских экосистем и крупному рыболовству. Облака и дожди наблюдаются в зоне восходящего воздуха над наиболее теплыми водами вблизи Азии, в то время как атмосфера в восточной части Тихого океана относительно сухая и без осадков [12].

2. ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

2.1 Реанализ MERRA-2

Реанализ представляет собой общую базу данных за любой выбранный интервал для анализа периода, подвергнувшегося вторичной метеорологической обработке. Такой анализ данных позволяет опираться на более широкого знания об исторических данных, а также создать базовую модель прогнозирования. Кроме того он позволяет учитывать переменные, которые либо редко наблюдаются на метеорологических станциях, либо их физически тяжело определить. Продукт реанализов является основным элементом, используемым для мониторинга климата [13].

Реанализ – это глобальное, ежедневная оценка состояния атмосферы и земной поверхности за несколько десятилетий. Такие результаты основаны на ассимиляции большого количества данных, наблюдений и дистанционного зондирования. Модели общей циркуляции атмосферы являются одними из наиболее широко используемых данных в науках о Земле. Ретроспективный анализ современной эпохи для исследований и приложений версия 2 (MERRA-2 (The Modern Era Retrospective–Analysis for Research and Applications)) предоставляет данные, начиная с 1980 года. MERRA-2 был представлен для замены и дополнения оригинального набора данных MERRA. Пространственное разрешение MERRA-2 порядка 50 км и задержкой в несколько недель остались такими же, как у MERRA. Однако, MERRA-2 включает в себя последние преобразования ассимиляции атмосферы, которые позволяют использовать новые спутниковые наблюдения, не ассимилировались в первоначальной системе MERRA.

MERRA-2 также использует данные об осадках, основанные на наблюдениях, для определения баланса поверхностных вод суши. В большинстве систем реанализа, включая оригинальную MERRA, осадки, видимые на поверхности земли, генерируются системой AGCM (Atmospheric general circulation model – Атмосферная модель общей циркуляции) после ассимиляции, среди прочих наблюдений за температурой воздуха, влажностью и ветром. Осадки с поправкой по данным наблюдения, также применялись в повторном анализе системы прогнозирования климата и в MERRA-Land. Последний является автономным продуктом повторного анализа, предназначенного только для поверхности суши [14].

2.2 Данные зондирования

Зондирование атмосферы – это определение вертикального или горизонтального распределения различных параметров атмосферы (скорости и направления ветра, давления, температуры и влажности воздуха, газового и аэрозольного состава воздуха) на разных высотах. Существуют контактные и дистанционные методы зондирования атмосферы.

В первом случае приборы запускаются в атмосферу на аэростатах, самолетах, а в верхних слоях атмосферы – на исследовательских ракетах. Методы дистанционного зондирования делятся на активные и пассивные. Применение активных методов в атмосфере, таких как посылка световых, звуковых или радиосигналов, заключается в регистрации этих сигналов после их прохождения через атмосферу, что позволяет сделать выводы о ее состоянии. Пассивные методы основаны на наблюдениях за метеорами, полярными сияниями, серебристыми облаками и многим другим.

При контактных (прямых) методах измерения обычно проводятся с помощью радиозондов, поднятых на высоту 25-30 км. Существует глобальная сеть из более чем 750 станций, к которым радиозонд запускаются несколько раз в день. Аэростаты и самолеты позволяют поднимать в воздух сложное и тяжелое оборудование, и наблюдателей. Аэростаты можно запускать на высоту до 5 км, а самолет – до 10 км.

Это позволяет проводить комплексное зондирование тропосферы, а также изучить облака. Измерения с помощью исследовательских ракет проводится в основном на спуске, когда ракета спускается на парашюте. Важнейшую роль играет зондирование атмосферы метеорологическими и логическими искусственными спутниками Земли, которые позволяют собирать информацию над всеми регионами земного шара. Полученные данные используются в различных областях человеческой деятельности, в частности для прогнозирования погоды.[15].

2.3 GrADS (Grid Analysis and Display Sistem)

Программный пакет GrADS (Grid Analysis and Display System), – это программа, которая может использоваться для анализа информации и визуализации полученных данных (например, данные реанализа), в том числе и в формате NetCDF (Network Common Data Form – машинно-независимый двоичный формат файлов, используемый для обмена научных данных). Одним из главных преимуществ этой программы является простота ее освоения и свободный доступ к ней [16].

2.4 Расчет потока волновой активности

Используется алгоритм R.N.Plumb, который применяется для анализа трехмерной волновой активности в дивергенции в горизонтальной плоскости и стратосфере. Вектор потока трехмерной

волновой активности описывает распространение планетарных волн по долготе (F_x), широте (F_y) и высоте (F_z), и рассчитывается по уравнению (1).

(1)

$$\vec{F}_s = \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \frac{p}{p_0} \cos \varphi \begin{pmatrix} v'^2 - \frac{1}{2\Omega a \sin 2\varphi} \frac{\partial(v' \varphi')}{\partial \lambda} \\ -u'v' + \frac{1}{2\Omega a \sin 2\varphi} \frac{\partial(u' \varphi')}{\partial \lambda} \\ \frac{2\Omega \sin \varphi}{S} \left[v'T' - \frac{1}{2\Omega a \sin 2\varphi} \frac{\partial(T' \varphi')}{\partial \lambda} \right] \end{pmatrix},$$

где p – давление, p_0 – давление 1000 гПа, Ω – угловая скорость вращения Земли, λ – долгота, φ – широта, a – радиус Земли, S – параметр статической устойчивости, u' – возмущение зональной скорости (отклонение от среднего по долготе значения), v' – возмущение меридиональной скорости, T' – возмущение температуры, φ' – возмущение геопотенциала [8].

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДАВЛЕНИЯ И ПОТОКА ВОЛНОВОЙ АКТИВНОСТИ

3.1 Давление в центрах погоды

3.1.1 Алеутский минимум

Для того чтобы проследить связь между изменчивостью поля давления и реакцией на изменчивость потока волновой активности, были построены графики временного хода давления 700 гПа и 850 гПа, а так же аномалии 10-й и 90-й процентиля. Данные давления были получены с сайта данных зондирования Департамента атмосферных наук университета Вайоминга. При анализе временного хода давления в районе Алеутского минимума использовались данные со станции 70200 (США, Аляска, Холодный залив) [17]. Были рассмотрены пять холодных периода, 2019–2020, 2020–2021, 2021–2022, 2022–2023, 2023–2024 (Рисунок 5-9).

