



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)

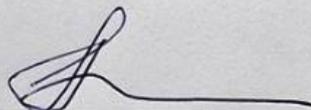
На тему: «Влияние событий ВСП на циркуляцию в средней и верхней
тропосфере»

Исполнитель Савушкина Алина Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

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

Топтунова Ольга Николаевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой



(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 4 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

ОГЛАВЛЕНИЕ.

ВВЕДЕНИЕ.	3
ГЛАВА 1. ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ.	5
1.1. Общие сведения.....	5
1.2. Параметры общей циркуляции атмосферы.....	9
1.3. Циркуляционные процессы в тропосфере.	10
1.4. Циркуляционные процессы в стратосфере.	12
ГЛАВА 2. ВНЕЗАПНЫЕ СТРАТОСФЕРНЫЕ ПОТЕПЛЕНИЯ.	14
ГЛАВА 3. ДАННЫЕ И МЕТОД АНАЛИЗА.	16
3.1. Индексы Каца.	16
3.2. Реанализ MERRA-2.	17
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	44
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.	46

ВВЕДЕНИЕ.

Внезапные стратосферные потепления (ВСП) представляют собой одно из наиболее значительных явлений в атмосферной динамике, оказывающее серьезное влияние на погодные и климатические процессы в тропосфере. Изучение этого влияния имеет важное научное и практическое значение, так как ВСП способны вызывать масштабные перестройки циркуляции, приводящие к продолжительным аномалиям погоды.

Актуальность темы исследования обусловлена возрастающим интересом к пониманию процессов, происходящих в атмосфере в условиях глобального изменения климата. Внезапные стратосферные потепления представляют собой важный феномен, способный оказывать значительное влияние на атмосферную циркуляцию и климатические условия. Эти события могут приводить к резким изменениям в погодных условиях, что делает их изучение особенно актуальным для метеорологии и климатологии.

Целью данной работы является исследование влияния событий внезапных стратосферных потеплений на циркуляцию в средней и верхней тропосфере.

Для достижения этой цели необходимо решить несколько задач: изучить особенности циркуляции атмосферы, оценить индекс Каца для оценки изменчивости циркуляции, исследовать изменение в циркуляции атмосферы при ВСП.

Объектом исследования являются атмосферные процессы, а предметом – влияние внезапных стратосферных потеплений на циркуляцию.

Особое внимание в работе уделяется анализу изменений в средней и верхней тропосфере. Исследование механизмов этого взаимодействия

позволяет глубже понять природу крупномасштабных циркуляционных аномалий и их роль в формировании экстремальных погодных явлений.

Таким образом, изучение влияния ВСП на тропосферную циркуляцию представляет собой актуальную научную задачу, имеющую как теоретическое значение для развития представлений об атмосферной динамике, так и практическую ценность для совершенствования методов прогнозирования погоды.

ГЛАВА 1. ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ.

1.1. Общие сведения.

Общей циркуляцией атмосферы называется движение крупномасштабных воздушных масс относительно поверхности Земли. Масштабы этих движений подразделяются на 2 класса: глобальная циркуляция (тысячи и десятки тысяч километров) и синоптические процессы (сотни и тысячи километров). К глобальным процессам относятся западно-восточный перенос в умеренных широтах и пассатная циркуляция в тропиках. Синоптические процессы – это длинные волны Россби–Блиновой в западно-восточном переносе, связанные с ними циклоны и антициклоны и муссонная циркуляция в тропиках и умеренных широтах. [1]

К атмосферной циркуляции относятся такие элементы, как: экваториальная, зональная и меридиональная циркуляция.

Интенсивный нагрев воздуха в экваториальной зоне генерирует мощные восходящие потоки, формируя область низкого давления, охлаждаясь, воздух движется к высоким широтам, образуя там область высокого давления – это экваториальная циркуляция.

Воздушные потоки, перемещающиеся вдоль широт с запада на восток, возникающий за счет вращения Земли (сила Кориолиса), создающие зональные ветры со стабильной зоной давления – зональная циркуляция.

При перемещении холодных сухих воздушных масс с севера на юг или теплых влажных воздушных масс юга на север, при нарушении западного переноса и двигаются вдоль меридианов – меридиональная циркуляция.

Основным механизмом циркуляция атмосферы на вращающейся земле является зональный перенос, обусловленный разностью температурных режимов между различными широтами. В тропосфере в течение всего года преобладает западный перенос воздушных масс. В то время как в низких

широтах наблюдается доминирование восточной составляющей, достигающее Ширины около шестидесяти градусов у поверхности земли и сужающийся до пятнадцати градусов на высоте примерно двести гектар Паскаль. Над этой высотой зона восточного переноса вновь расширяется и сливается с аналогичной зоной в нижней стратосфере летнего полушарие.