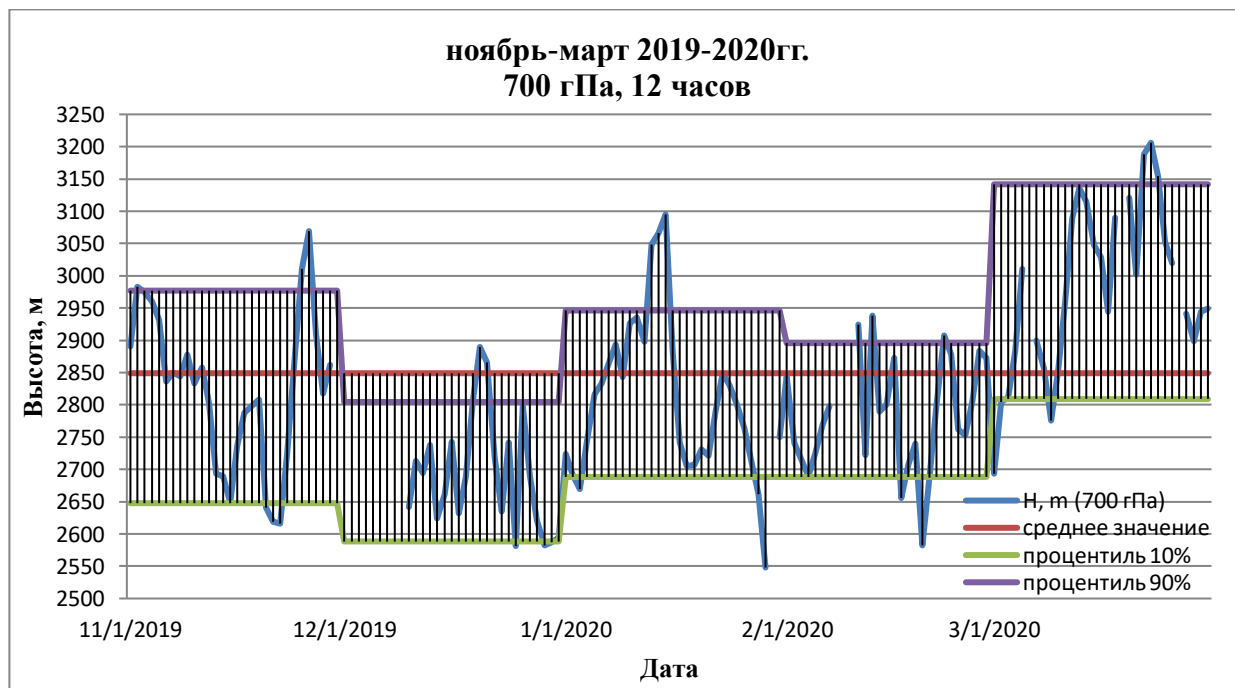


Рисунок 5 – Временной ход давления 700 гПа на станции 70200

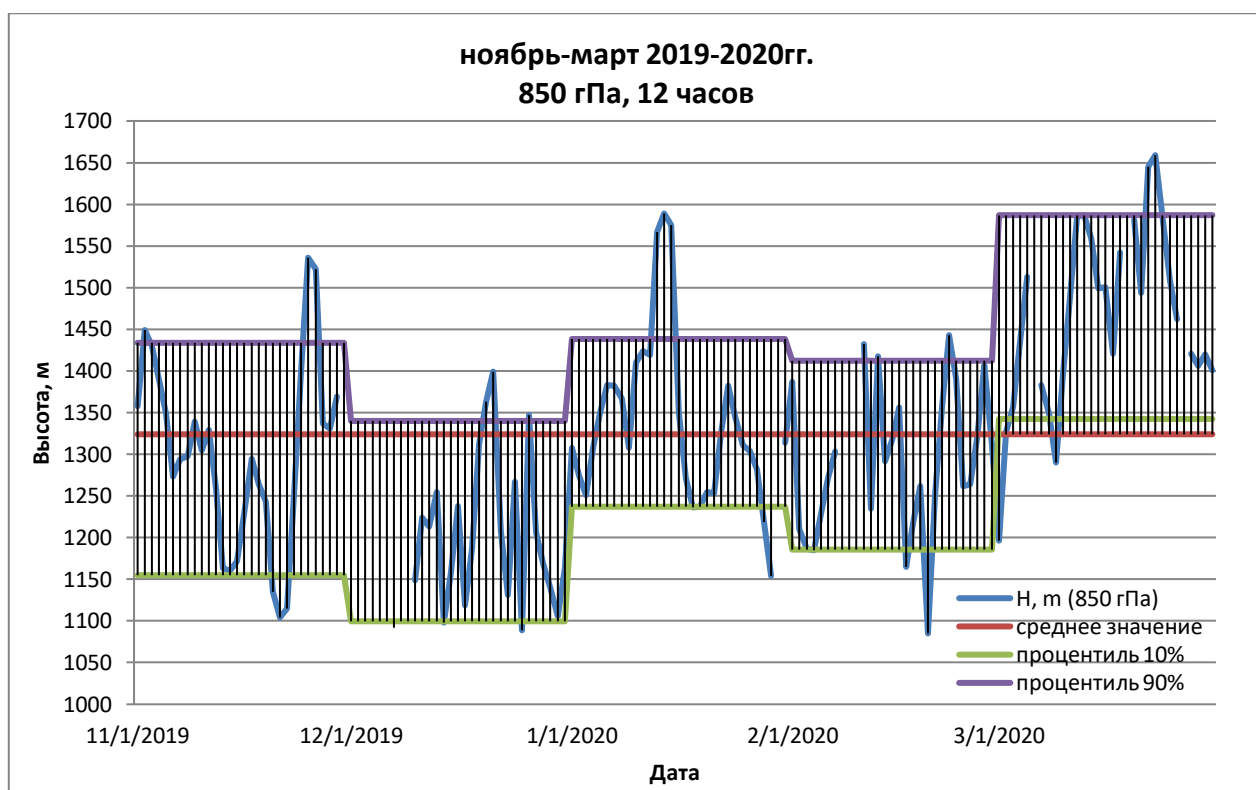


Рисунок 6 – Временной ход давления 850 гПа на станции 70200

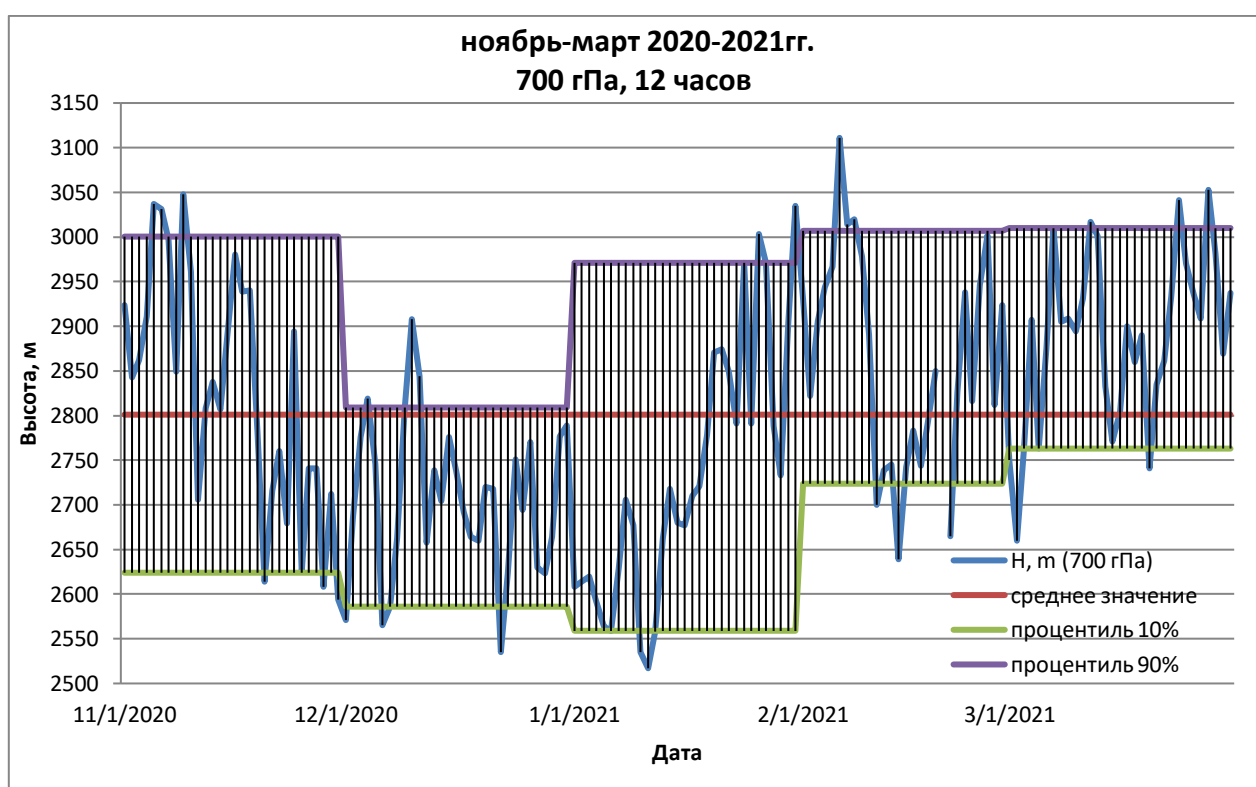


Рисунок 7 – Временной ход давления 700 гПа на станции 70200

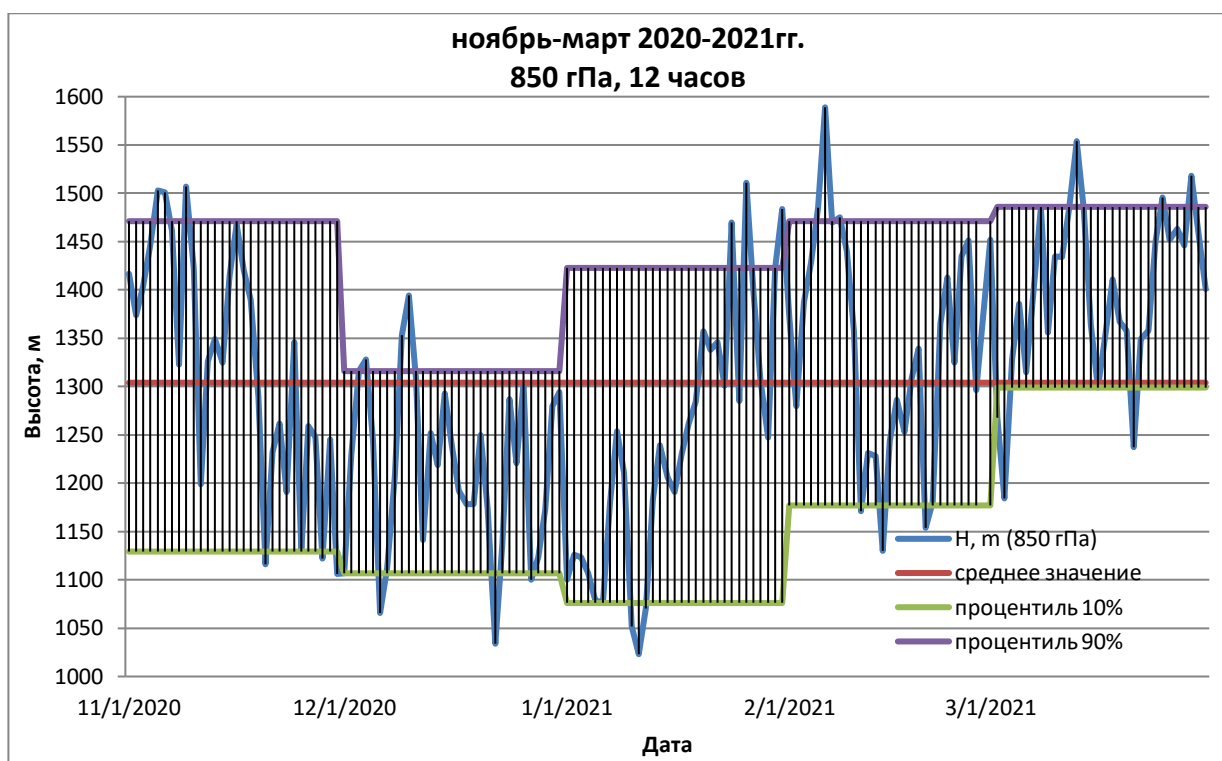


Рисунок 8 – Временной ход давления 850 гПа на станции 70200

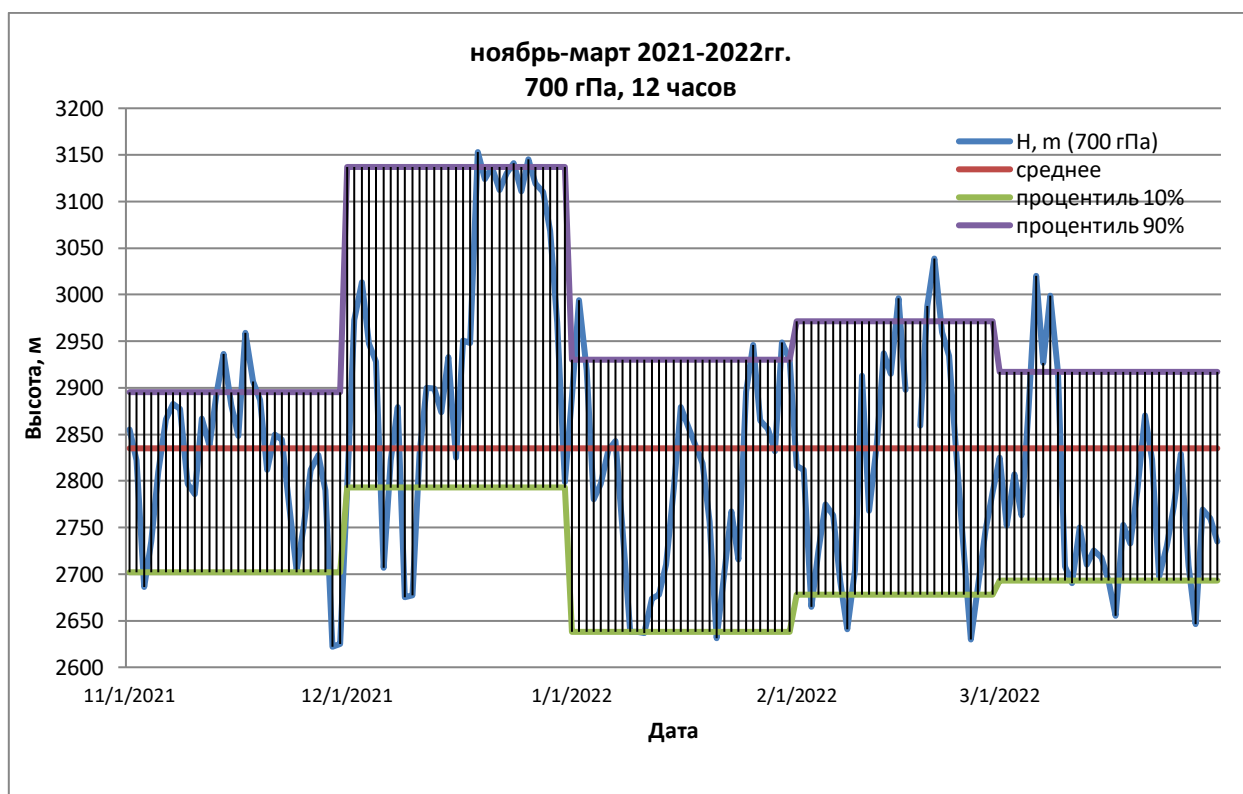


Рисунок 9 – Временной ход давления 700 гПа на станции 70200

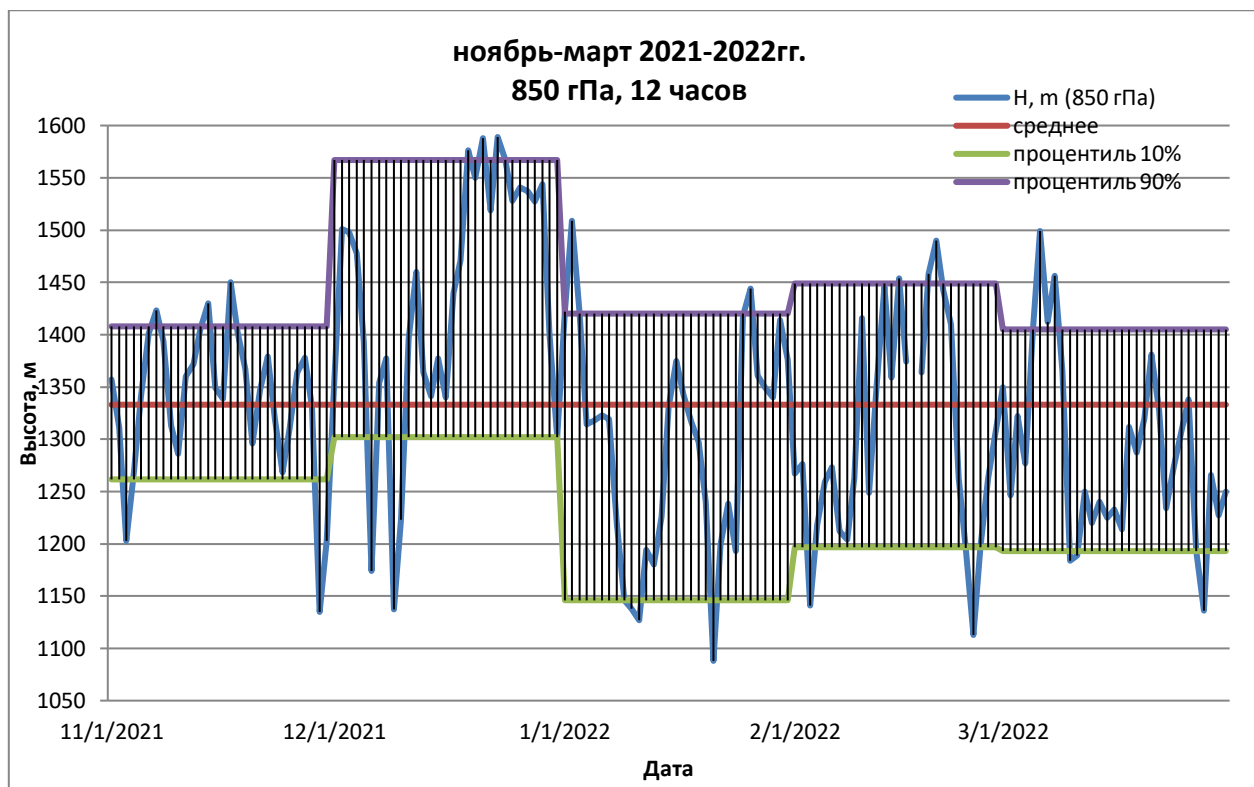


Рисунок 10 – Временной ход давления 850 гПа на станции 70200

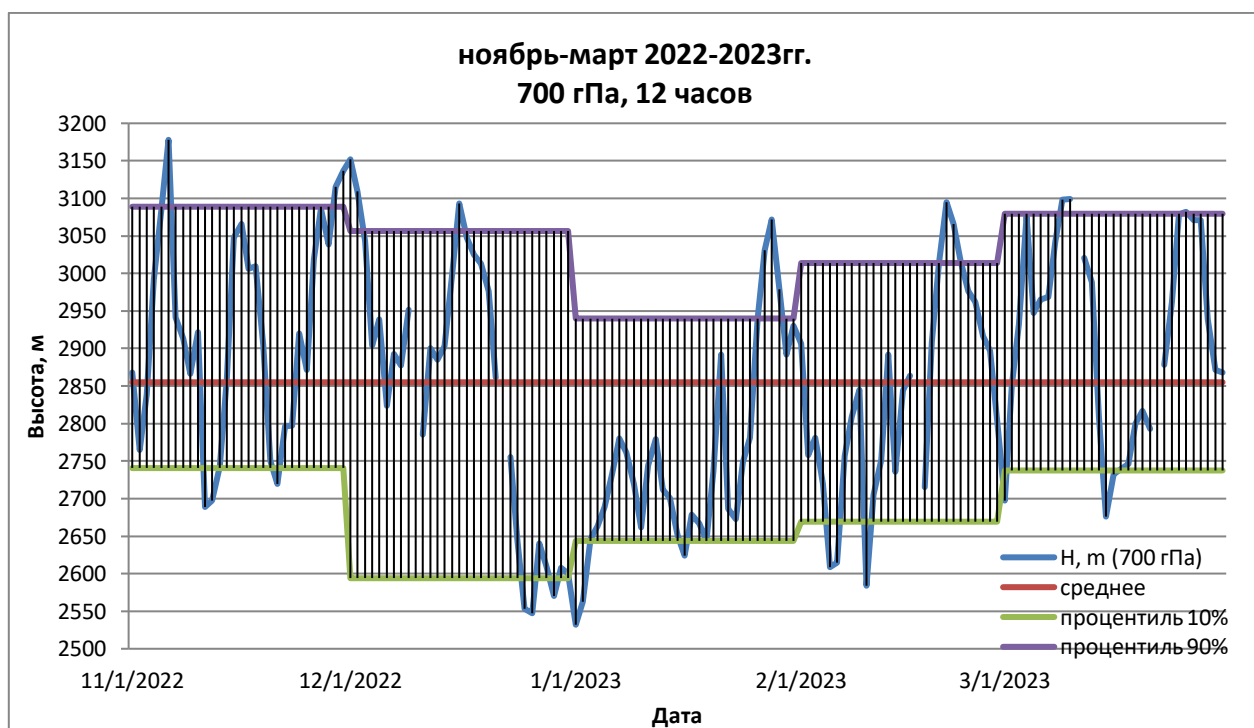


Рисунок 11 – Временной ход давления 700 гПа на станции 70200

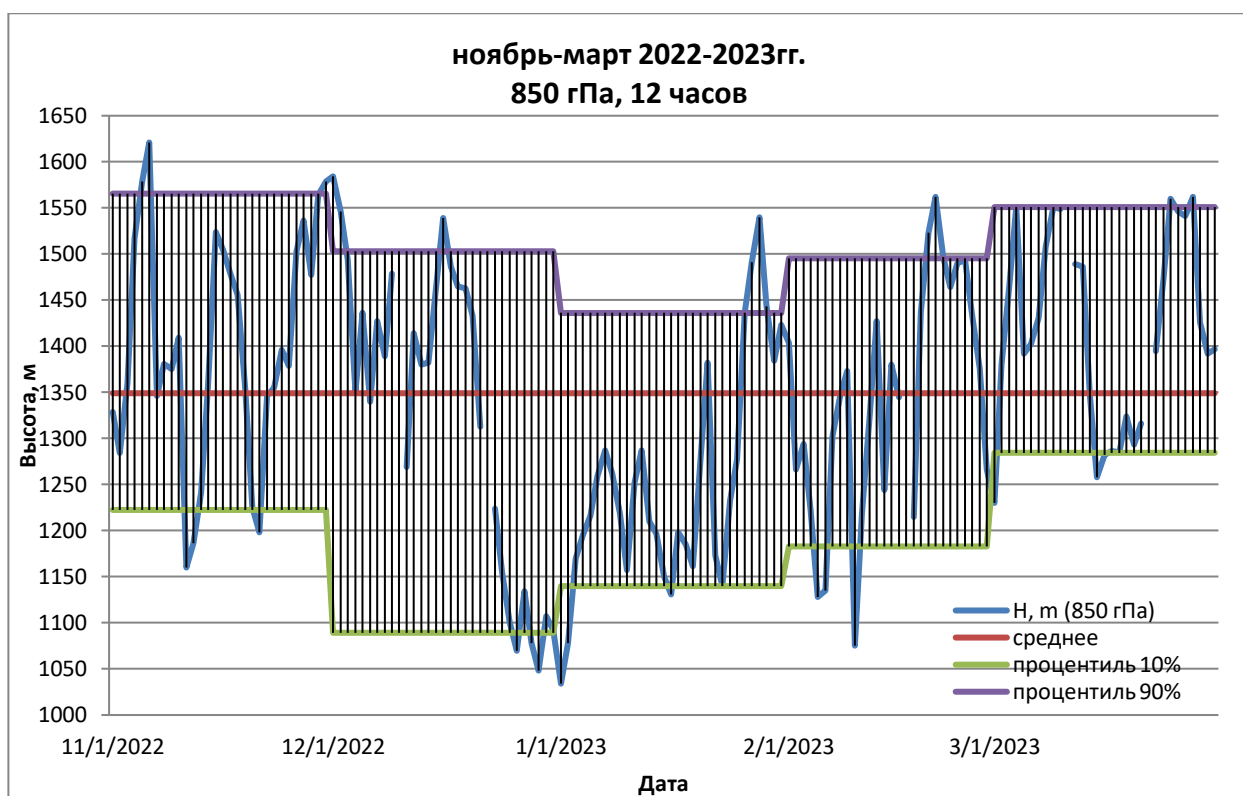


Рисунок 12 – Временной ход давления 850 гПа на станции 70200

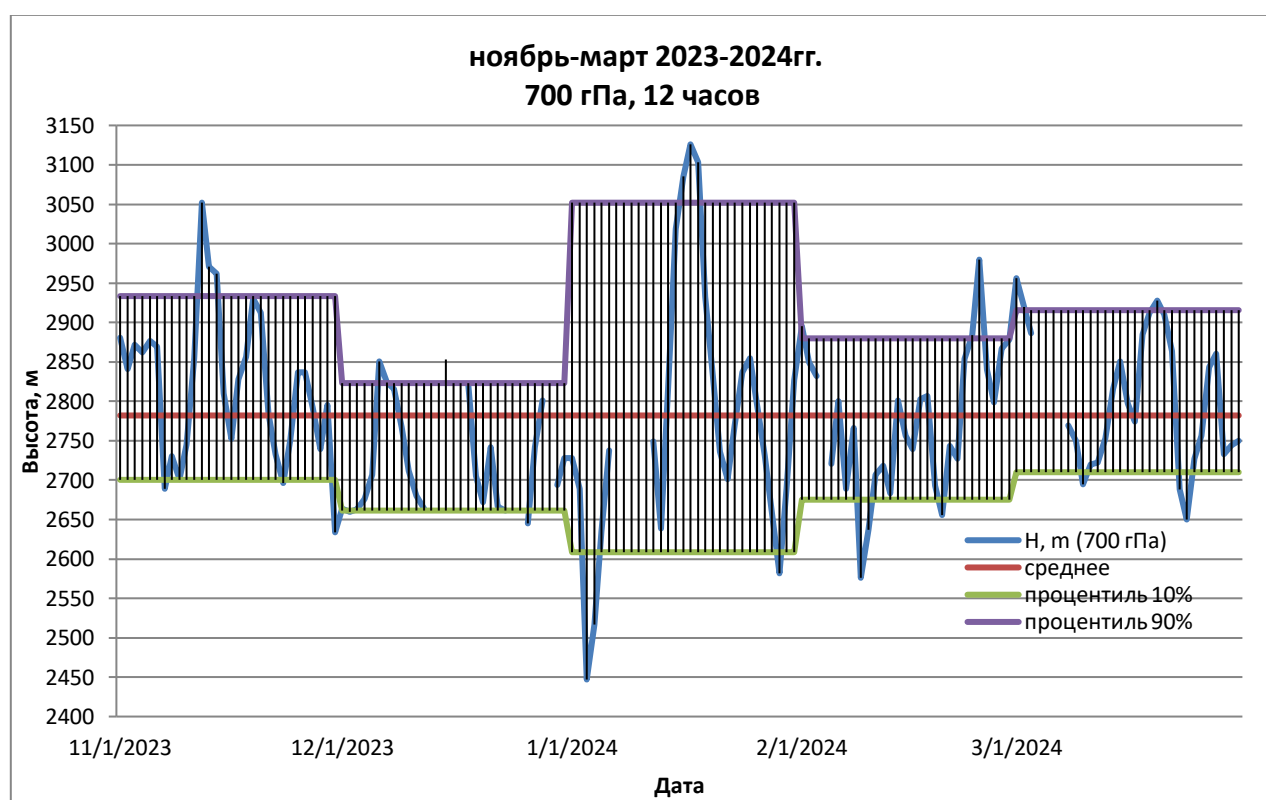


Рисунок 13 – Временной ход давления 700 гПа на станции 70200

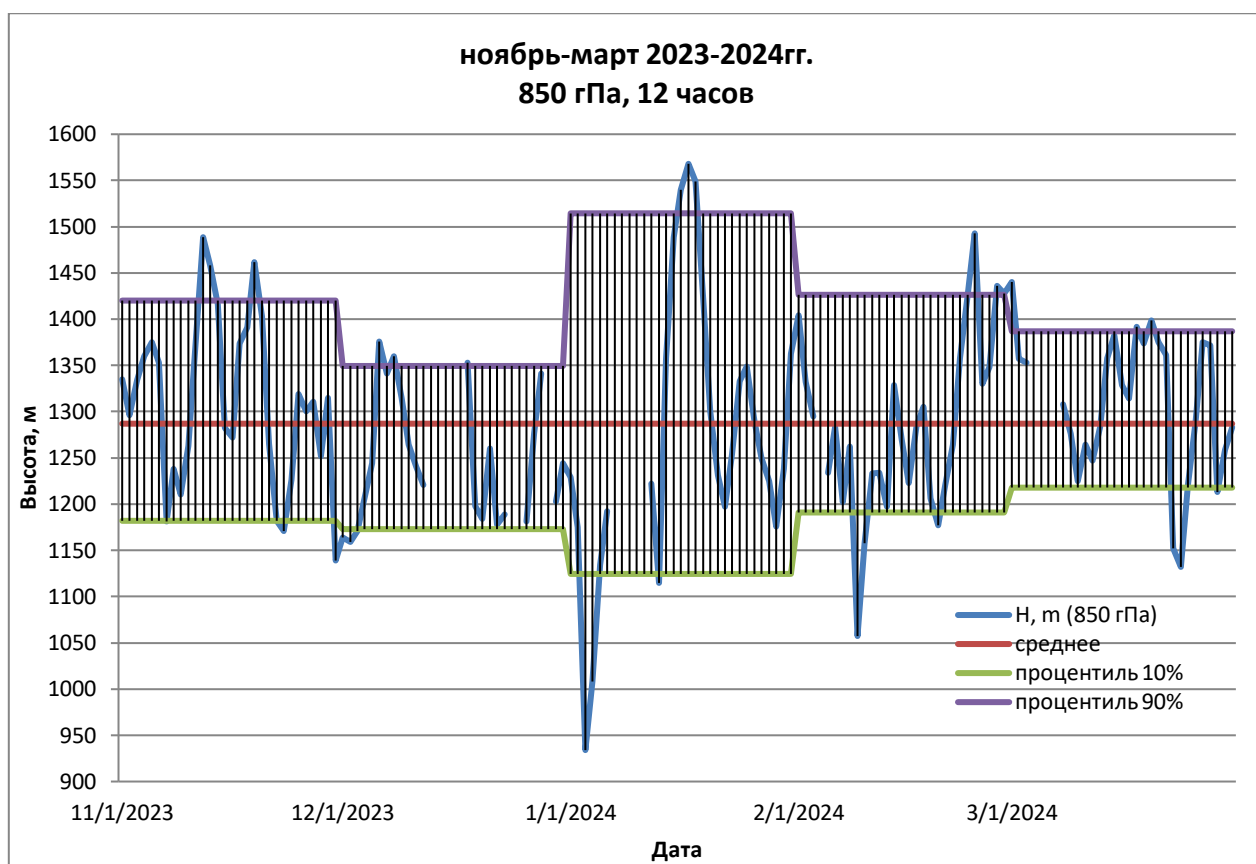


Рисунок 14 – Временной ход давления 850 гПа на станции 70200

На графиках видно, что высокие аномалии (90-й процентиль):

Наблюдаются периоды с аномально высокими значениями геопотенциала, что может указывать на ослабление Алеутского минимума или влияние антициклонических процессов. В ноябре 2021 года (11.11–29.11) зафиксированы высокие аномалии на 850 гПа, что могло быть связано с блокирующими антициклонами.

В 2022-2023 году высокие аномалии на 850 гПа наблюдались в ноябре (1565.5 м) и марте (1551 м). В 2023-2024 году высокие аномалии были менее выражены, с пиком в январе (1514.5 м).

Низкие аномалии (10-й процентиль):

Низкие значения геопотенциала соответствуют усилению Алеутского минимума, что характерно для активной циклонической деятельности. В январе 2021 года (10.01–12.01) и декабре 2020 года (09.12–11.12) отмечены периоды с низкими аномалиями, что указывает на

глубокие циклоны. В 2022-2023 году самые низкие значения зафиксированы в декабре (1089.2 м на 850 гПа).

В 2023-2024 году минимальные значения также приходятся на декабрь (1173.1 м на 850 гПа).

Однозначные выводы о влиянии изменчивости давления на поток волновой активности в зоне действия Алеутского минимума сделать сложно, так как достаточно много пропусков в данных.

3.1.2 Исландский минимум.

Так же, как и для предыдущей станции были взяты данные с сайта данных зондирования Департамента атмосферных наук университета Вайоминга со станции 04018 (Исландия, Исафьордюр) [17], и построены графики временного хода давления 700 гПа, 850 гПа, а так же аномалии 10-й и 90-й процентиля, чтобы проследить связь между изменчивостью давления и реакцией на эту изменчивость потока волновой активности (Рисунок 15-24).

На графиках можно увидеть, что высокие аномалии (90-й процентиль):

В 2019–2020 году высокие аномалии наблюдались в ноябре и декабре, что совпадает с периодами активной циклонической деятельности.

В 2021–2022 году аномалии были менее выражены, за исключением марта, когда значения превысили 1500 м на уровне 850 гПа.

В 2022-2023 году: периоды 29.12.22-01.01.23 и 04.12.22-07.12.22.

В 2023-2024 году: периоды 14.11.23-21.11.23 и 29.11.23-02.12.23.

Низкие аномалии (10-й процентиль):

Наименьшие значения отмечались в январе и феврале, особенно в 2020–2021 году, что может быть связано с усилением антициклонических условий.

В 2021–2022 году низкие аномалии были зафиксированы в ноябре и начале декабря, что указывает на раннее начало зимнего сезона.

В 2022-2023 году: периоды 07.01.23-09.01.23 и 25.02.23-04.03.23.

В 2023-2024 году: периоды 05.01.24-18.01.24 и 13.12.23-15.12.23.

Однозначные выводы о влиянии изменчивости давления на поток волновой активности в зоне действия Исландского минимума сделать сложно, так как достаточно много пропусков в данных.

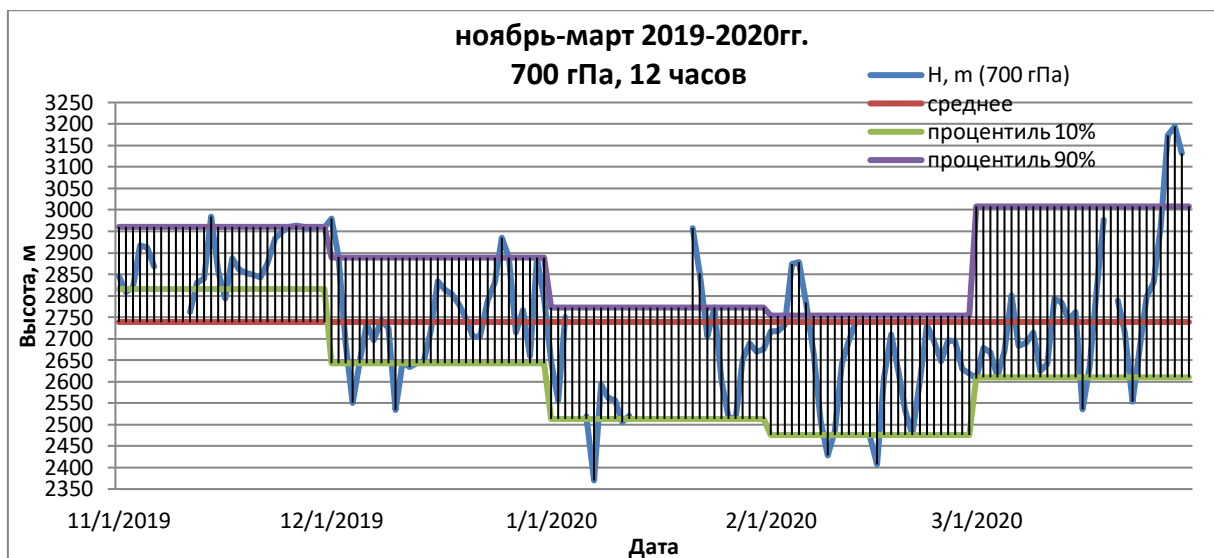


Рисунок 15 – Временной ход давления 700 гПа на станции 04018

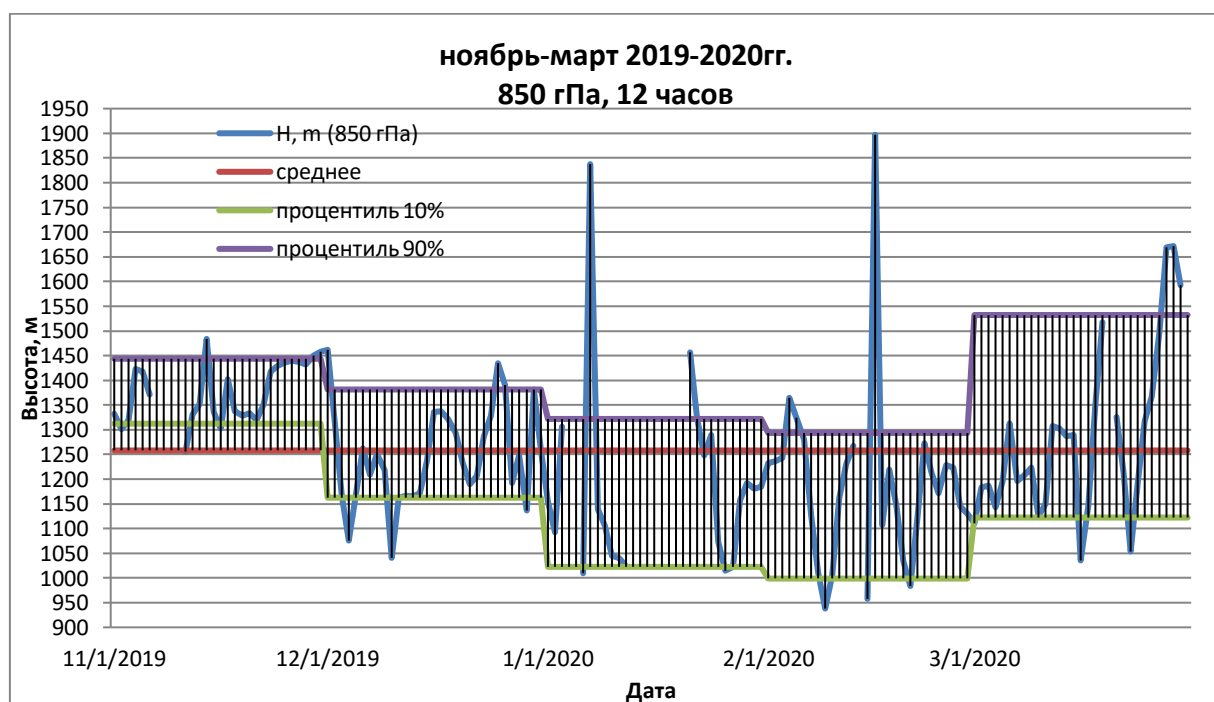


Рисунок 16 – Временной ход давления 850 гПа на станции 04018

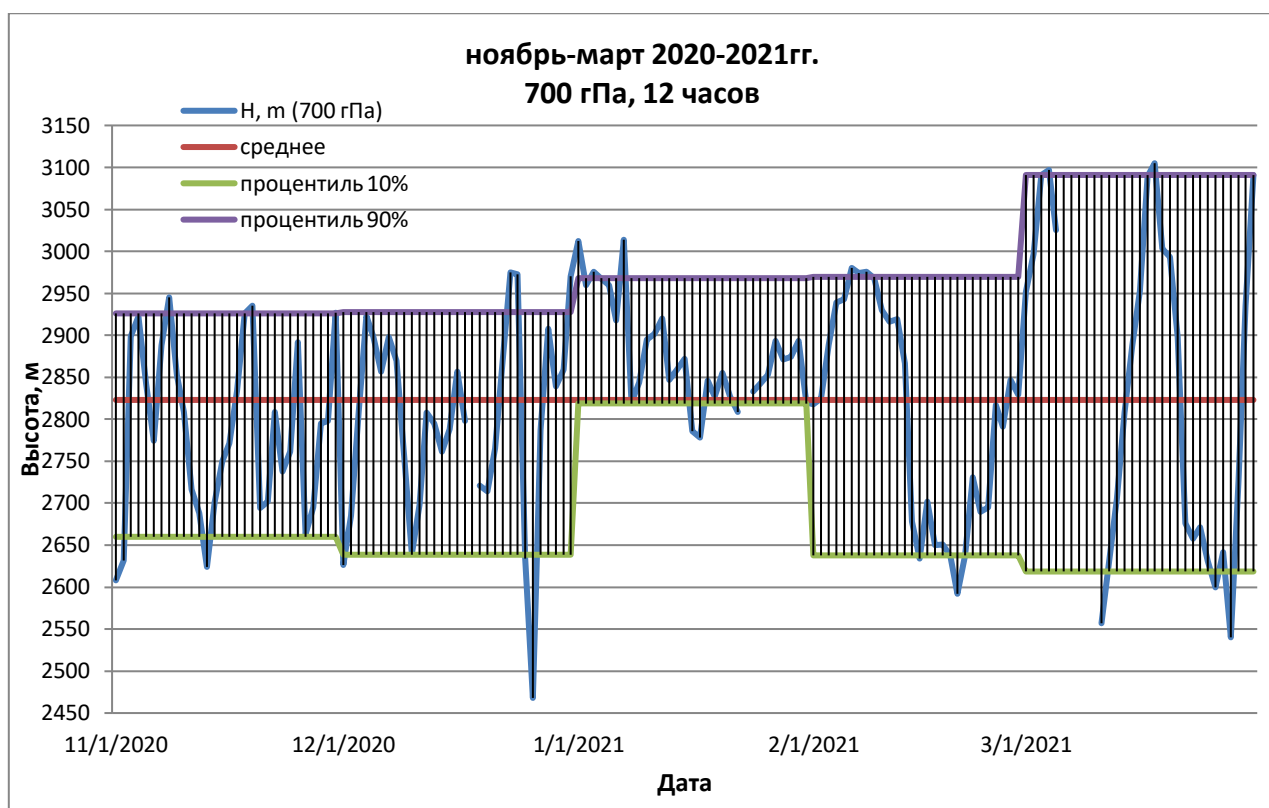


Рисунок 17 – Временной ход давления 700 гПа на станции 04018

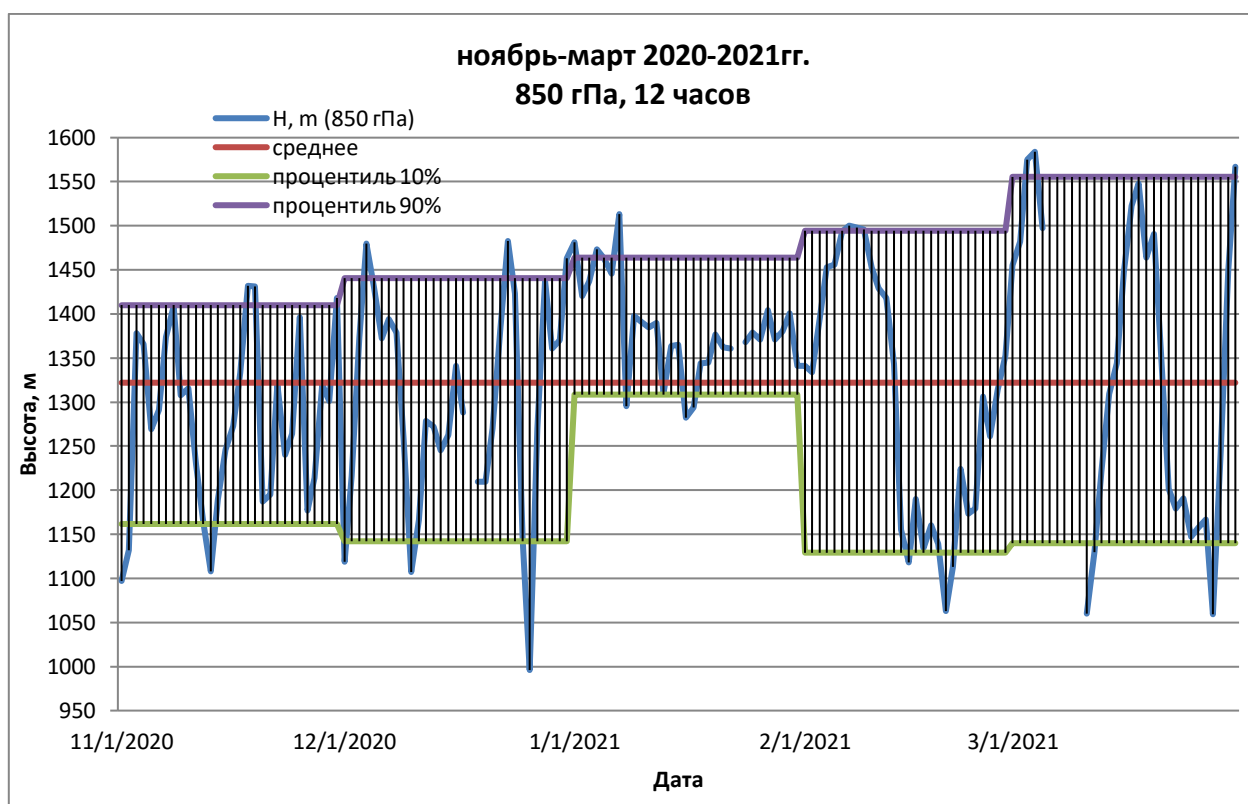


Рисунок 18 – Временной ход давления 850 гПа на станции 04018

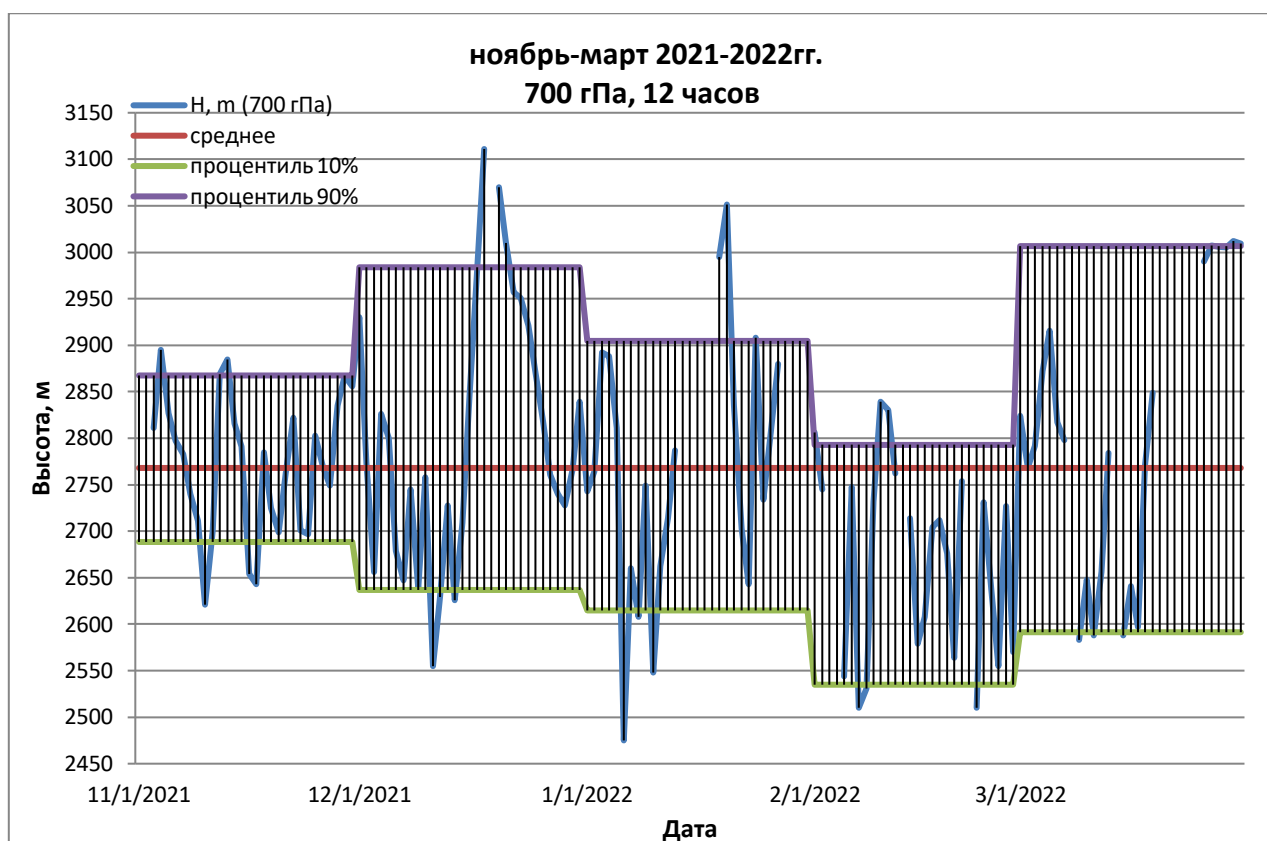


Рисунок 19 – Временной ход давления 700 гПа на станции 04018

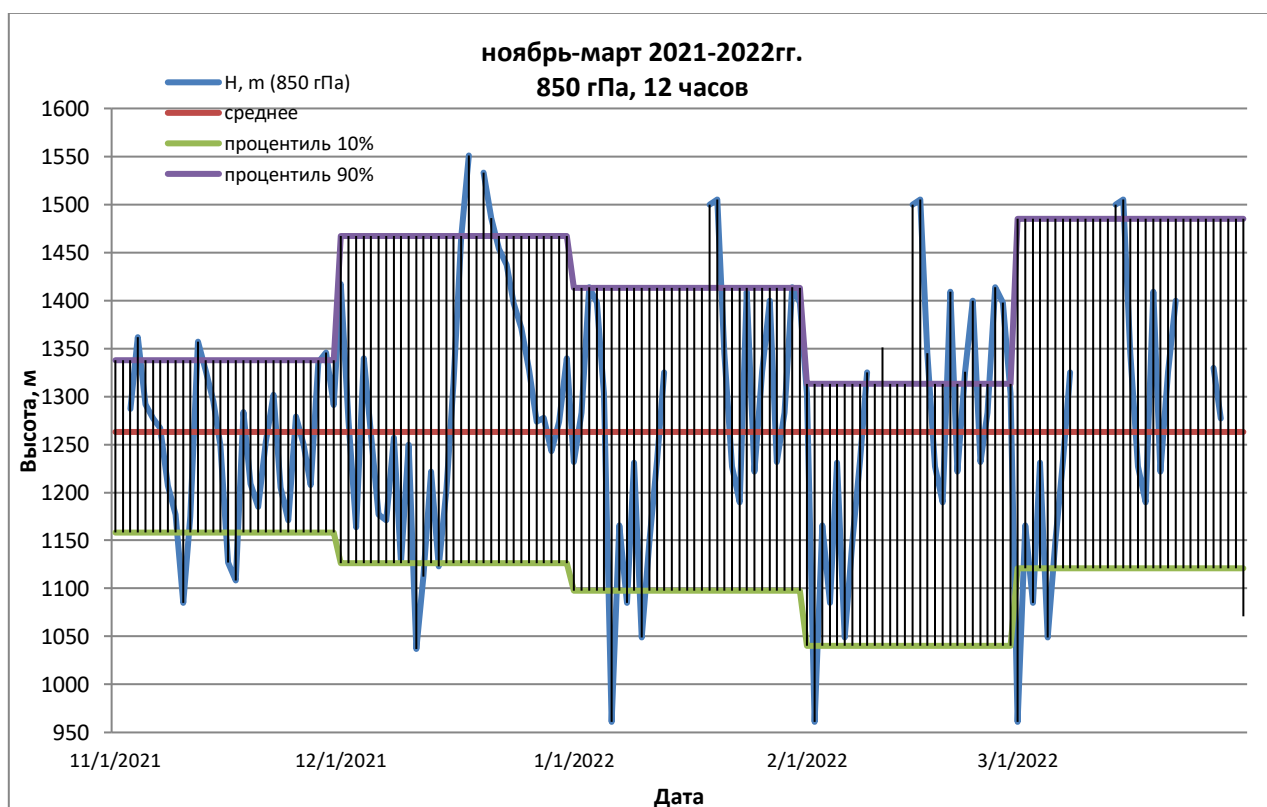


Рисунок 20 – Временной ход давления 850 гПа на станции 04018

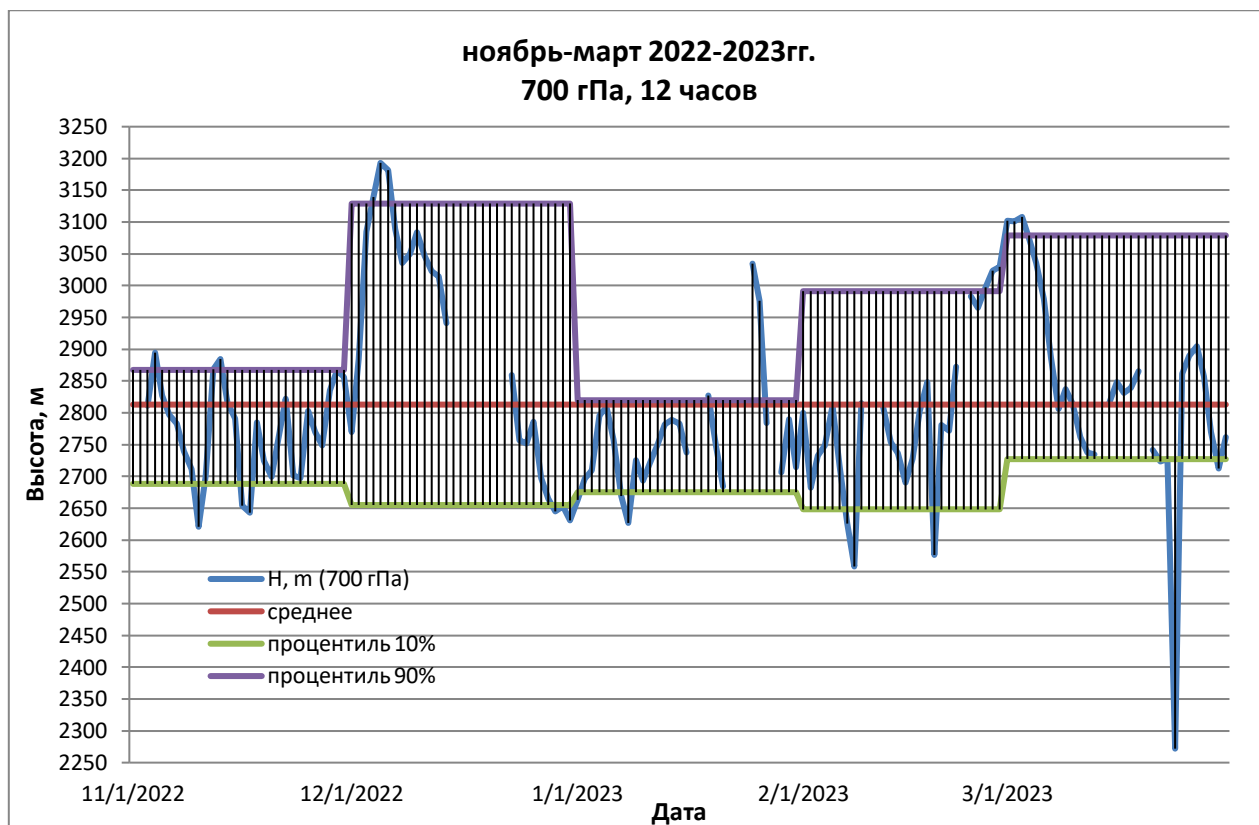


Рисунок 21 – Временной ход давления 700 гПа на станции 04018

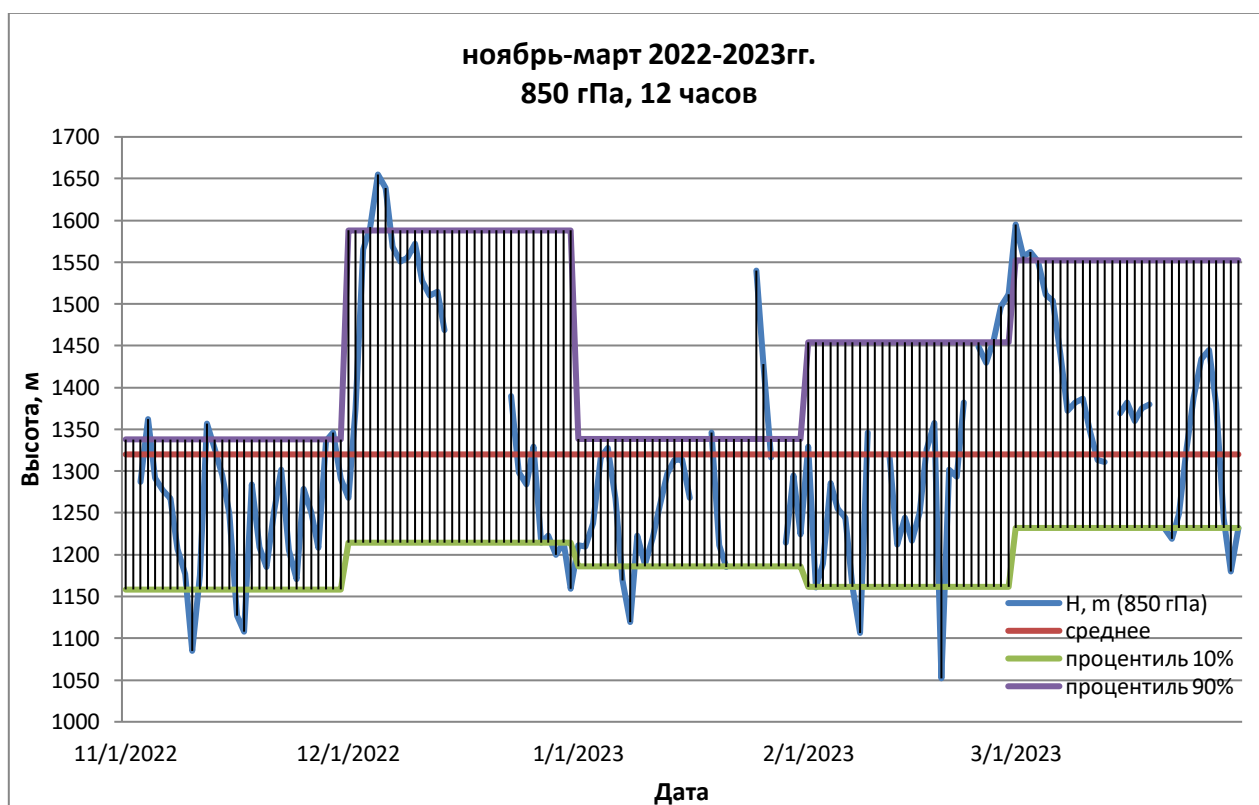


Рисунок 22 – Временной ход давления 850 гПа на станции 04018

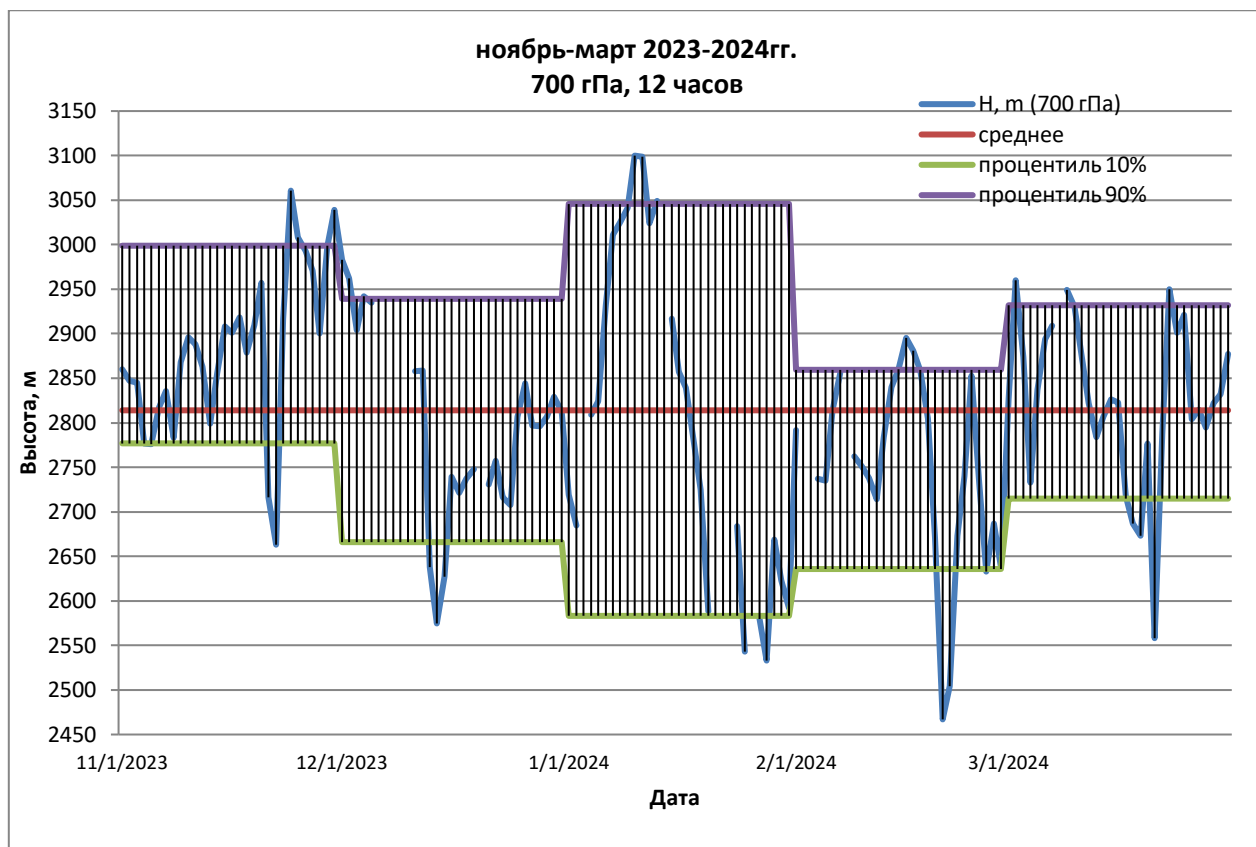


Рисунок 23 – Временной ход давления 700 гПа на станции 04018

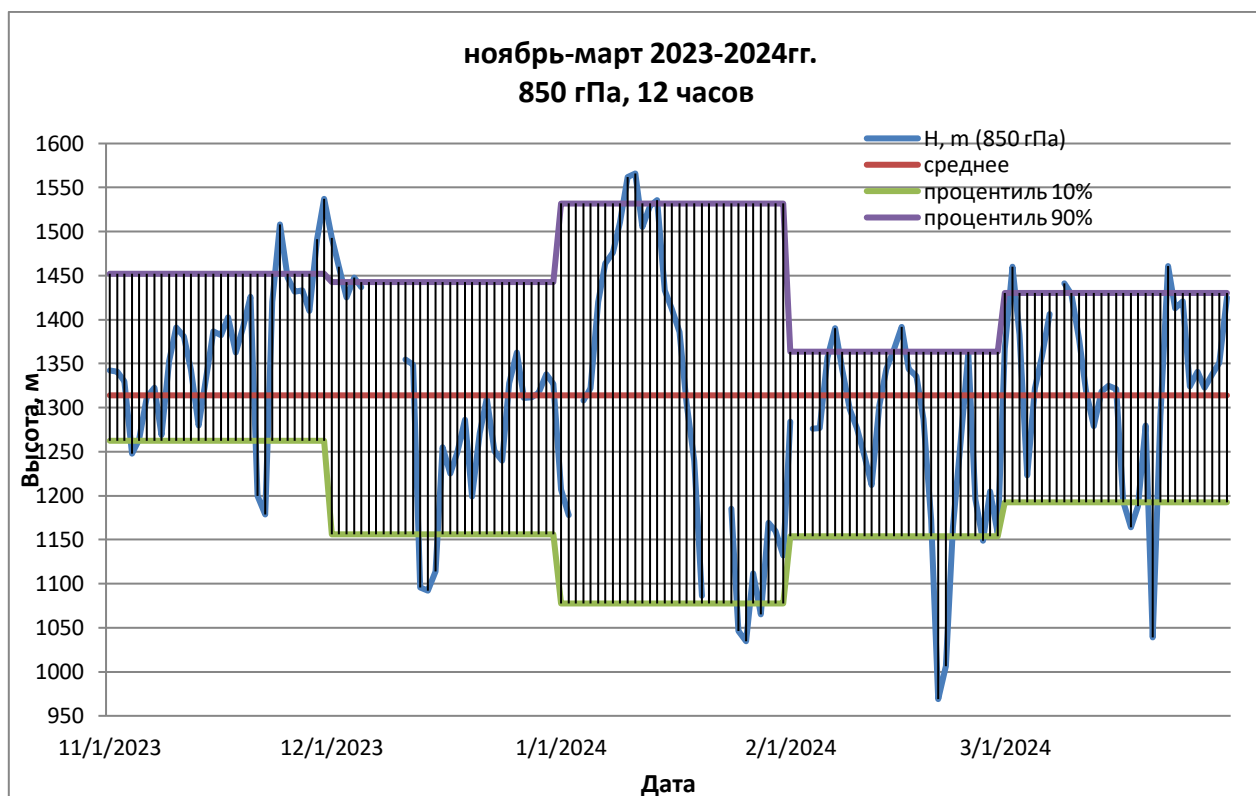


Рисунок 24 – Временной ход давления 850 гПа на станции 04018

3.1.3 Сибирский максимум

Для того чтобы построить графики временного хода давления данные были взяты с сайта данных зондирования Департамента атмосферных наук университета Вайоминга [17] (станция 44292, Монголия). Построенные графики временного хода давления, а так же аномалии 10-й и 90-й процентиля, позволяют проследить связь между изменчивостью поля давления и реакцией на изменчивость потока волновой активности (Рисунок 25-34).