Циркуляционный режимы существенно варьируются в зависимости от сезона. Летом в умеренных широтах преобладает западный перенос, начинаясь у поверхности и продолжаясь то нижней стратосферы. С увеличением высоты западный ветер усиливается и достигает максимума вблизи тропопаузы, после чего ослабевает и меняет направление на высотах. В средней и верхней стратосфере фиксируется восточный перенос. Зимой же в умеренных широтах практически по всей тропосфере и стратосфере наблюдается преобладание западного переноса, который усиливается с высотой.

Что касается высоких широт, то зимой в нижней тропосфере до высот порядка 2 километра проявляется слабая восточная составляющая. Средней и верхней зимней тропосфере, а также стратосфере доминирует западный перенос, летом же западный перенос сохраняется от поверхности земли до нижней стратосферы и затем переходит в зону восточного переноса.

Общая циркуляция атмосферы является важнейшим элементом климатической системы Земли, поскольку она взаимодействует с океанами и активным слоем суши. Этот процесс определяет распределение тепла и влаги по всей планете, что в конечном итоге формирует разнообразные климатические условия. Существует несколько различных подходов к определению атмосферной циркуляции:

- Среднее за определённый промежуток времени состояние атмосферы с учётом географических особенностей региона;

- Глобальный режим атмосферы в периоды, когда изменения климата сопровождаются характерными погодными явлениями;
- Совокупность квазипостоянных синоптических колебаний;
- Статистические показатели, характеризующие атмосферные процессы. В российской метеорологии под термином «общая циркуляция атмосферы» подразумевают как крупномасштабные воздушные потоки, так и их статистическую совокупность.

Крупномасштабные процессы охватывают пространственные масштабы, характерные для тропосферы, стратосферы и мезосферы, а также для континентов и океанов — их размеры могут достигать тысяч километров и иметь планетарный масштаб. В их состав входят зональные переносы, струйные течения, длиннопериодические волны, циклоны и антициклоны. Основная особенность этих процессов — их квазигеостационарность: ускорение Кориолиса значительно превышает относительное ускорение движений. В исследованиях крупномасштабных элементов глобальной циркуляции рассматривают как пространственные неоднородности глобальных полей, характеризующие состояние атмосферы и превышающие по масштабу толщину самой атмосферы.

Крупномасштабные процессы делятся на:

- Глобальные циркуляции (зональные и муссонные);
- Синоптические волны (например, волны Россби — Блиновой).

Изучение глобальной атмосферной циркуляции включает как качественный, так и количественный анализ. Качественный подход помогает понять основные факторы, формирующие характеристики циркуляции — такие как воздушные массы, фронты и струйные потоки — основываясь на метеорологических концепциях. Количественный анализ базируется на физических уравнениях, включающих законы сохранения массы, импульса и энергии. В этих уравнениях используют переменные, такие как ветер,

температура, давление и влажность — они отображаются на синоптических картах и дополняются средними профилями давления и ветра. Из этих переменных выводят дополнительные показатели: энтропию, завихренность, компоненты кинетической энергии и тепловых переносов.

Известный учёный Эдвард Лоренц внес значительный вклад в теорию хаоса и метеорологию, сформулировав правила отбора статистических характеристик для анализа атмосферных процессов. Эти правила помогают выделить параметры по категориям:

Первую — характеристики, хорошо отображающиеся при усреднении по времени и долготе (например, западные ветры);

Вторую — параметры, сохраняющиеся при усреднении только по времени (например, муссонные потоки);

Третью — показатели при усреднении только по долготе (например, колебания зонального индекса);

Четвёртую — синоптические масштабы без усреднений (например, мигрирующие циклоны).[3]

Классификация крупномасштабных атмосферных процессов может быть дополнена с учётом особенностей земной поверхности и энергетических переносов — такой подход был предложен Борисенковым в 1960 году для более точного понимания атмосферных явлений. В 1977 году Ван Мигем выделил три типа квазигоризонтальных движений:

- Планетарные волны с волновыми числами $n=1-4$ длиной от 3300 до 7000 км на широте 45° , наиболее устойчивые волны с $n=2$ и $n=3$ формируются под влиянием материковых контуров и орографии;
- Длинные неустойчивые волны с $n=5-10$ длиной от 5500 до 2800 км вызывают бароклинную неустойчивость потоков и участвуют в переходе энергии между различными уровнями;

- Быстро движущиеся короткие волны с $n > 10$ длиной менее 2800 км связаны с образованием циклонов и антициклонов.