На графике видно, что низкие аномалии (10% процентиль): Для 850 гПа: 1350–1450 м.

Для 700 гПа: 2800–2900 м.

Высокие аномалии (90% процентиль): Для 850 гПа: 1500–1600 м.

Для 700 гПа: 3000–3100 м.

Высокие аномалии на 850 гПа наблюдались с 05.11.21 по 13.11.21. Низкие аномалии отсутствовали.

Высокие аномалии зафиксированы с 23.12.21 по 26.12.21

Высокие аномалии на 850 гПа с 02.12.22 по 10.12.22. Низкие аномалии не выделены.

Сильные аномалии 26.12.22: 1533 м и начале января (01.01.23: 1587 м).

Высокие аномалии в 12.02.23: 1596 м), в марте — ближе к норме.

Высокие аномалии с 08.11.23 по 17.11.23. Низкие аномалии с 08.11 по 20.11.23.

Аномалии в феврале 20.02.24: 1591 м, в марте — ближе к средним значениям.

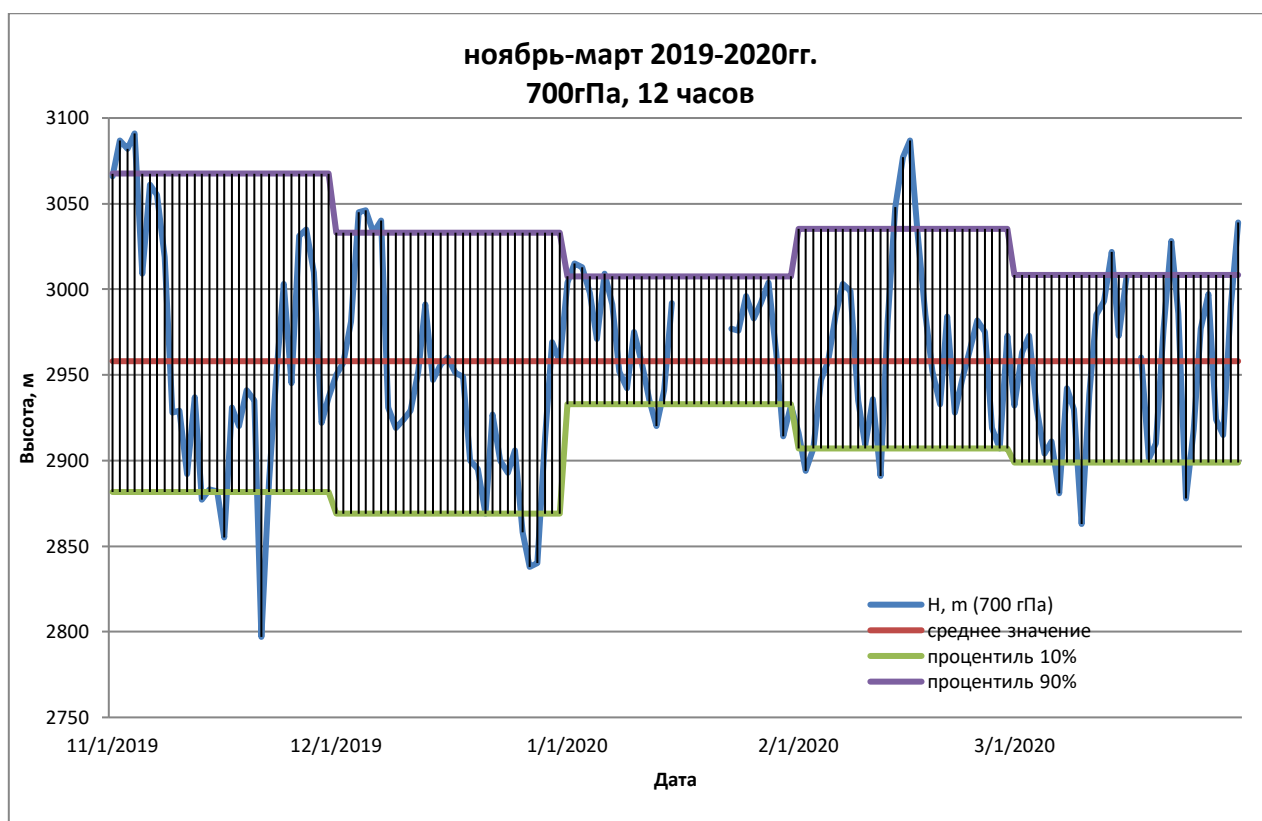


Рисунок 25 – Временной ход давления 700 гПа на станции 44292

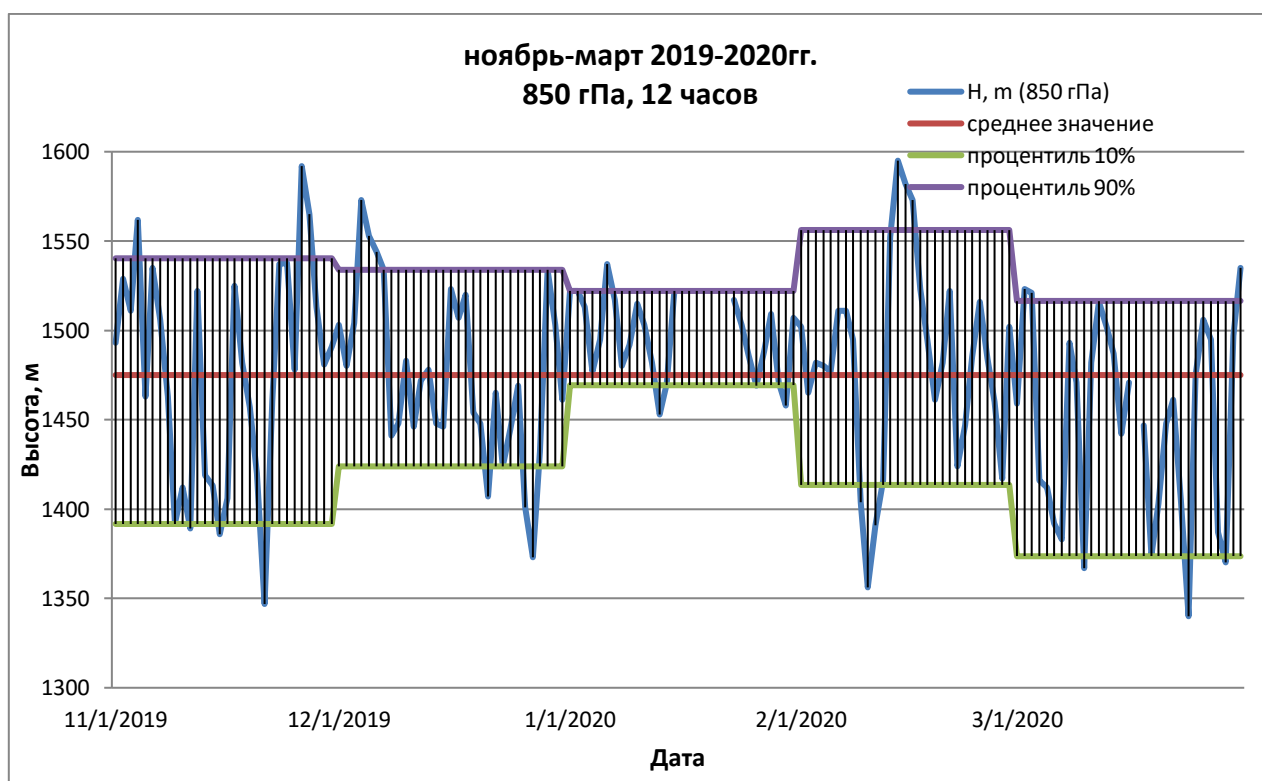


Рисунок 26 – Временной ход давления 850 гПа на станции 44292

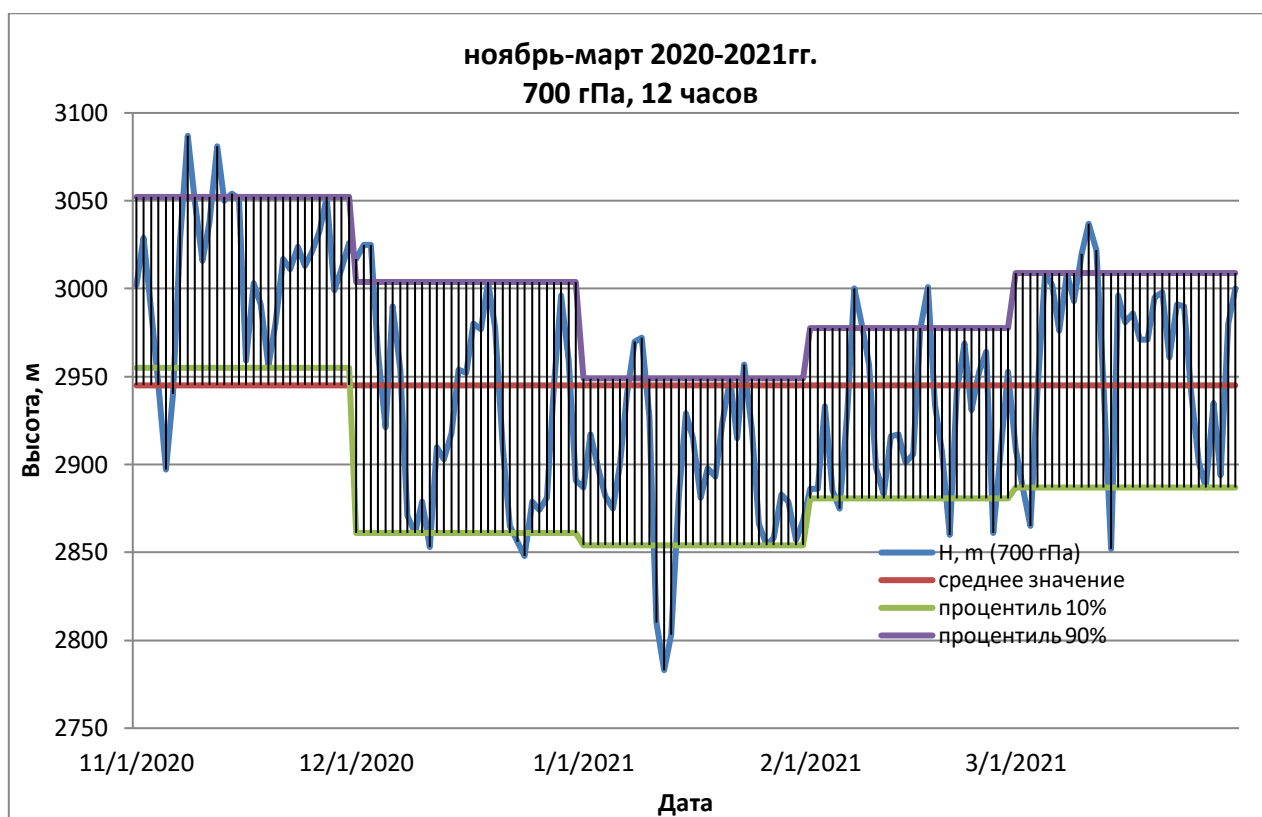


Рисунок 27 – Временной ход давления 700 гПа на станции 44292

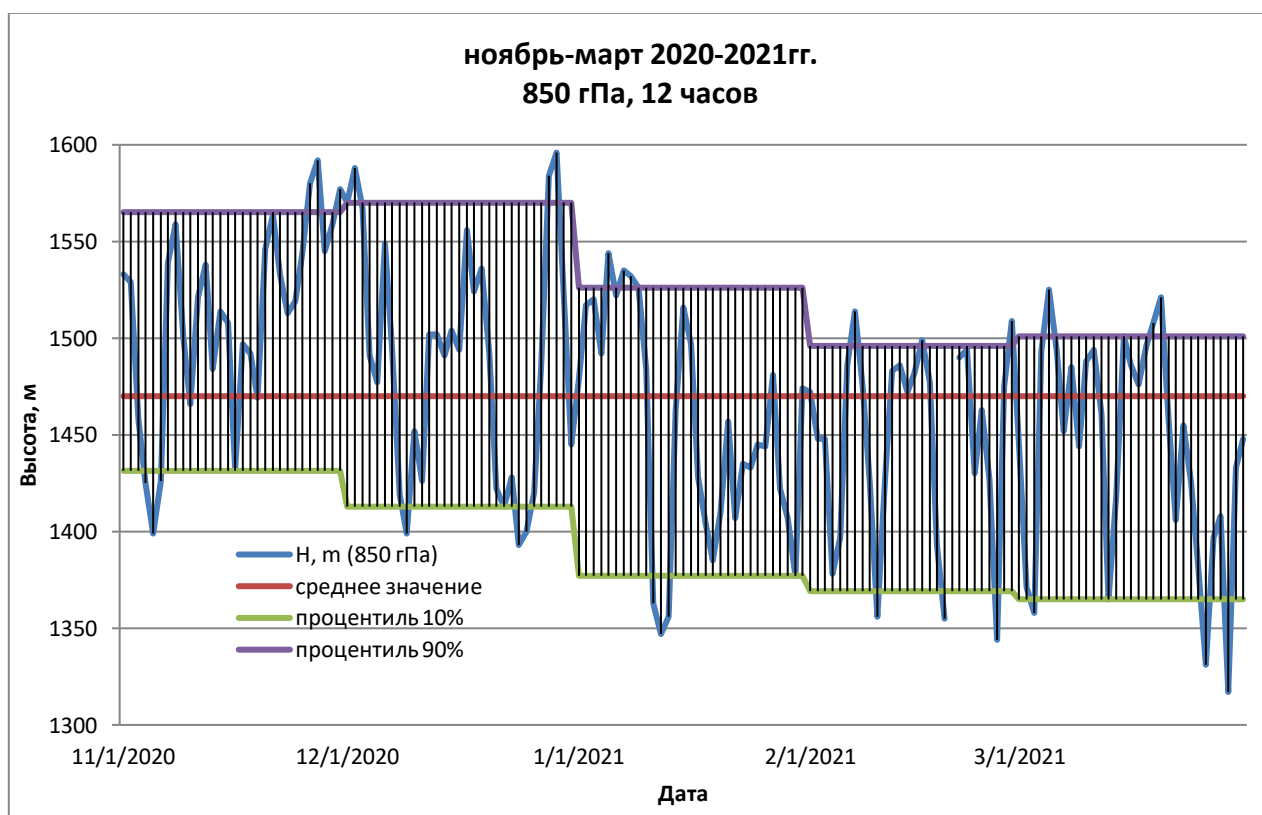


Рисунок 28 – Временной ход давления 850 гПа на станции 44292

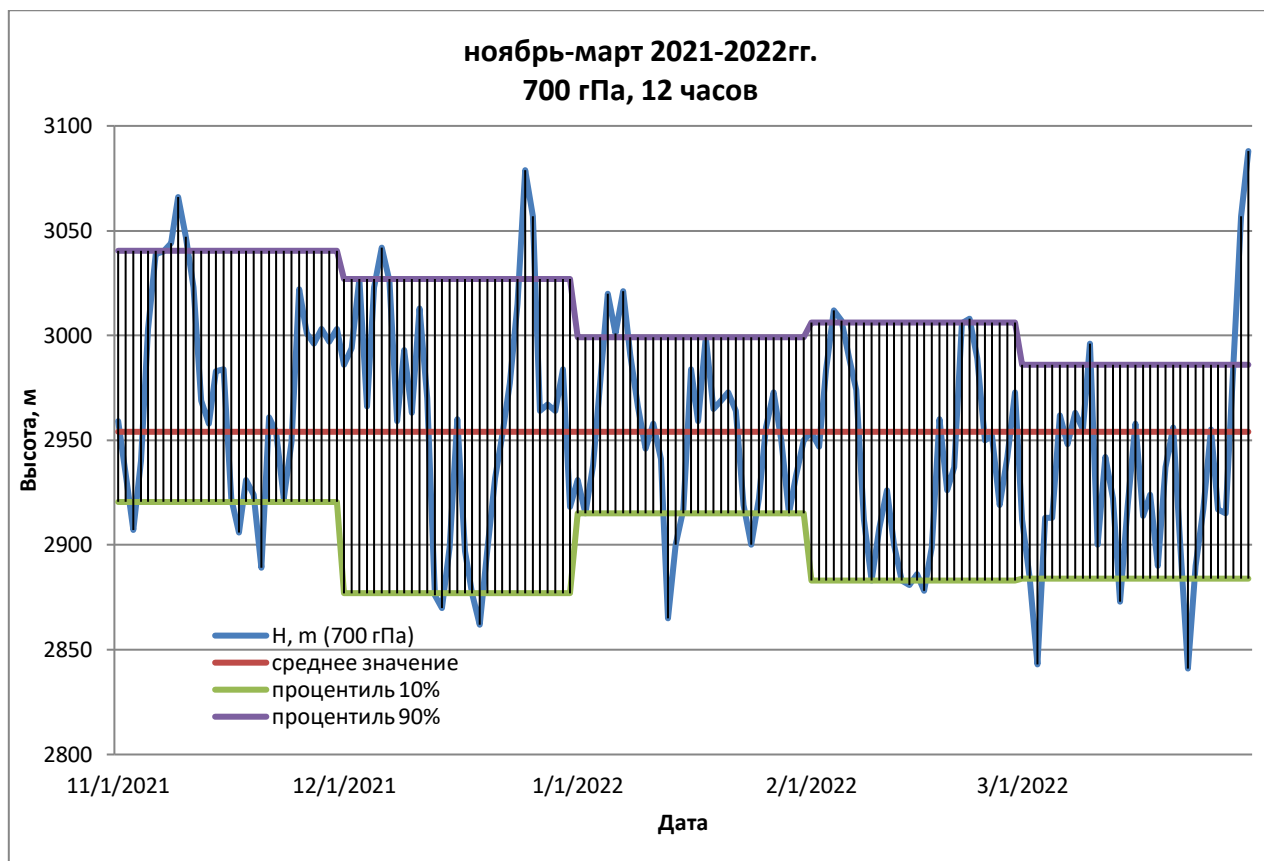


Рисунок 29 – Временной ход давления 700 гПа на станции 44292

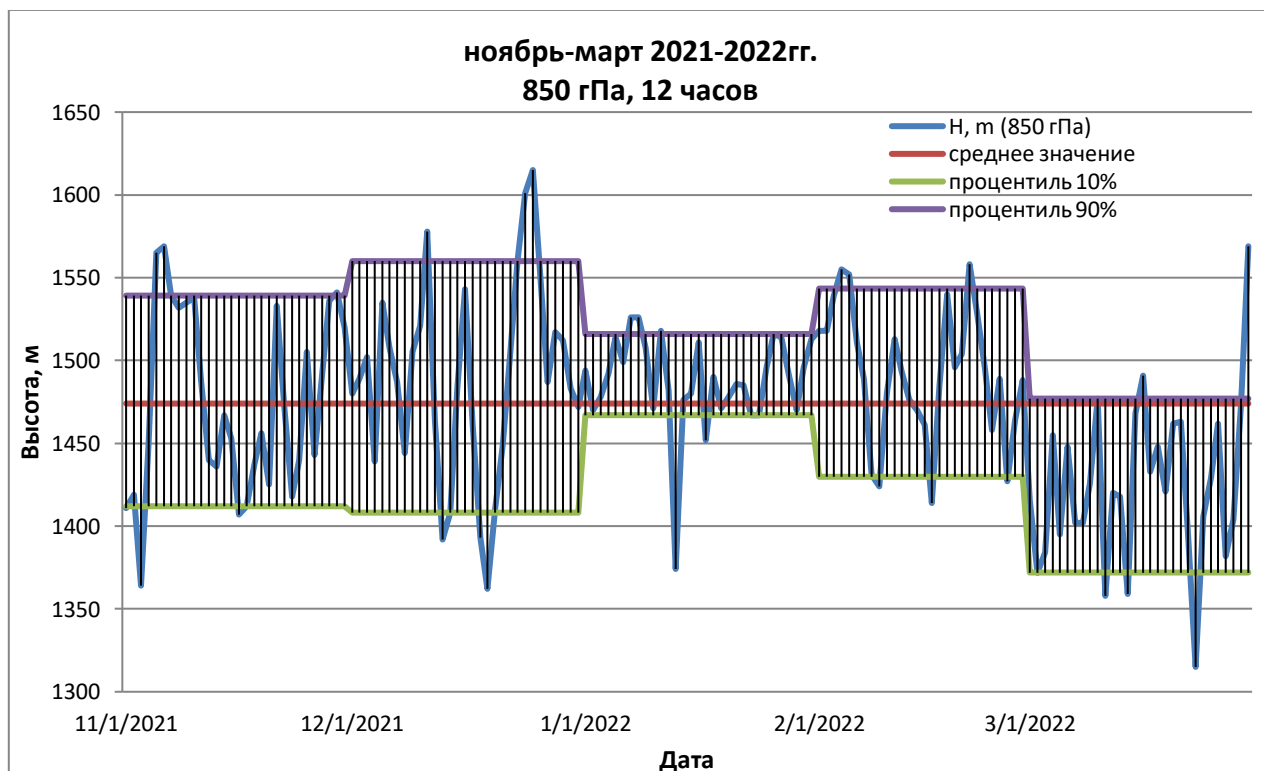


Рисунок 30 – Временной ход давления 850 гПа на станции 44292

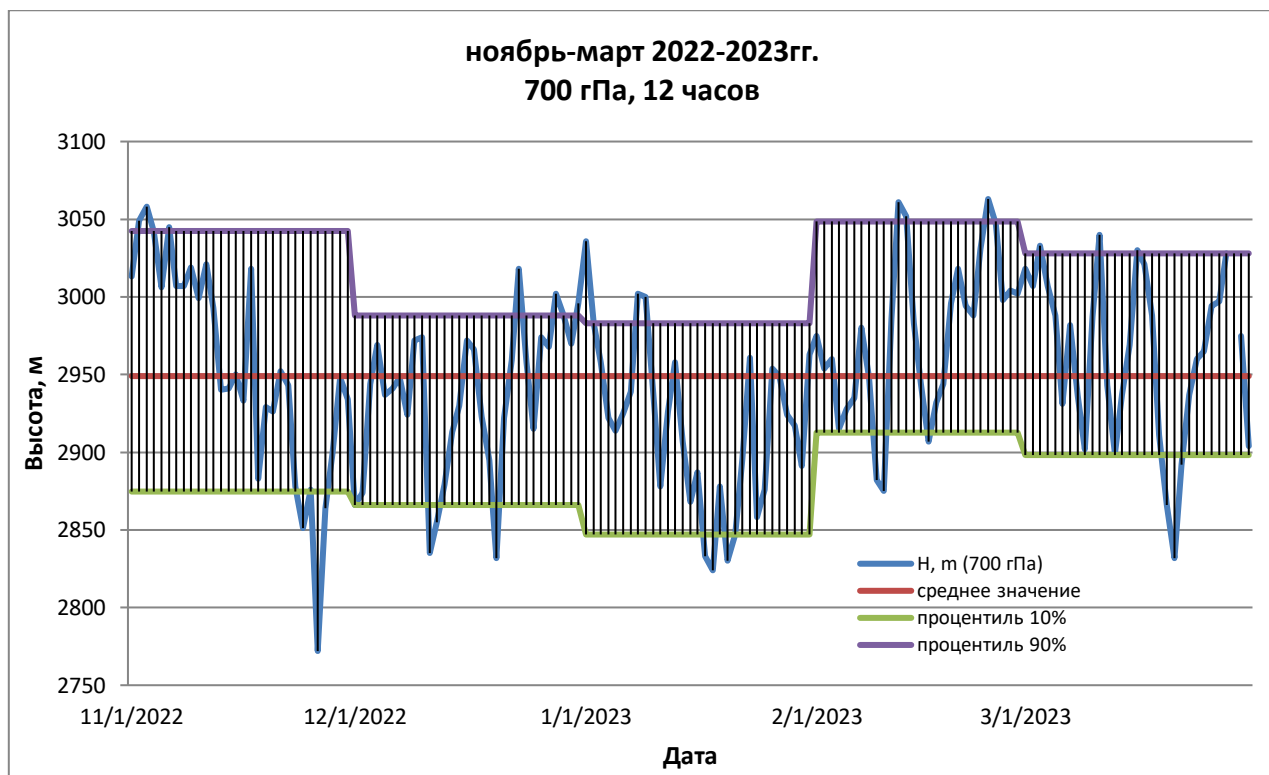


Рисунок 31 – Временной ход давления 700 гПа на станции 44292

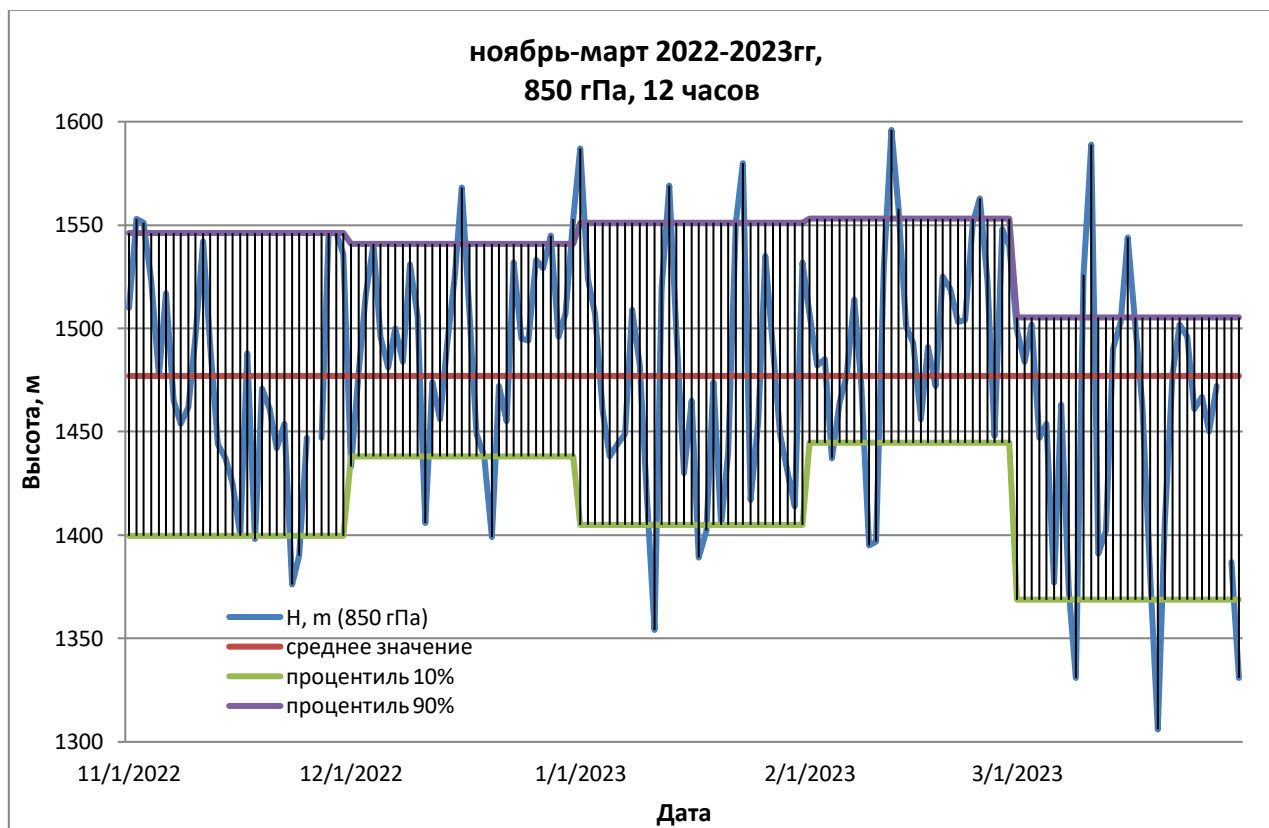


Рисунок 32 – Временной ход давления 850 гПа на станции 44292

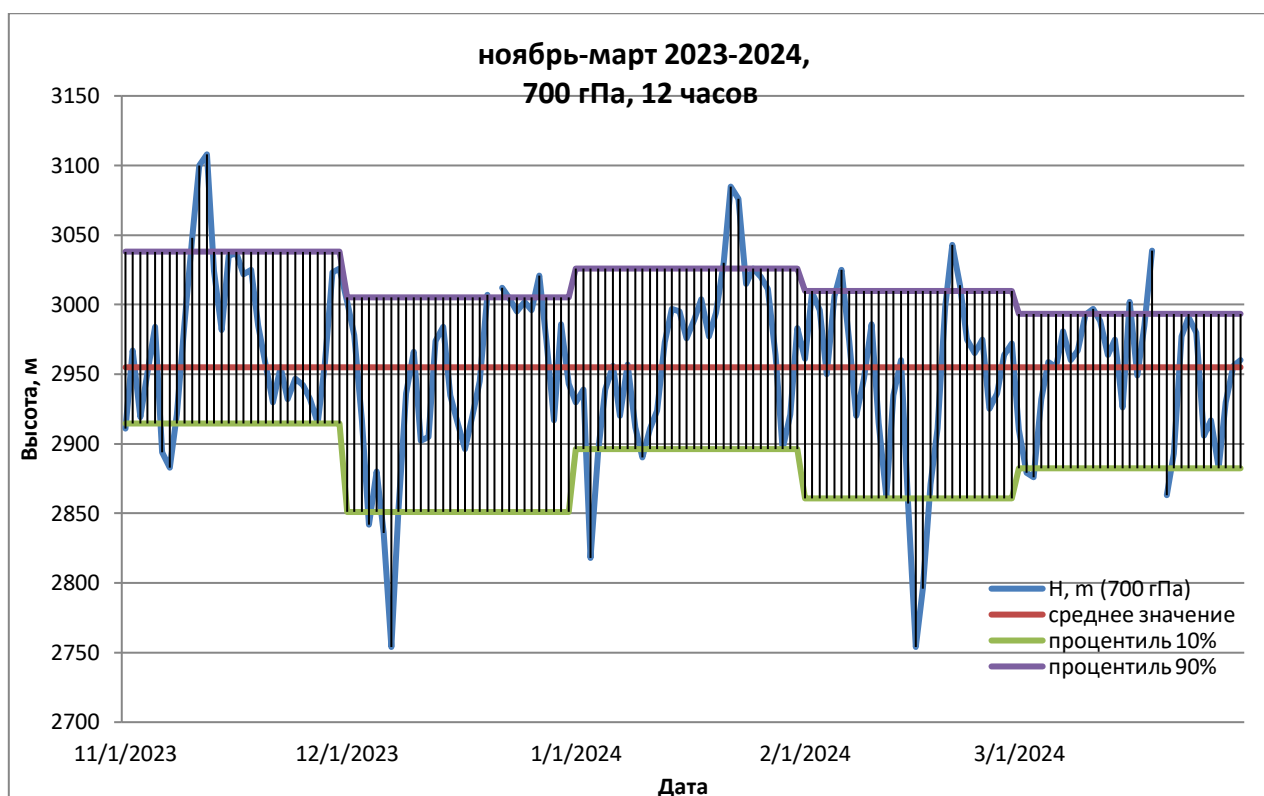


Рисунок 33 – Временной ход давления 700 гПа на станции 44292

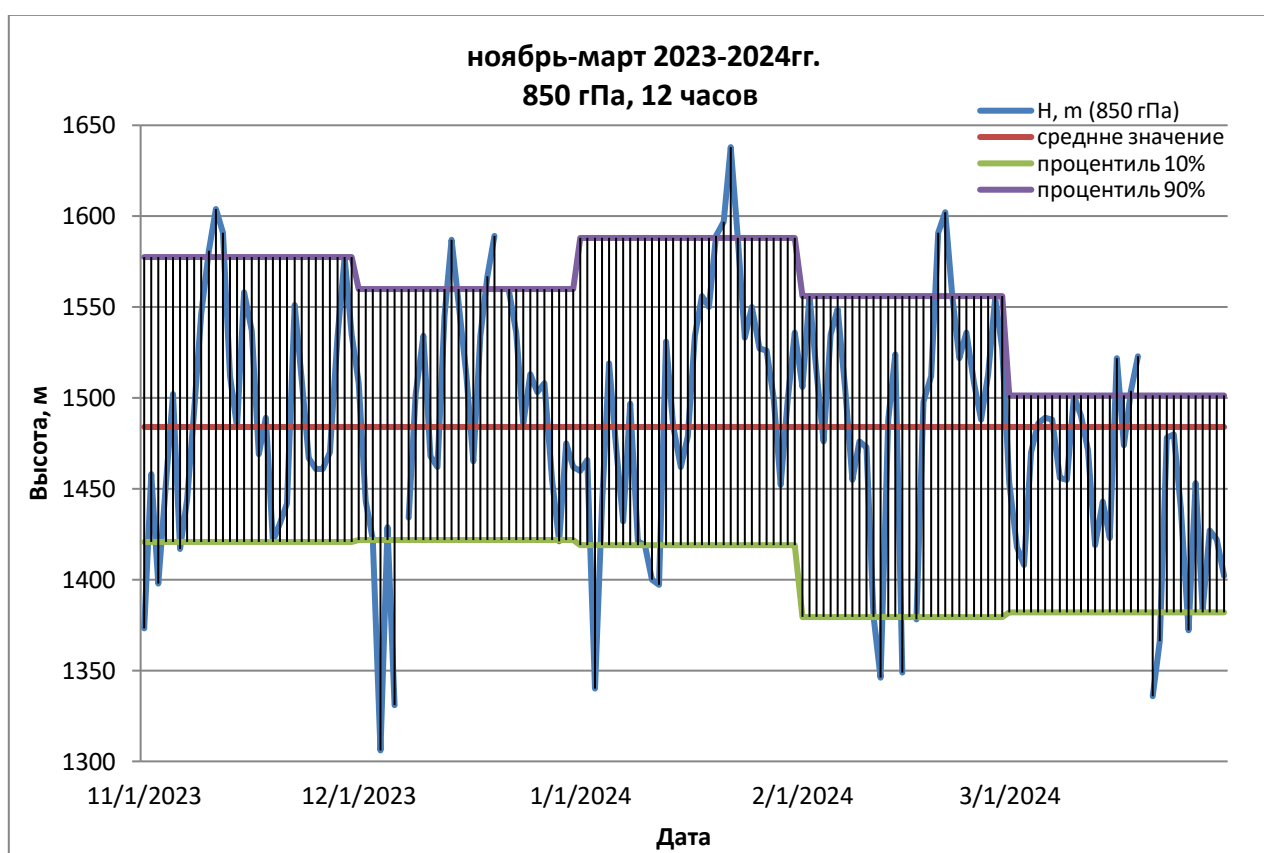


Рисунок 34 – Временной ход давления 850 гПа на станции 44292

3.2 Поток волновой активности компонента F_y и F_z

Каждая компонента потока волновой активности анализировалась отдельно и на нескольких уровнях, а точнее компонента F_y : 7, 13, 18 и 27 км, компонента F_z на высотах 7, 13, 18, 27 км.

3.2.1 Компонента F_y потока волновой активности в районе Алеутского минимума

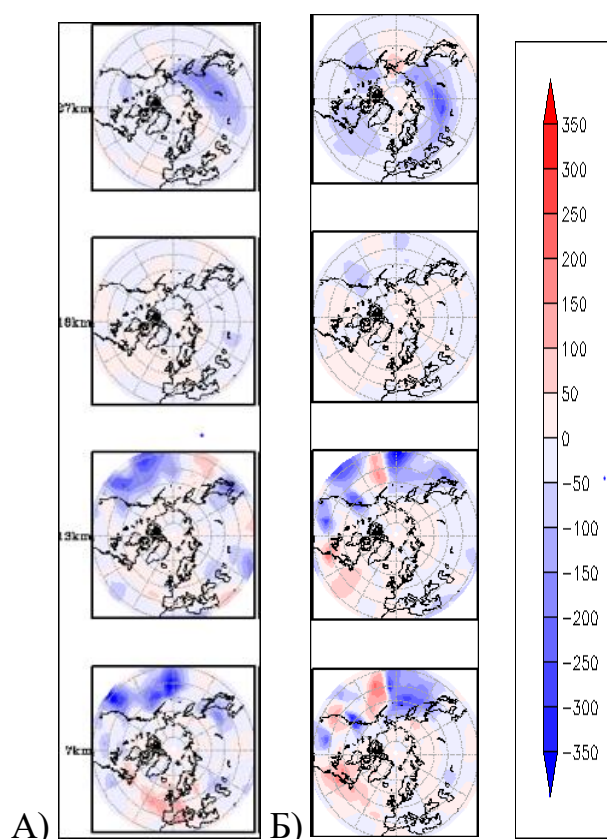


Рисунок 35 - А) Низкая аномалия (перцентиль 10%) 850 гПа 21.11-25.11 2019 год; Б) Высокая аномалия, (перцентиль 90%) 850 гПа 26.11-30.11 2019 год

На высоте 7 км в районе алеутского минимума компонента F_y потока волновой активности по с 21 по 25 ноября 2019 год имеет отрицательные значения (Рисунок 35 –А), с 26 по 30 ноября 2019 года имеет положительное значение. На высоте 13 км компонента F_y потока волновой активности имеет сначала слабо отрицательное значение

(Рисунок 35-А), затем значение компоненты растёт и после понижение давления – становится положительным, на высоте 18-27 км поток волновой активности по компоненте F_y ослабевает. Затем давление понижается и компонента F_y – на высоте 18-27км становится положительным.

Компонента F_y потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2020 - 2021год

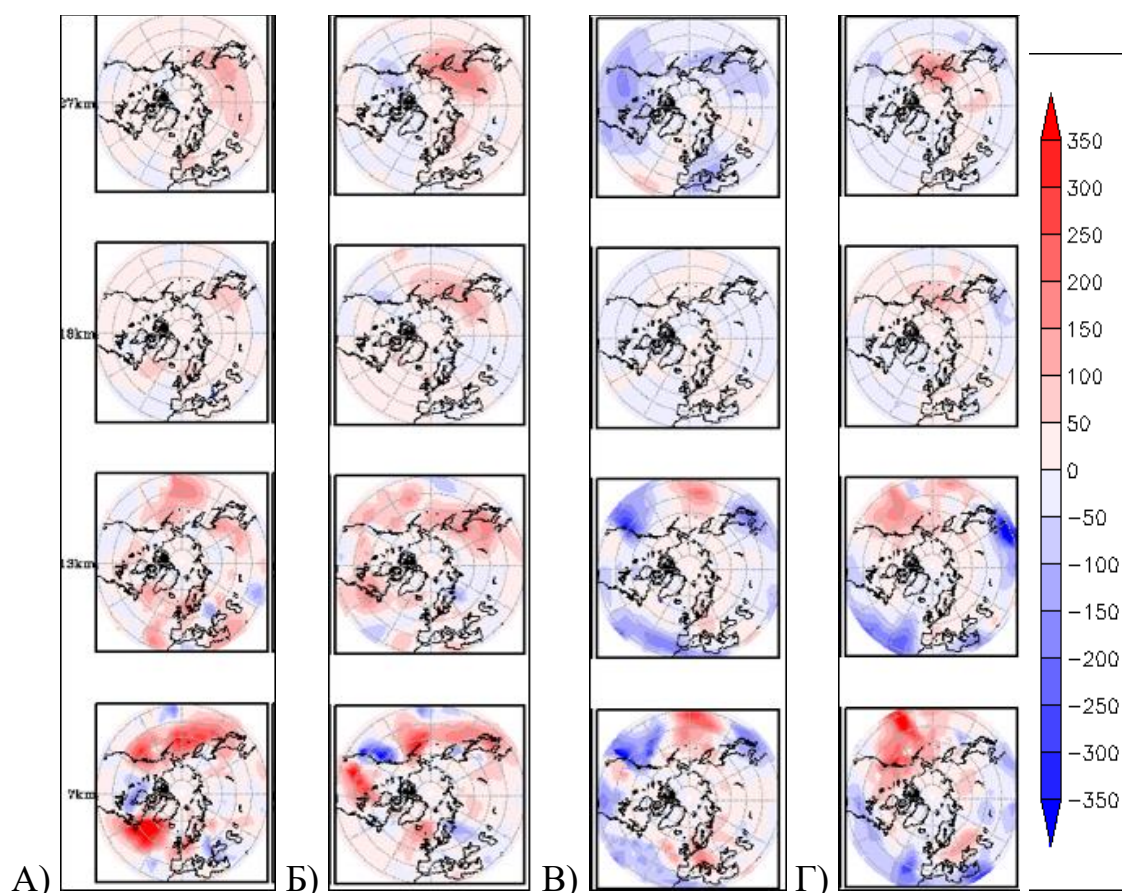


Рисунок 36 – А) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850гПа 01.11 - 05.11 2020 год; Б) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 700 гПа 06.11- 10.11 2020 год; В) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850гПа 06.12- 10.12 2020 год Г) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850гПа 06.02 – 10.02 2021 год

На высоте 7 км, 13 км, 18км в районе алеутского минимума по компонента F_y потока волновой активности 01-05 ноября низкую

аномалию (процентиль 10%), 06-10 ноября, 06-10 декабря 2020 года, 06-10 февраля 2021 года высокие аномалии (процентиль 90%) имеет демонстрирует положительные значения (Рисунок 36 – А, Б, В, Г). На высоте 27 км (Рисунок 36-В) 6-10 февраля 2021 года компонента F_y потока волновой активности отрицательный. Смена знака с положительного значения на отрицательное происходит в момент, когда давление имеет максимальное значение.

Компонента F_y потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2021 - 2022год

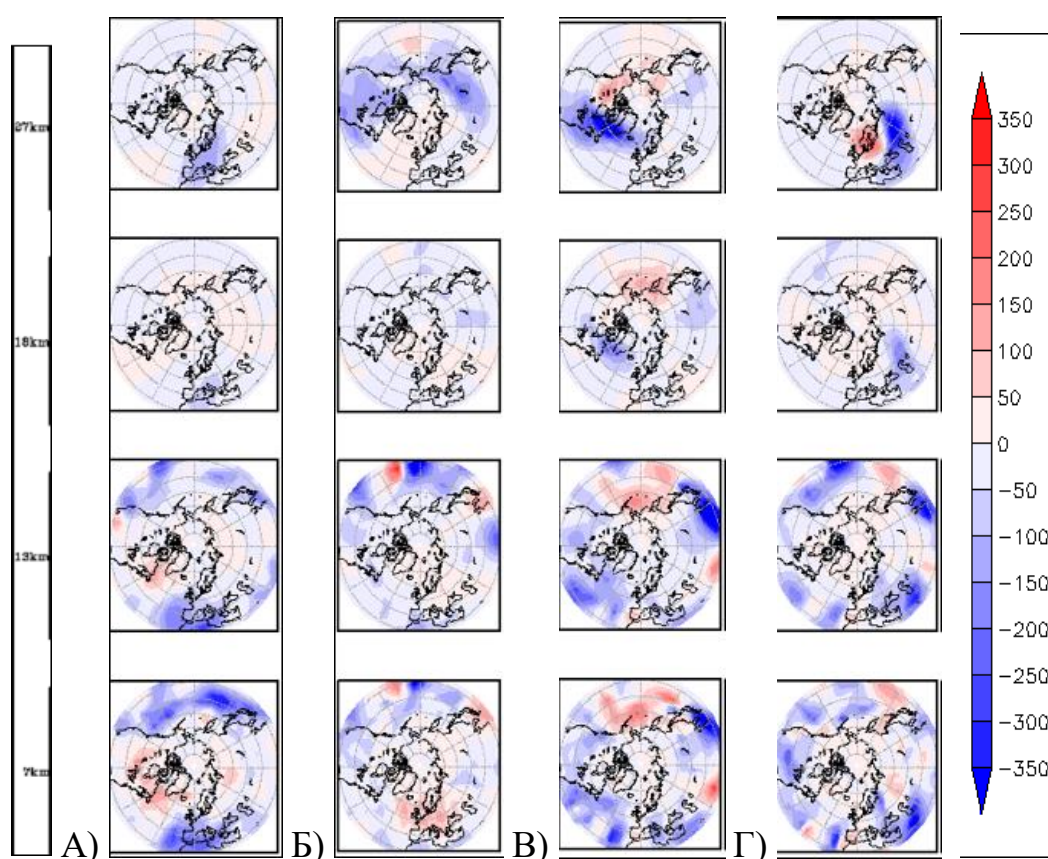


Рисунок 37 – А) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850гПа 26.11 – 30.11 2021 год; Б) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа 06.12 – 10.12 2021 год; В) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа 21.02 – 25.02 2022 год; Г) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа 16.02 – 20.02. 2022 год.