Все эти типы волн играют важную роль в формировании общей циркуляции атмосферы и влияют на погодные условия. [4]

Общая циркуляция атмосферы представляет собой сложную систему движений различного масштаба: от глобальных потоков до локальных вихрей. Важнейшие компоненты включают:

Западный перенос воздуха в тропосфере и стратосфере — основное направление воздушных масс с запада на восток в умеренных широтах;

Циркуляцию экстратропических циклонов и антициклонов — важную для межширотного обмена воздухом систему, влияющую на осадки и температуру;

Муссонную систему — сезонное изменение направления ветров с характерными осадками в тропиках.

Глобальная атмосферная циркуляция формируется под воздействием множества факторов: солнечного излучения, вращения Земли, распределения суши и водных масс, а также внутренних процессов атмосферы. Это динамичная система постоянных изменений под влиянием природных условий и антропогенных факторов.

1.2. Параметры общей циркуляции атмосферы.

Параметрами ОЦА служат:

- индексы зональной и меридиональной циркуляции А. Л. Каца;
- индексы Южного и Североатлантического колебаний;
- момент импульса зональных ветров атмосферы;
- параметры центров действия атмосферы (ЦДА)
- их координаты и давление в центре;

- повторяемость ЦДА;
- число дней с блокирующими антициклонами, координаты, давление и геопотенциал в их центре;
- параметры планетарной высотной фронтальной зоны;
- положение климатических фронтов.[6]

1.3. Циркуляционные процессы в тропосфере.

Основной чертой тропосферной циркуляции является преобладание меридиональной составляющей воздушных потоков, формирующееся под воздействием климатических контрастов (океан-континент, лед-суша), гидродинамической неустойчивости зональных течений и межгодовой изменчивости планетарного масштаба. Данный процесс приводит к возникновению длинных волн в западно-восточном направлении и активному меридиональному переносу воздушных масс. В структурном отношении циркуляция подразделяется на зональную и меридиональную, каждая из которых обладает специфическими динамическими характеристиками.

Зональная циркуляция проявляется как крупномасштабный западно-восточный перенос, образующий глобальную "реку ветра". Её ключевыми элементами выступают субтропическое струйное течение и полярно-фронтальное течение, генетически связанное с атмосферными фронтами. Последнее обусловлено усилением барического градиента с высотой, достигающего максимума вблизи тропопаузы, при одновременном ослаблении температурного градиента между разделяемыми фронтом воздушными массами.

Согласно классификации Вангенгейма-Гирса, выделяются три основные формы циркуляции: зональная (W), характеризующаяся плоскими длинными волнами малой амплитуды и обеспечивающая перенос

атлантических воздушных масс на континент; восточная (Е), отличающаяся формированием мощного высотного гребня над Европой; и меридиональная (С), сопровождающаяся глубокой ложбиной над Европой, что обуславливает интенсивные осадки и похолодания.

Вертикальная стратификация циркуляции демонстрирует принципиальные различия: выше 5 км доминирует зональный перенос с волновыми возмущениями амплитудой 500–3000 км, тогда как в нижней тропосфере преобладают квазистационарные барические образования – циклонические (Исландский, Алеутский минимумы) и антициклонические центры действия (Азиатский, Канадский максимумы), а также мезомасштабные процессы типа муссонов.

Система меридионального переноса реализуется через три ячейки циркуляции. Тропическая ячейка Хэдли, наиболее мощная и устойчивая, функционирует как термически прямая циркуляция: восходящие потоки во внутритропической зоне конвергенции сменяются нисходящими движениями в субтропиках, формируя у поверхности пассаты, а в верхних слоях – антипассаты. Ячейка Феррела в умеренных широтах представляет собой термически обратную циркуляцию, существующую благодаря барострофической неустойчивости и обеспечивающую перенос тепла к полюсам. Наименее устойчивая полярная ячейка активизируется при усилении полярного антициклона, способствуя вторжениям арктического воздуха в средние широты.

Таким образом, тропосферная циркуляция представляет собой иерархическую систему взаимосвязанных процессов, где меридиональные потоки играют ключевую роль в перераспределении тепла и влаги, а зональные течения формируют каркас крупномасштабной динамики атмосферы. Пространственно-временная изменчивость этих процессов

определяет формирование региональных климатических аномалий и экстремальных метеорологических явлений.