На высоте 7 км в районе алеутского минимума компонента F_y потока волновой активности 26-30 ноября, 06-10 декабря 2021 года низкую аномалию (процентиль 10%), 16-20 февраля 2022 года высокие аномалии (процентиль 90%) имеет демонстрирует отрицательное значения (Рисунок 37 –А, Б, Г). На высоте 7км до 27 км 21-25 февраля 2022 года компонента F_y потока волновой активности имеет положительное значение (Рисунок 37-В). На высоте 18 км до 27 км компонента F_y потока волновой активности смена знака с отрицательного значения на положительный происходит в момент, когда приземное давление имеет минимальное значение.

Компонента F_y потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2022 – 2023

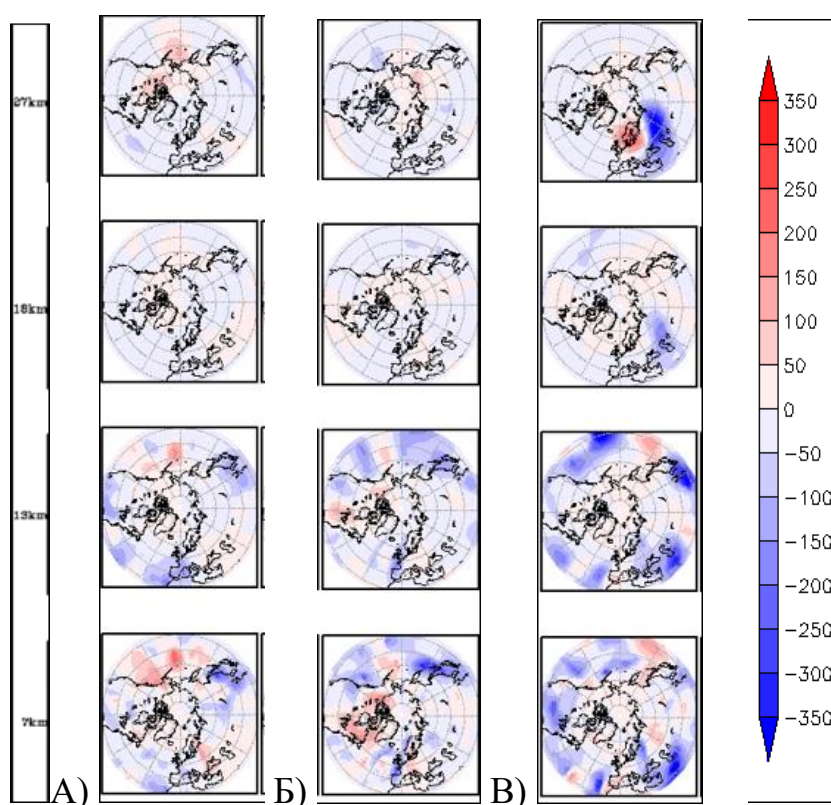


Рисунок 38 – А) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 26.11 – 30.11 2022 год; Б) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 01.12 – 05.12 2022 год; В) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 16.02 – 20.02 2023 год

На высоте 7 км, 13 км, 18 км, 27 км в районе алеутского минимума в период 26.11-05.12 2022 года, компонента F_y потока волновой активности имеет положительное значение (Рисунок 38 – А, Б), а в период 16.02-20.02 2023 года (Рисунок 38 – В) компонента F_y потока волновой активности на высоте 7км, 13 км имеет отрицательный значение, затем с высотой, то есть на высоте 18 км и 27 км компоненте F_y потока волновой активности становится положительной.

Компонента F_y потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2023 – 2024

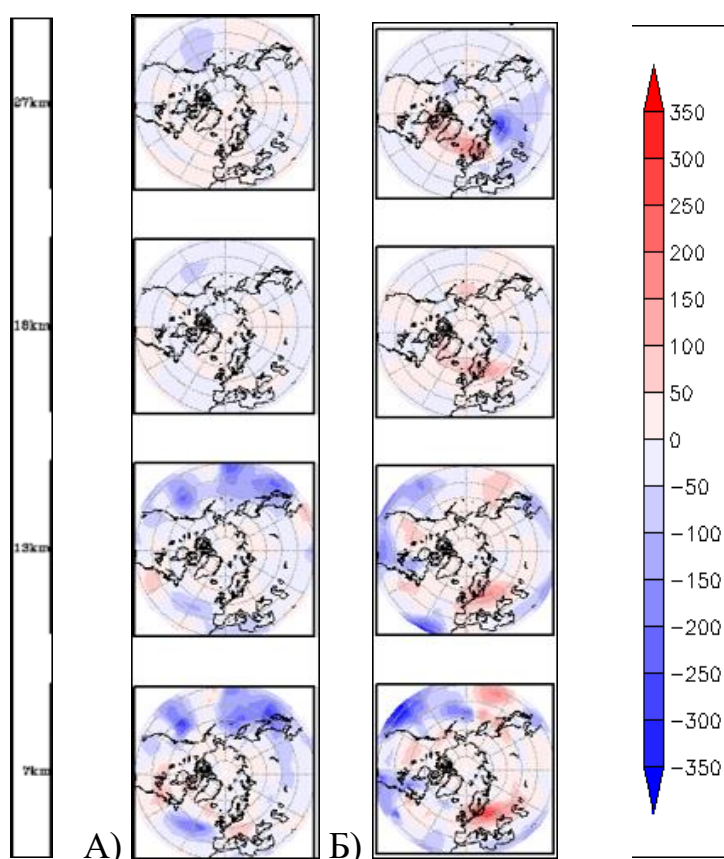


Рисунок 39 – А) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 11.11 – 15.11 2023 год; Б) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850гПа 0 и 700 гПа 6.02 – 10.02 2024 год

На высоте 7 км, 13 км в районе алеутского минимума в период 11.11-15.11 2023 года, и 06.02-10.02 2024 года компоненте F_y потока волновой активности имеет отрицательное значение (Рисунок 39 – А, Б),

а затем на высоте 18 км и 27 км компоненте F_y потока волновой активности становится положительной.

3.2.2 Компонента F_z потока волновой активности в районе Алеутского минимума.

Компонента F_z потока волновой активности на высоте 7ка, 13км, 18км, 27ка 2019 год.

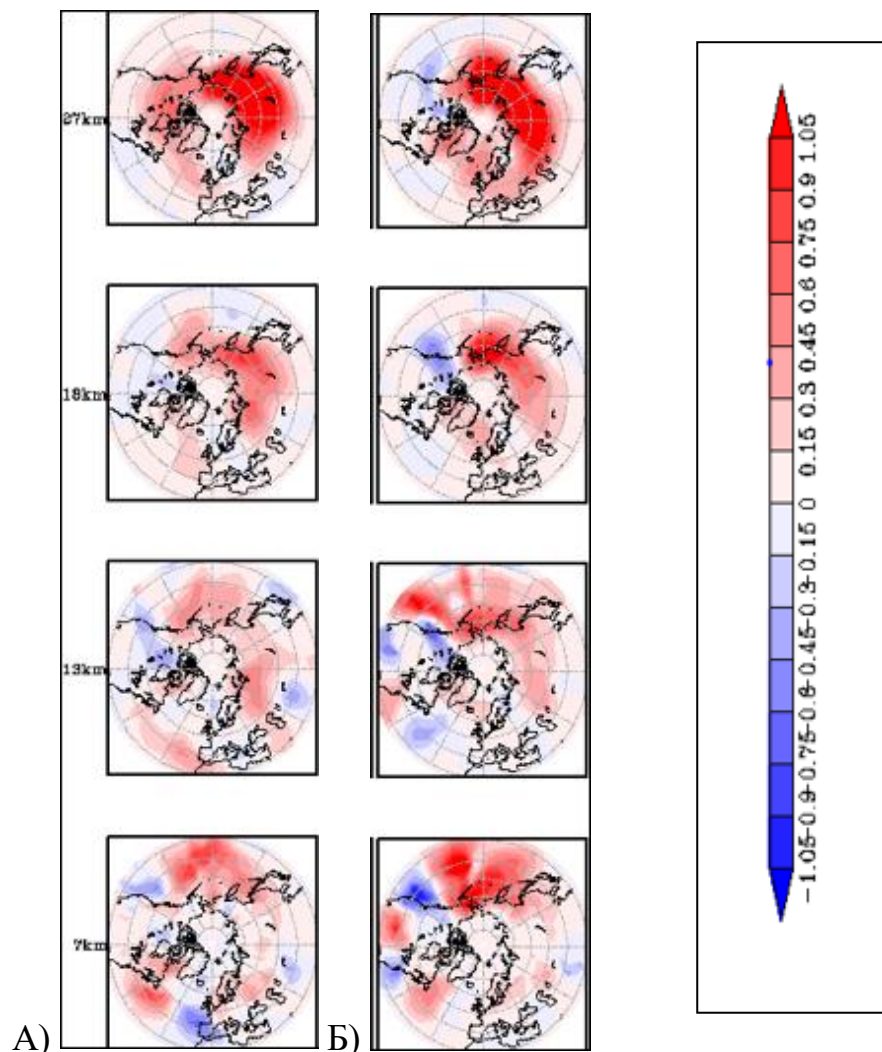


Рисунок 40 - А) низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа 21.11-25.11 2019 год; Б) высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа 26.11-30.11 2019 год

Далее будут рассмотрены те же случаи, что и выше, но компонента F_z потока волной активности.

На высоте 7 км, 13 км, 18 км, 27 км в районе алеутского минимума в период 11.11-30.11 2019 года, компонента F_z потока волновой активности имеет положительное значение (Рисунок 40 – А, Б).

Компонента F_z потока волновой активности на высоте 7ка, 13км, 18км, 27км 2020 - 2021год

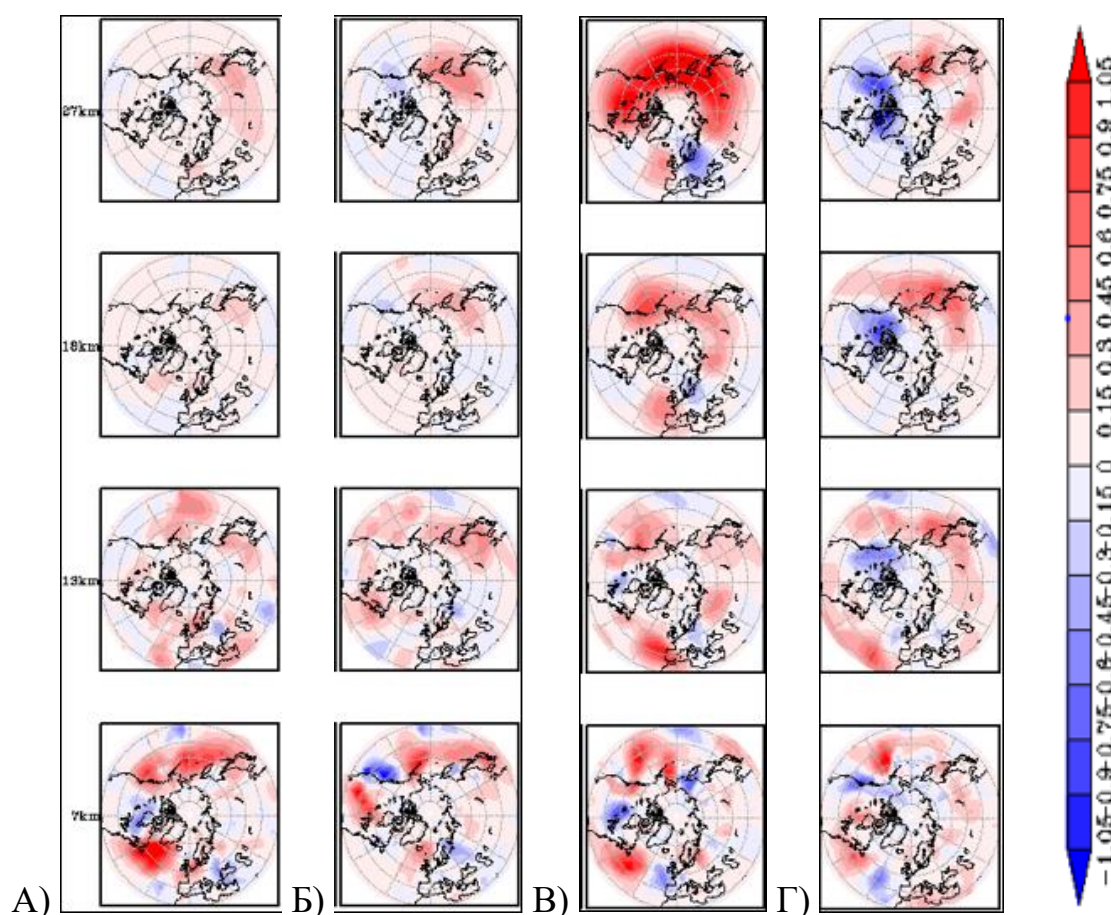


Рисунок 41 – А) Низкая аномалия (перцентиль 10%) 850гПа 01.11 - 05.11 2020 год; Б) Высокая аномалия, (перцентиль 90%) 700 гПа 06.11- 10.11 2020 год; В) Высокая аномалия, (перцентиль 90%) 850гПа 06.12- 10.12 2020 год Г) Высокая аномалия, (перцентиль 90%) 850гПа 06.02 – 10.02 2021 год

На высоте 7 км, 13 км, 18 км, 27 км в районе алеутского минимума в период 01.11-10.11, 06.12-10.12 2020 года и 06.02-10.02 2021 года,

компонента F_z потока волновой активности имеет положительное значение (Рисунок 41 – А, Б, В, Г).

Компонента F_z потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2021 - 2022год

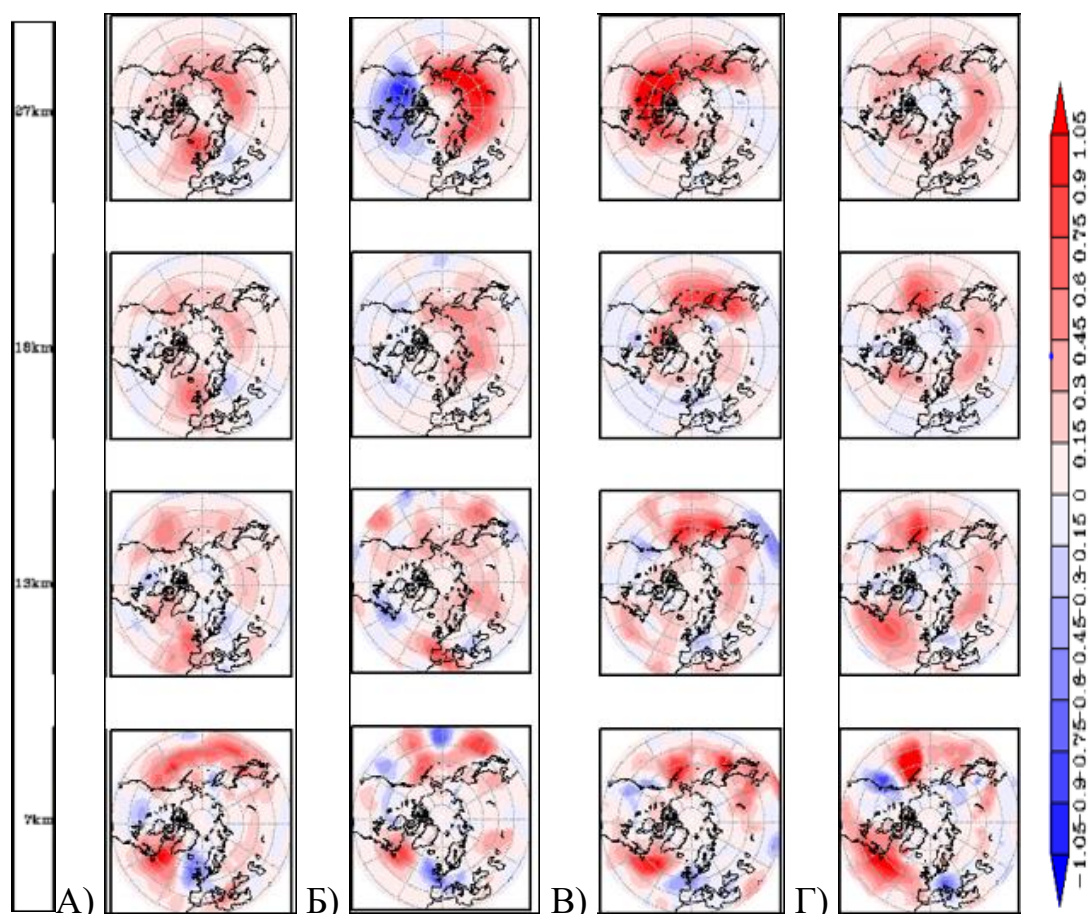


Рисунок 42 – А) Низкая аномалия (перцентиль 10%) 850гПа 26.11 – 30.11 2021 год; Б) Низкая аномалия (перцентиль 10%) 850 гПа 06.12 – 10.12 2021 год; В) Низкая аномалия (перцентиль 10%) 850 гПа 21.02 – 25.02 2022 год; Г) Высокая аномалия, (перцентиль 90%) 850 гПа 16.02 – 20.21. 2022 год.

На высоте 7 км, 13 км, 18 км, 27 км в районе алеутского минимума в период 26.11-30.11, 06.12-10.12, 2021 года и 21.02-25.02, 16.02-20.02 2022 года, компонента F_z потока волновой активности имеет положительное значение (Рисунок 42 – А, Б, В, Г).

Компонента F_z потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2022 – 2023

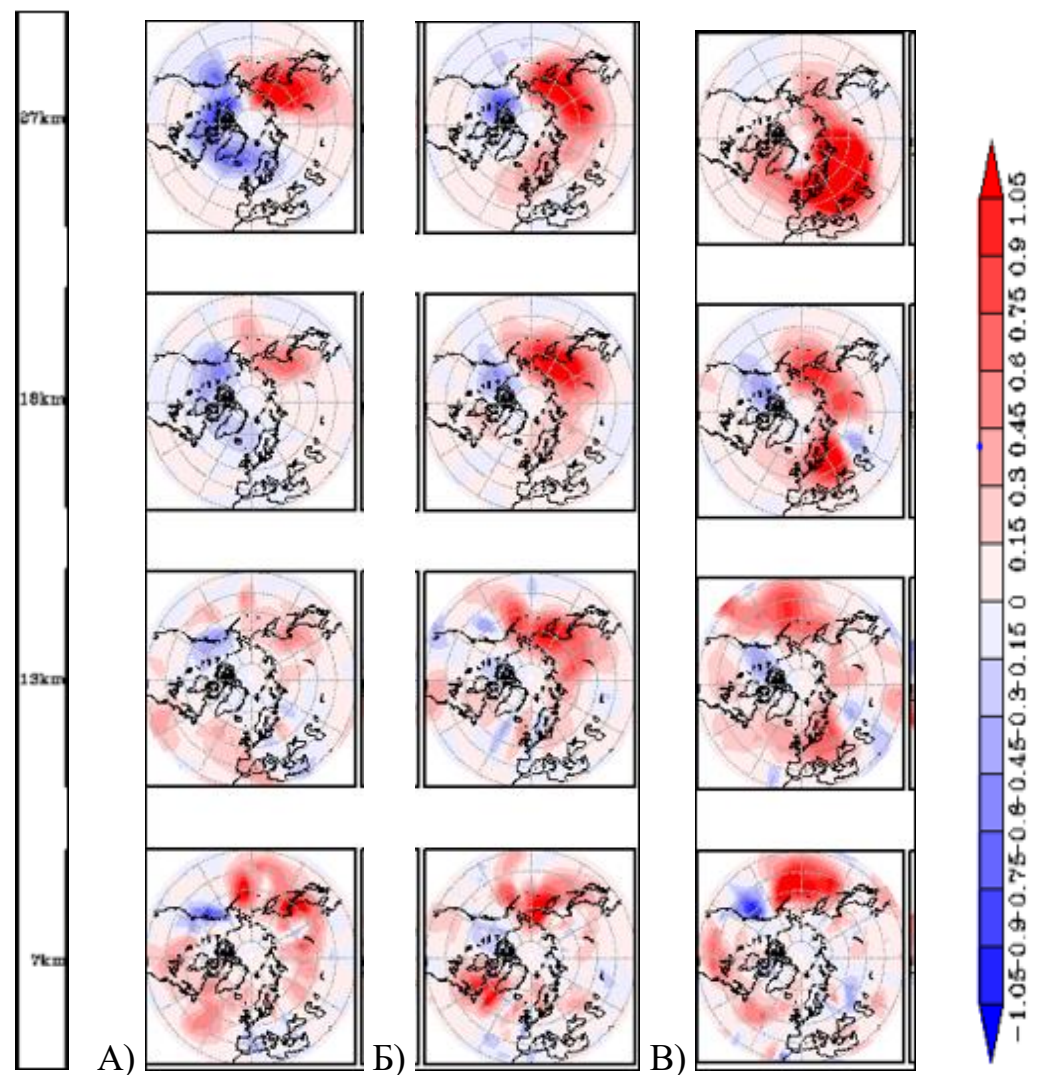


Рисунок 43 – А) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 26.11 – 30.11 2022 год; Б) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 01.12 – 05.12 2022 год; В) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 16.02 – 20.02 2023 год

На высоте 7 км, 13 км, 18 км, 27 км в районе алеутского минимума в период 26.11-30.11, 01.12-05.12 2022 года и 16.02-20.02 2023 года, компонента F_z потока волновой активности имеет положительное значение (Рисунок 43 – А, Б, В).

Компонента F_z потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2023 – 2024

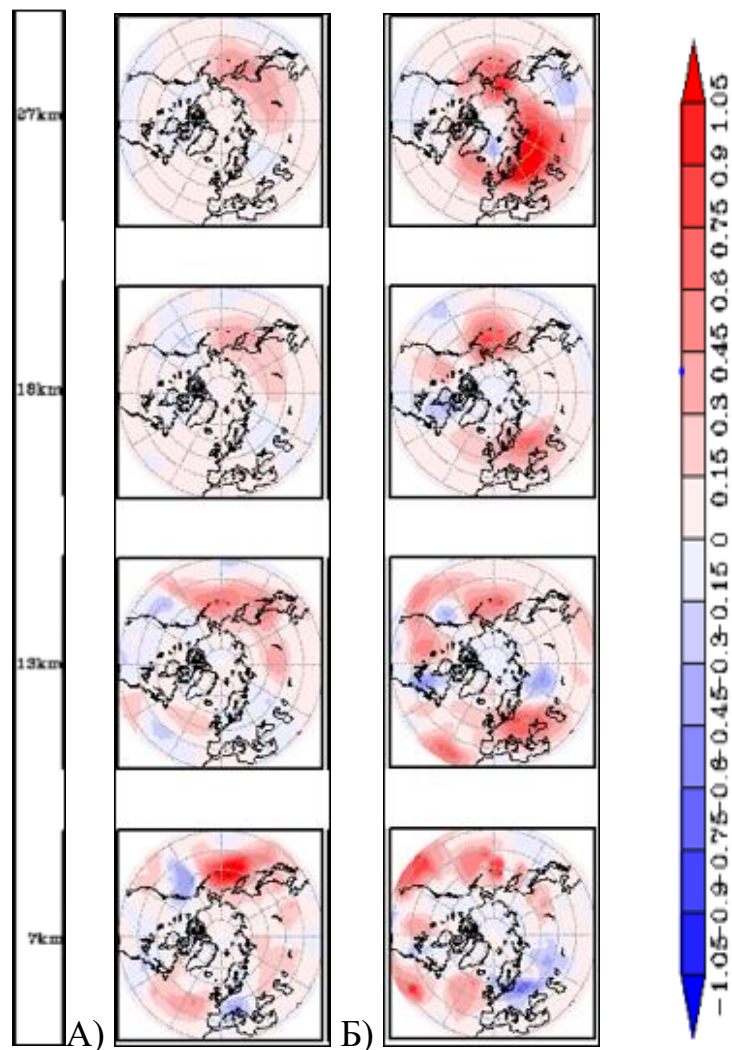


Рисунок 44 – А) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 11.11 – 15.11 2023 год; Б) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850гПа 0 и 700 гПа 6.02 – 10.02 2024 год

На высоте 7 км, 13 км, 18 км, 27 км в районе алеутского минимума в период 11.11-15.11 2023 года и 06.02-10.02 2024 года, компонента F_z потока волновой активности имеет положительное значение (Рисунок 44 – А, Б).

3.2.3 Компонента F_y потока волновой активности в районе исландского минимума

Компонента F_y потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2019 год.

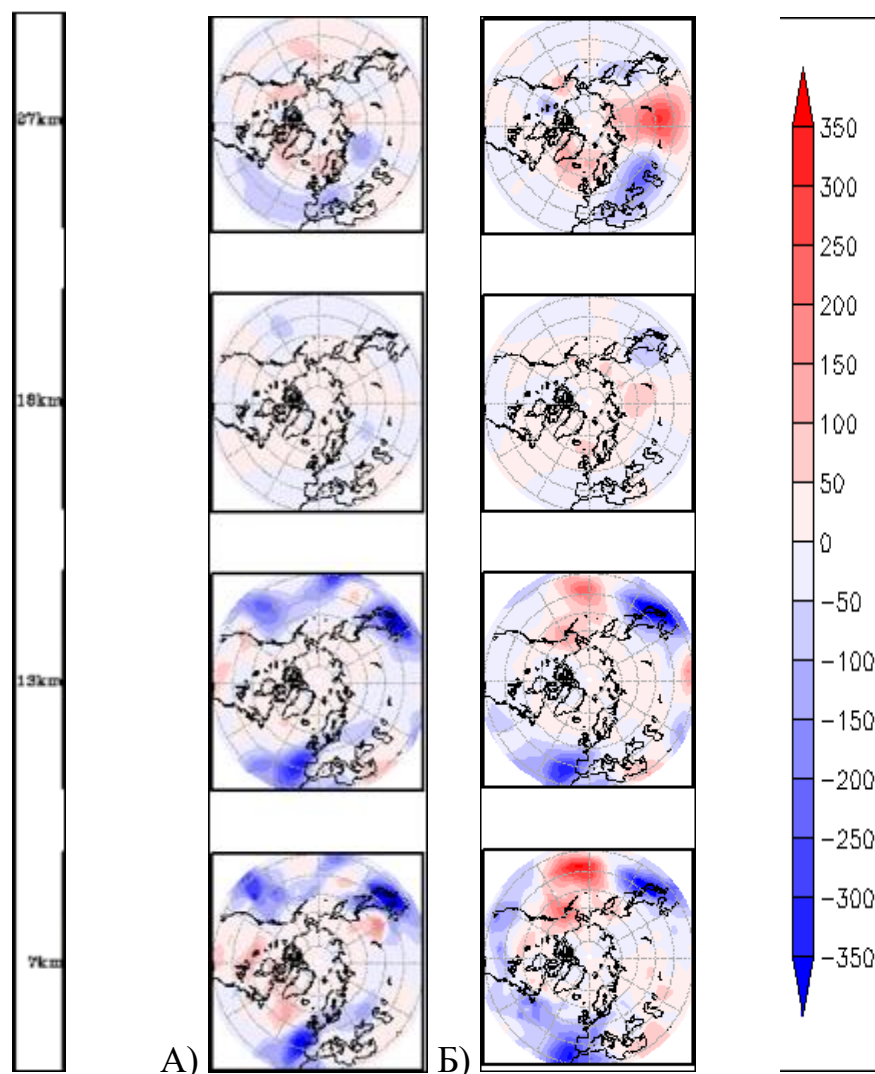


Рисунок 45 – А) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа 01.12-05.12 2019 год; Б) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа 06.12-10.12 2019 год

На высоте 7 км, 13 км, 18 км и 27 км в районе исландского минимума в период 01.12-05.12 2019 года (Рисунок 45 – А) компонента F_y потока волновой активности имеет положительное значение.

Компонента F_y потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2020-2021год.

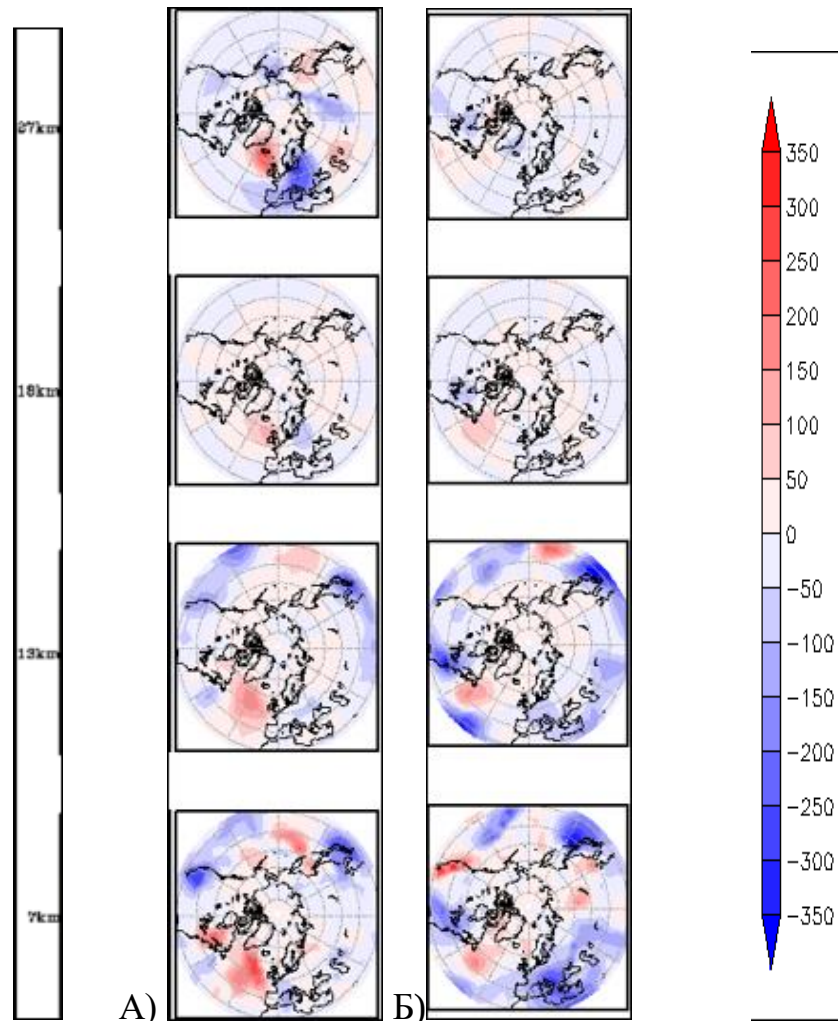


Рисунок 46 – А) Высокая аномалия, (перцентиль 90%) 700 гПа 26.12-31.12 2020 год; Б) Низкая аномалия (перцентиль 10%) 850 гПа и 700 гПа 16.02-20.02 2021 год.

На высоте 7 км, 13 км, 18 км в районе исландского минимума в период 26.12-31.12 2020 года, 16.02-20.02 2021 года (Рисунок 46 – А, Б) компонента F_y потока волновой активности имеет положительное значение. Затем на высоте 27 км в период 16.02-20.02 2021 года (Рисунок 46 – Б) компонента F_y потока волновой активности становится отрицательной.

Компонента F_y потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2021год

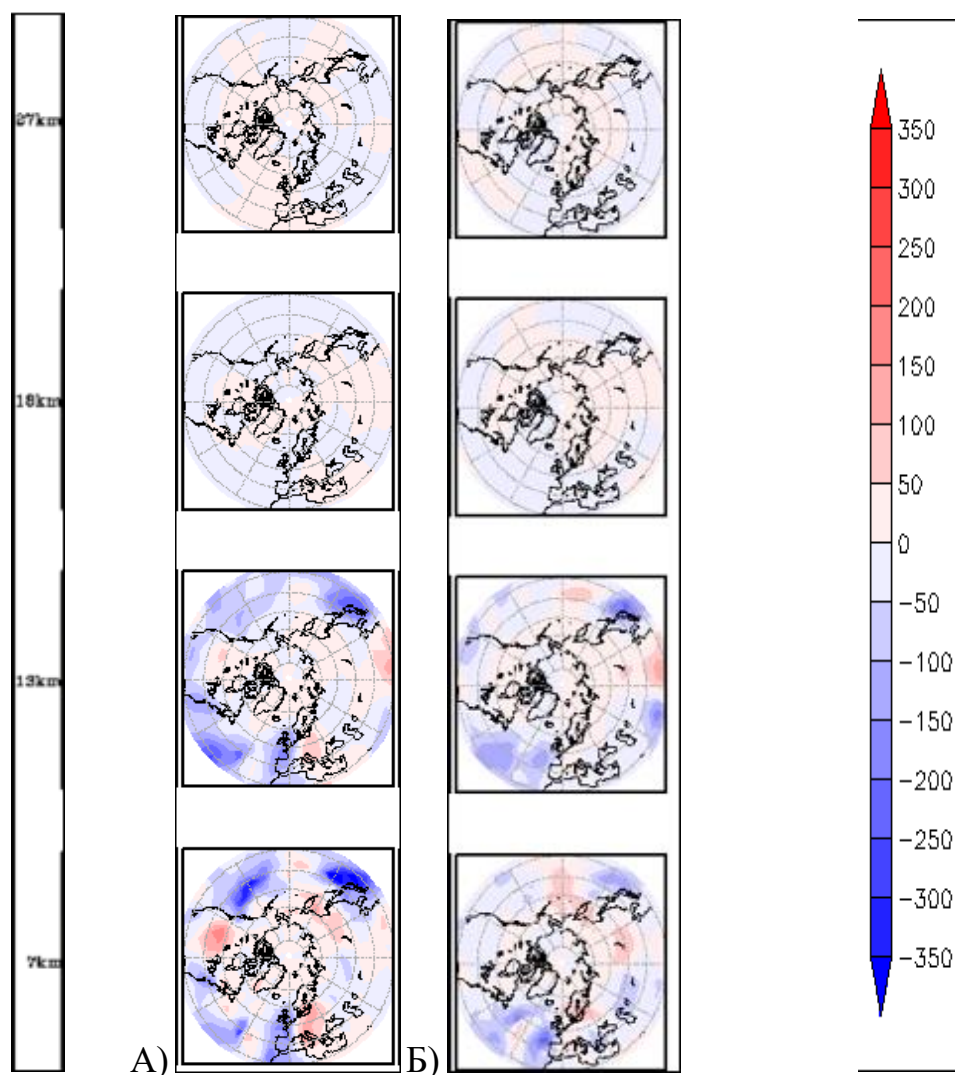


Рисунок 47 – А) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа и 700 гПа 11.11-15.11 2021 год Б) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа и 700 гПа 16.11-20.11 2021 год.

На высоте 7 км, 13 км, 18 км, 27 км в районе исландского минимума в период 16.11-20.11 2021 года (Рисунок 47 – Б) поток волновой активности по компоненте F_y имеет отрицательное значение.

Компонента F_y потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2022-2023 год

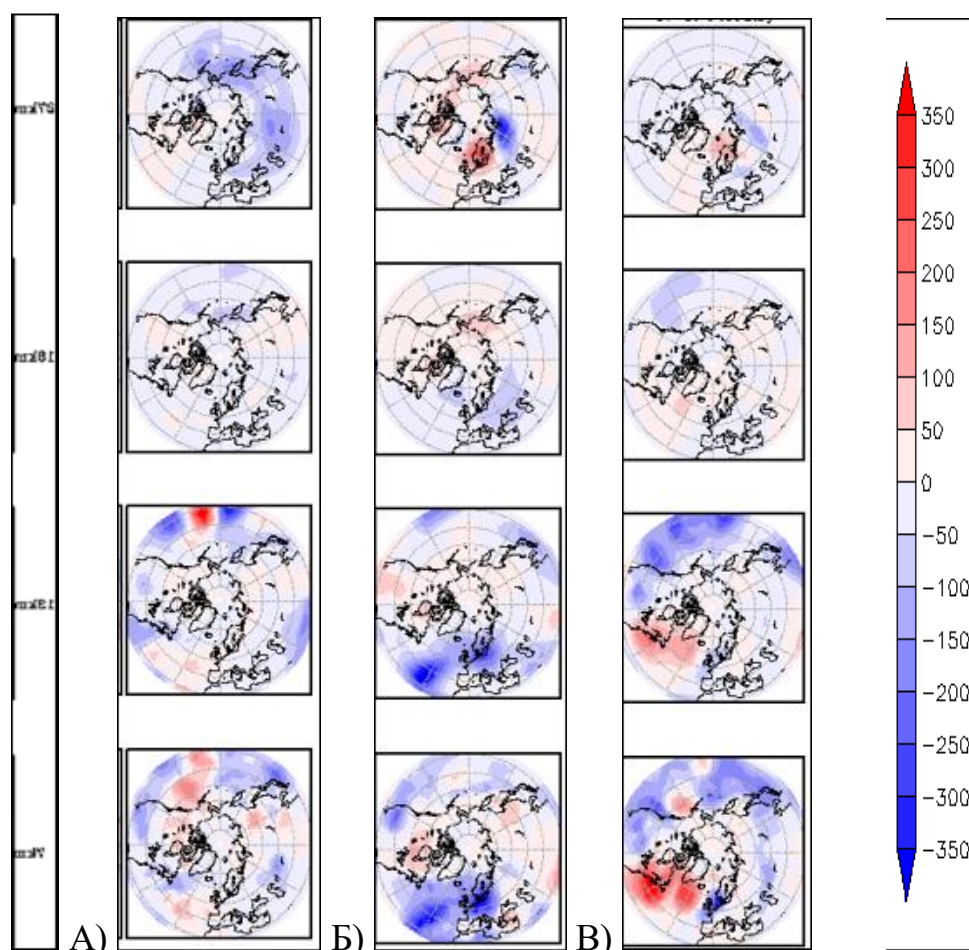


Рисунок 48 – А) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 01.12 – 05.12 2022 год; Б) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа и 700 гПа 06.02-10.02 2023 год; В) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 26.02-28.02 2023 год.

На высоте 7 км, 13 км и 18 км в районе исландского минимума в период 01.12-05.12 2022 года, 06.02 – 10.02 2023 года (Рисунок 48 – А, Б) компонента F_y потока волновой активности имеет отрицательное значение. Затем на высоте 27 км в период 06.02 – 10.02 2023 года (Рисунок 48 – Б) компонента F_y потока волновой активности становится положительной. На высоте 7 км, 13 км, 18 км и 27 км в период 23.02-28.02

2023 года (Рисунок 48 – В) компонента F_y потока волновой активности имеет положительное значение.

Компонента F_y потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2023год

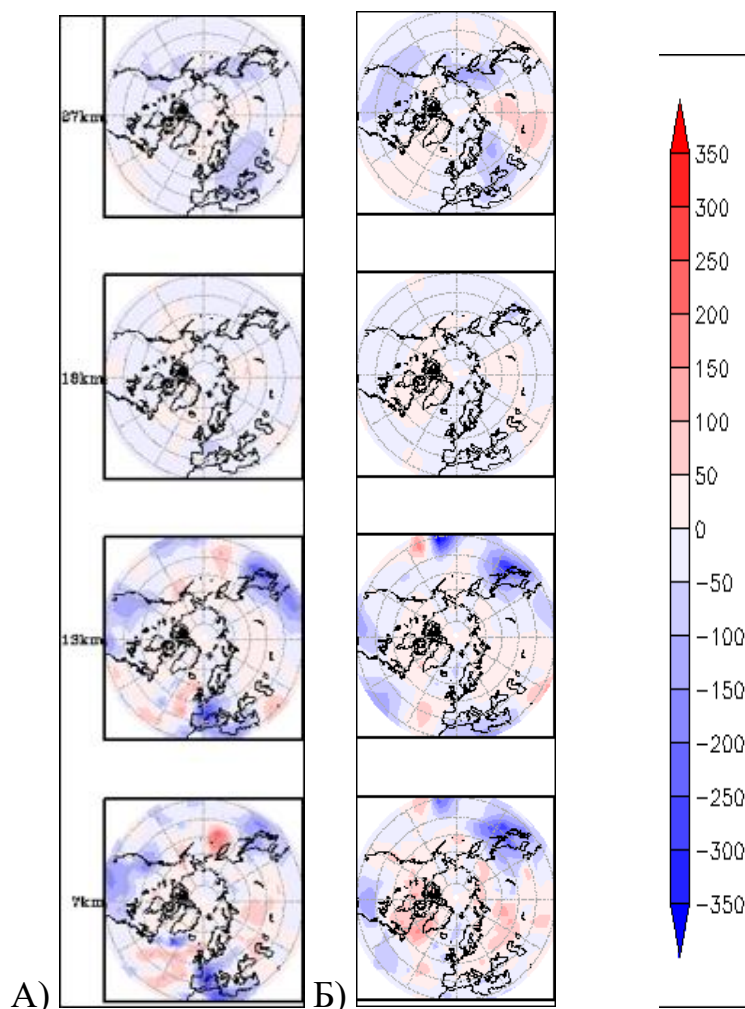


Рисунок 49 – А) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 21.11 – 25.11 2023 год; Б) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 26.11 – 30.11 2023 год;

На высоте 7 км, 13 км, 18 км, 27 км в районе исландского минимума в период 21.11-25.11 2023 года (Рисунок 49 – А) компонента F_y потока волновой активности имеет положительное значение.

3.2.4 Компонента F_z потока волновой активности в районе Исландского минимума

Так же далее будут рассмотрены те же случаи, что и выше, но компонента F_z потока волной активности. на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2019 год

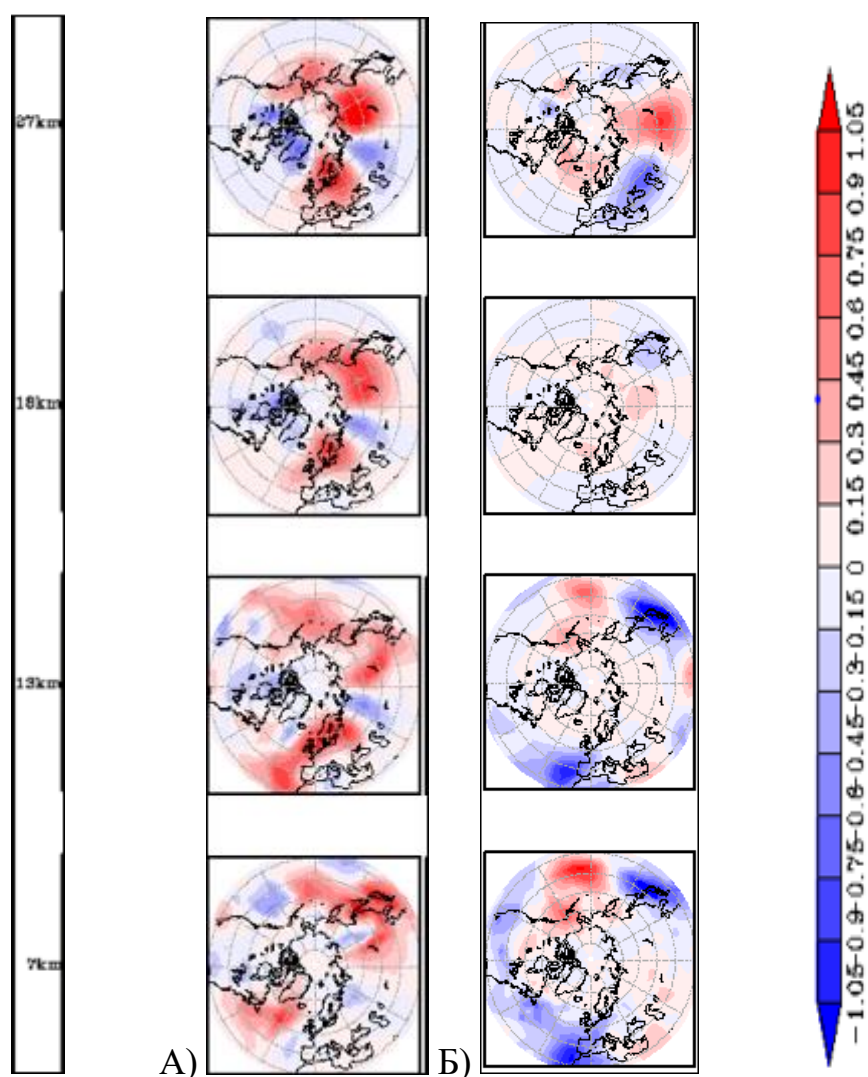


Рисунок 50– А) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа 01.12-05.12 2019 год; Б) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа 06.12-10.12 2019 год

На высоте 7 км компонента F_z потока волновой активности в период 01.12-05.12 2019 года (Рисунок 50 – А) имеет положительное значение. С высотой 13 км, 18 км, 27 км компонента F_z потока волновой активности имеет отрицательное значение.

Компонента F_z потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2020-2021 год

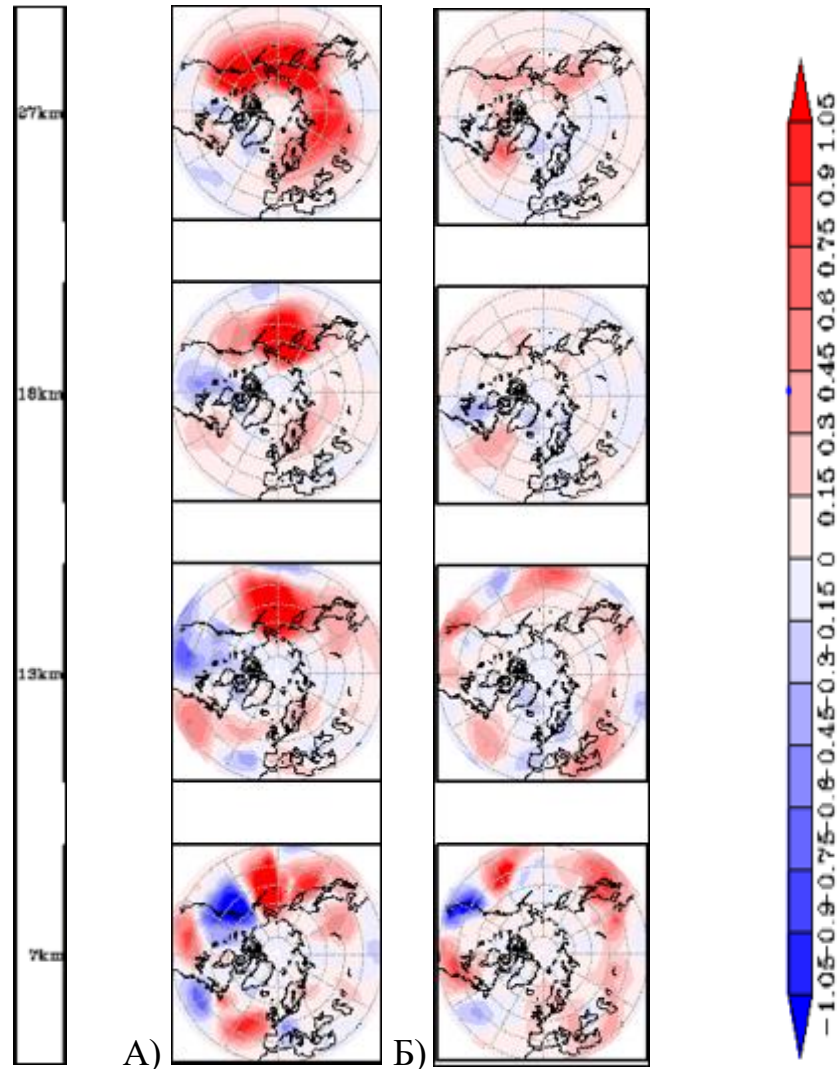


Рисунок 51 – А) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 700 гПа 26.12-31.12 2021 год; Б) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа и 700 гПа 16.02-20.02 2021 год.

На высоте 7 км, 13 км, 18 км, 27 км компонента F_z потока волновой активности в период 26.12-31.12 2020 года (Рисунок 51 – А, Б) имеет отрицательное значение.

Компонента F_z потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2021 год

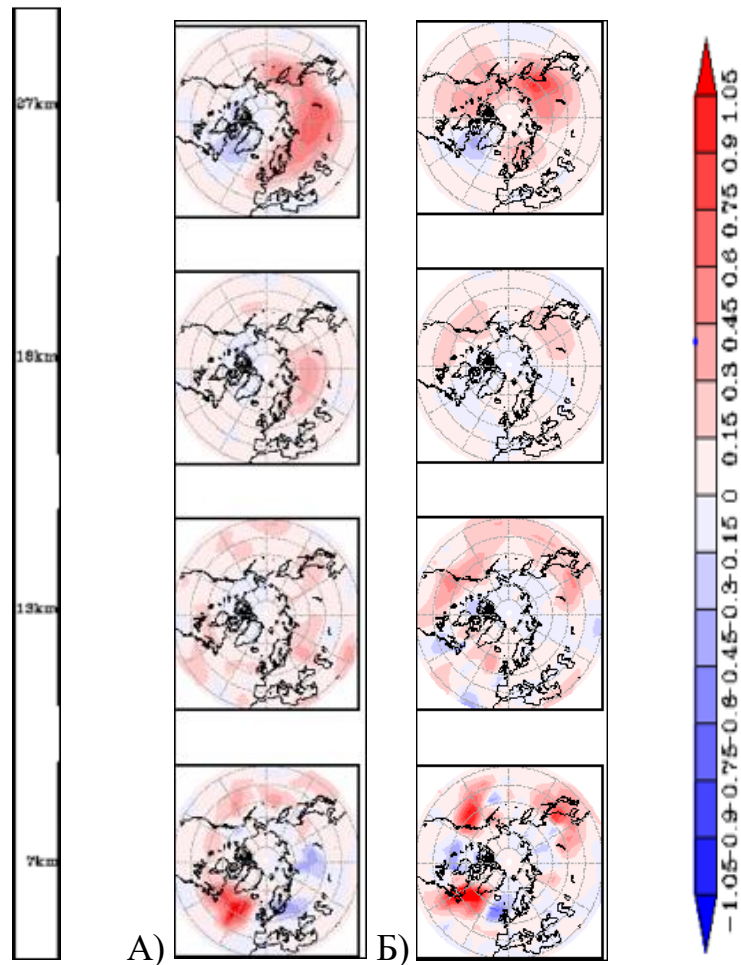


Рисунок 52 – А) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа и 700 гПа 16.11-20.11 2021 год, Б) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа и 700 гПа 21.11-25.11 2021 год

На высоте 7 км, 13 км, 18 км компонента F_z потока волновой активности в период 16.11-20.11 2021 года (Рисунок 52 – А) имеет положительное значение. На высоте 27 км компонента F_z потока волновой активности имеет отрицательное значение.

Компонента F_z потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2022-2023 год

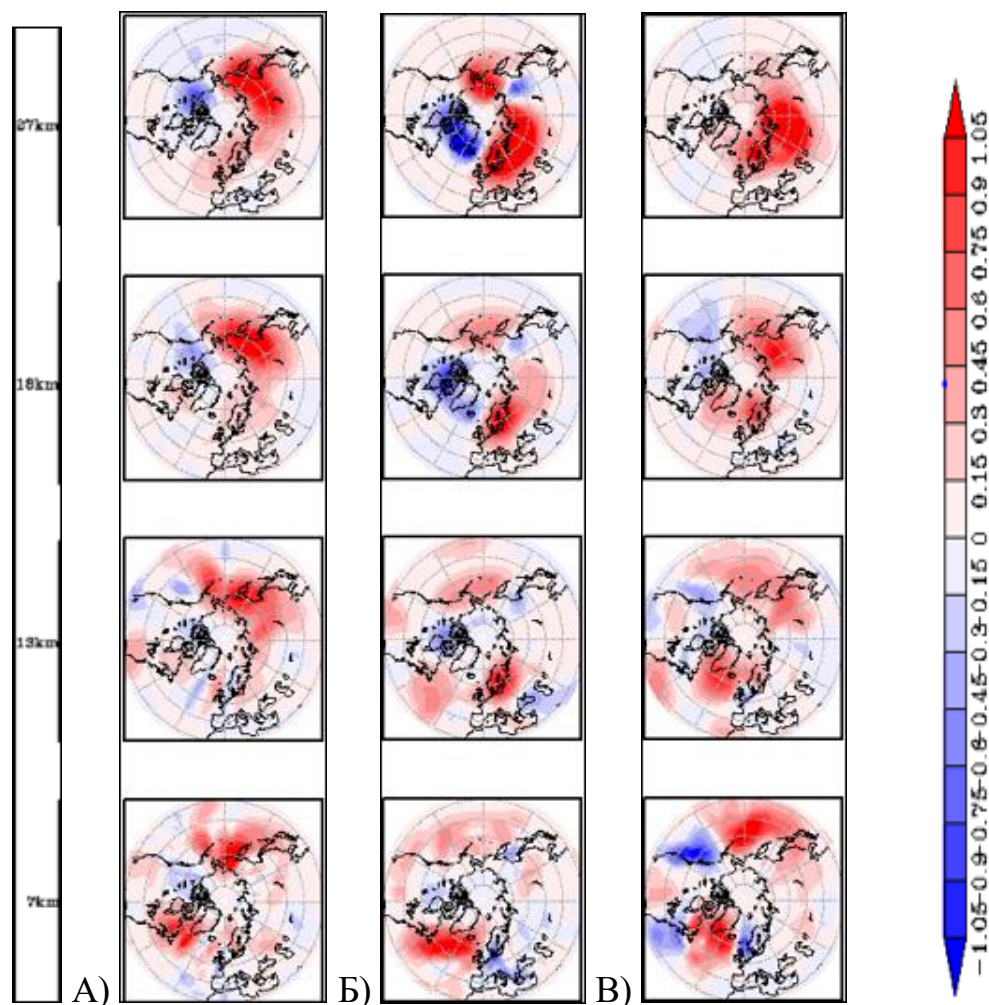


Рисунок 53 – А) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 01.12 – 05.12 2022 год; Б) Низкая аномалия (процентиль 10%) 850 гПа и 700 гПа 06.02-10.02 2023 год; В) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 26.02-28.02 2023 год.

На высоте 7 км, 13 км, 18 км и 27 км компонента F_z поток волновой активности в период 26.02-28.02 2023 года (Рисунок 53 – В) имеет положительное значение.

Период 01.12-15.12 2022 года (Рисунок 53 – А) на высоте 7 км, 13км, 18км компонента F_z потока волновой активности имеет

отрицательное значение, а на высоте 27 км равна положительному значению.

Период 06.02-10.02 2023 года (Рисунок 53 – Б) на высоте 7 км компонента F_z потока волновой активности имеет положительное значение, а на высотах 13 км 18 км 27 км отрицательное значение.

Компонента F_z потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 2023 год

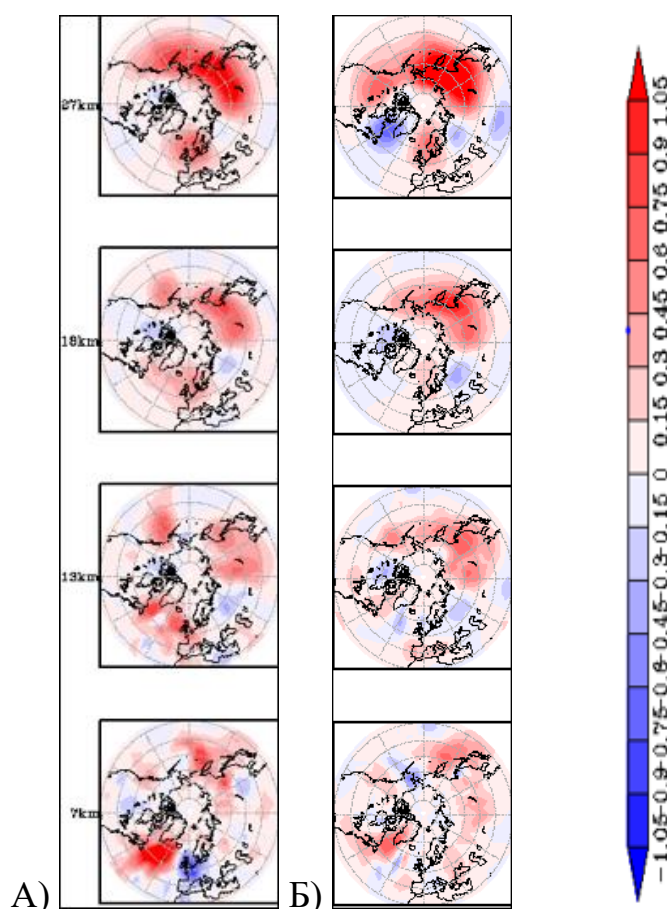


Рисунок 54 – А) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 21.11 – 25.11 2023 год, Б) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа и 700 гПа 26.11 – 30.11 2023 год

На высоте 7 км, 13 км, 18 км и 27 км компонента F_z поток волновой активности в период 21.11-25.11 2023 года (Рисунок 54 – А) имеет положительное значение.

3.2.5 Компонента F_y потока волновой активности в районе Сибирского максимума

Компонента F_y потока волновой активности на высоте 7км, 13км, 18км, 27км 23.12 – 26.12 2021 год.

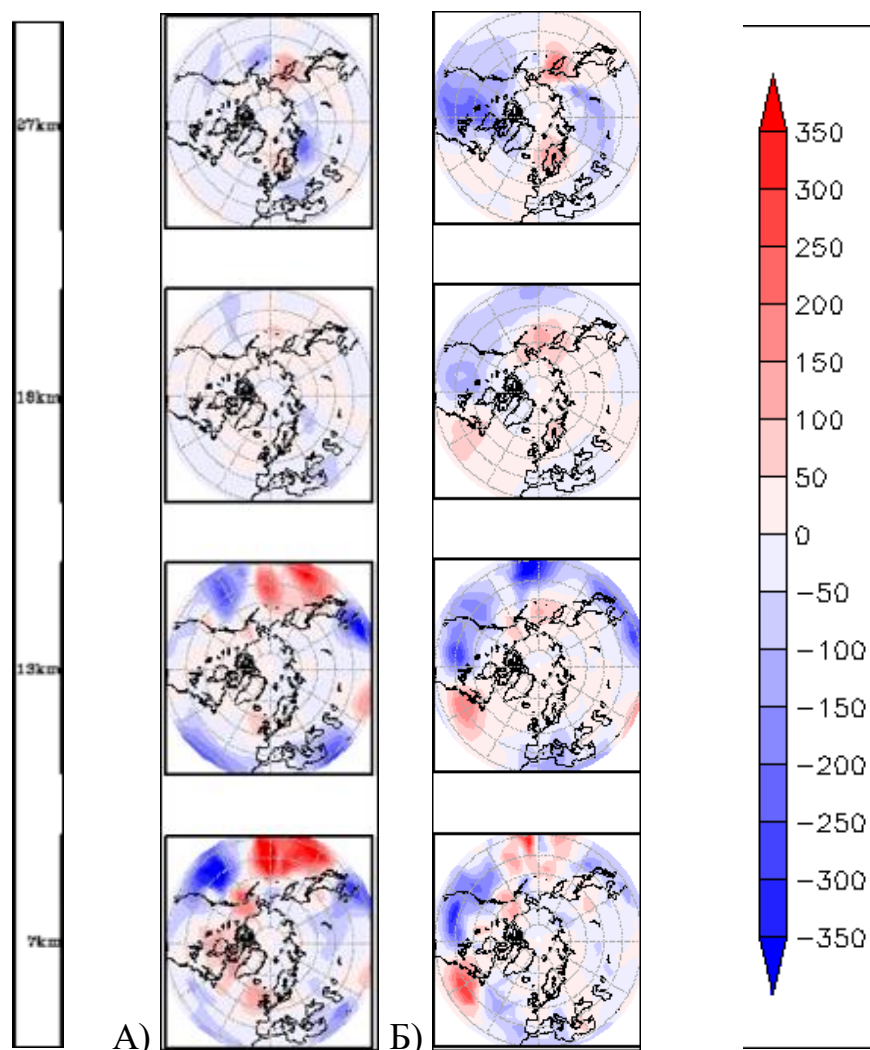


Рисунок 56 – А) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа 21.12-25.12 2021 год, Б) Высокая аномалия, (процентиль 90%) 850 гПа 26.12-31.12 2021 год

В районе сибирского максимума на высоте 7 км, компонента F_y поток волновой активности в период 23.12 - 23.12 2021 года имеет отрицательное значение. Компонента F_y потока волновой активности на высоте 13 км стремится к положительному значению, на высоте 27 км

компонента F_y поток волновой активности в период 23.12 - 23.12 2021 года имеет отрицательное значение.

3.2.6 Компонента F_z потока волновой активности в районе Сибирского максимума

Компонента F_z потока волновой активности на высоте 7км, 13ка, 18км, 27км 23.12 -26.12 2021 год

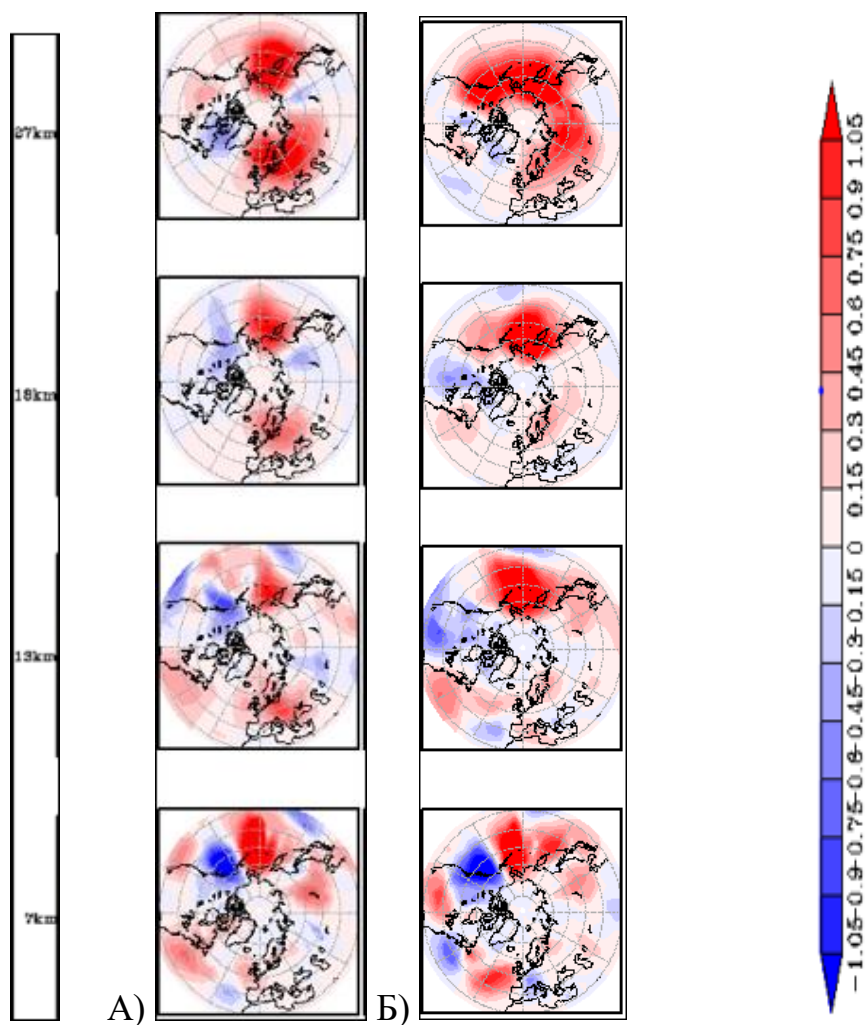


Рисунок 59 – А) Высокая аномалия, (перцентиль 90%) 850 гПа 21.12-25.12 2021 год, Б) Высокая аномалия, (перцентиль 90%) 850 гПа 26.12 - 31.12.2021 год

На высоте 7 км в районе сибирского максимума поток волновой активности компонента F_z в период 23.12-26.12 2021 года имеет положительное значение. Затем компонента F_z потока волновой активности высоте 13 км до 18 км стремится к отрицательному значению, а на высоте 27 км компонента F_z потока волновой активности становится положительным.

Заключение

Изменения аномальных значений давления в центрах погоды в течение пяти холодных периодов (с ноября по март): 2019–2020, 2020–2021, 2021–2022, 2022–2023, 2023–2024 отмечаются чаще в Алеутском минимуме высокие аномалии (выше 90 перцентиля) в ноябре, январе и феврале;

в Исландском минимуме низкие аномалии (ниже 10 перцентиля) в ноябре и феврале;

в Сибирском антициклоне высокие аномалии в ноябре и феврале.

При росте давления в Алеутском минимуме (выше 90 перцентиля в течение минимум 3 дней) компонента F_u потока волновой активности меняет знак с отрицательного на положительный от высот средней тропосферы до средней стратосферы, а компонента F_z также меняет знак, но только на высотах тропосферы, в стратосфере отмечается уменьшение областей высокой волновой активности.

В Исландском минимуме при аномально низком давлении (ниже 10 перцентиля в течение минимум 3 дней) обе компоненты меняют знак с отрицательного на положительный. Вертикальная компонента проявляет себя ярче в нижней и средней стратосфере.

В Сибирском антициклоне данных для исследования влияния изменчивости давления на волновую активность для составления однозначных выводов оказалось недостаточно.

Реакция в смене знака компонент волновой активности идёт с задержкой в несколько дней на высотах стратосферы.

Список литературы

1. Большая Российская энциклопедия. «Циркуляция воздушных масс» [Электронный ресурс] - <https://bigenc.ru/c/tsentry-deistviia-atmosfery-619300>
2. Академик РАН И. И. Мохов, А. М. Осипов, А. В. Чернокульский Центры действия атмосферы в Северном полушарии: Современные особенности и ожидаемые изменения в 21 веке по расчетам с ансамблями климатических моделей CMIP5 и CMIP6 [Текст] / Академик РАН И. И. Мохов, А. М. Осипов, А. В. Чернокульский // Наук о земле. — 2022. — № 2. — С. 332–340.
3. Mark C. Serreze, Fiona Carse, Roger G. Barry, Jeffrey C. Rogers Icelandic Low Cyclone Activity: Climatological Features, Linkages with the NAO, and Relationships with Recent Changes in the Northern Hemisphere Circulation [Текст] / Mark C. Serreze, Fiona Carse, Roger G. Barry, Jeffrey C. Rogers // American Meteorological Society. — 1 mar 1997. — С. 453–464.
4. Bolan Gan, Lixin Wu, Fan Jia, Shujun Li, Wenju Cai, Hasashi Nakamura, Michael A. Alexander, Arthur J. Miller On the Response of the Aleutian Low to Greenhouse Warming [Текст] / Bolan Gan, Lixin Wu, Fan Jia, Shujun Li, Wenju Cai, Hasashi Nakamura, Michael A. Alexander, Arthur J. Miller // American Meteorological Society. — 15 May 2017. — С. 3907-3925.
5. Koutarou Takaya, Hisashi Nakamura Mechanisms of Intraseasonal Amplification of the Cold Siberian High [Текст] / Koutarou Takaya, Hisashi Nakamura // American Meteorological Society. — 01 Dec 2005. — № . — С. 4423-4440.
6. Зюляева Ю. А. Стратосферно–тропосферное взаимодействие в различные фазы тихоокеанского десятилетнего колебания [Электронный ресурс] / Зюляева Ю. А. // DissertCat. — 2020. — С. 3.
7. West weather. Jet Stream forecast – animated Jet Stream tracker for the UK [Электронный ресурс] - <https://www.westweather.co.uk/jetstream>

8. Гетчайте И. Колебания циркуляции атмосферы как фактор формирования сильных зимних похолоданий в восточной части балтийского региона: дис. канд. геогр наук: 25.00.30. - СПб, 2016. - 167 с.
9. Joanna Staneva Numerical Modeling in Physical Oceanography, ICBM, Univerity of Oldenbirg // American Meteorological Society. - 2015. - №2. - С. 49-52.
10. What are El Nino and La Nina? and their Effects // geeksforgeeks [Электронный ресурс] <https://www.geeksforgeeks.org/el-nino-and-la-nina/?ysclid=lw6fs09b5t465761792>
11. El Niño–Southern Oscillation // wikipedia [Электронный ресурс] https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.6bd89f34-665deb6a-0a63b72c-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/El_Niño–Southern_Oscillation
12. What is El Niño? // NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION [Электронный ресурс] <https://pmel.noaa.gov/el-nino/what-is-el-nino>
13. Шурыгин А.А. Полярные мезомасштабные циклоны в Южном и Северном полушариях: автореф. дис. СПб, 2022. - 44 с.
14. Rolf H. Reichle, Q. Liu, Randal D. Koster, Clara S. Draper, Sarith P. P. Mahanama, and Gary S. Partyka Land Surface Precipitation in MERRA–2 // American Meteorological Society. - 2017. - С. 1643-1664.
15. Зайцева Н. А. Большая российская энциклопедия. ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ. - 10 изд. - М.: 2008. - 548 с.
16. К.Ю. Булгаков, Н.В. Федосеева, А.И. Смирнова, В.О. Лопуха, А.Д. Кузнецов Обработка и анализ цифровых архивов метеорологических данных удаленного доступа. - СПб: 2021. - 68 с.
[Surface Observations // University of Wyoming \[Электронный ресурс\] <https://pmel.noaa.gov/el-nino/what-is-el-nino>](https://pmel.noaa.gov/el-nino/what-is-el-nino)