1.4. Циркуляционные процессы в стратосфере.

Циркуляция в стратосфере представляет собой сложный и динамичный процесс, который существенно зависит от сезонных изменений и геофизических факторов. В зимний период воздушные потоки в этом слое атмосферы формируются под действием принципов геострофического баланса. Изобарические поверхности, то есть линии равного давления, приобретают характерные изгибы, простирающиеся от экватора к полюсам. Эти наклонённые изобарические линии отражают горизонтальные градиенты температуры и давления, которые способствуют перемещению воздушных масс из теплых тропических широт в сторону холодных полярных районов.

Под воздействием силы Кориолиса, обусловленной вращением Земли, воздушные потоки в зимней стратосфере отклоняются вправо (в северном полушарии), что приводит к формированию направленных к полюсу западно-восточных потоков. В результате возникает так называемый геострофический перенос — систематический перемещающийся поток воздуха, который поддерживается балансом между силой барического градиента и силой Кориолиса. Этот перенос обеспечивает циркуляцию воздуха по широтам и способствует распространению тепла и влаги.

Однако циркуляция в стратосфере не является статичной. В периоды волнений и резких изменений атмосферных условий происходит нарушение устойчивого режима. Одним из ярких проявлений таких процессов является расщепление циркумполярного циклона на два отдельных полюса, что ведет к существенным перестройкам в циркуляции. В этот момент происходит активное перемещение тепла по западным перифериям антициклонов — явление, известное как внезапное стратосферное потепление. В ходе этого

процесса температура в приполярных районах резко повышается, что оказывает влияние на глобальную атмосферную циркуляцию.

Летний режим циркуляции в стратосфере отличается противоположными направлениями потоков: здесь преобладает восточно-западный перенос. В этот период температурные и барические градиенты меняют свои знаки: на полюсах формируется относительно тепло с высоким давлением, а у экватора — более холодно и с низким давлением. Эти сезонные изменения существенно влияют на структуру и динамику стратосферной циркуляции, определяя особенности климатических процессов, как на региональном, так и на глобальном уровнях.

Таким образом, циркуляция в стратосфере — это результат сложного взаимодействия силовых факторов, сезонных изменений и волновых процессов. Она играет важную роль в формировании климатической обстановки Земли, влияя на распределение тепла и химического состава атмосферы, а также участвует в механизмах внезапных потеплений и других значимых метеорологических явлений.

ГЛАВА 2. ВНЕЗАПНЫЕ СТРАТОСФЕРНЫЕ ПОТЕПЛЕНИЯ.

Внезапное стратосферное потепление – это сильное и внезапное повышение температуры «взрывного характера» в полярной и субполярной стратосфере зимой, иногда на 50° и более в течение нескольких (порядка десяти) суток. Это происходит на высотах от 10 до 50 км. При этом меняется знак меридионального градиента температуры над полушарием, формируется стратосферный антициклон, и общий перенос воздуха меняется с западного на восточный. ВСП возникает в верхней стратосфере, в слоях, располагающихся над уровнем стратонуля (около 24 км) и затем распространяется также и на нижнюю стратосферу. Возвращение к нормальному зимнему режиму протекает медленнее, чем развитие потепления. ВСП наблюдаются почти каждый год. По-видимому, непосредственной причиной ВСП является опускание и адиабатическое нагревание стратосферного воздуха, связанное с перестройкой условий циркуляции.[5]

В условиях устойчивой зимней стратосферы доминирует полярный планетарный циклон, окружённый субтропическими антициклонами, формируя характерную циркуляционную структуру. Однако в периоды внезапных стратосферных потеплений — явлений, способных развиваться с равной вероятностью в любой момент зимнего сезона и длящиеся от нескольких суток до нескольких недель — происходит значительная перестройка этого режима. В такие моменты полярный вихрь подвергается разрушению: он распадается на два отдельных центра, которые смещаются к более низким широтам, а в полярных районах начинают проникать субтропические антициклоны или их барические гребни. В результате нарушается привычный зональный западный перенос, а температура в верхних слоях полярной стратосферы резко повышается. Именно из-за этой

кардинальной перестройки барического поля и циркуляционных процессов явление получило название внезапного стратосферного потепления.

Частотность возникновения ВСП демонстрирует значительную пространственную неоднородность: наиболее часто оно наблюдается в регионах Северной Атлантики и Тихого океана, тогда как над европейскими, азиатскими и североамериканскими территориями его проявления встречаются значительно реже. Следует отметить, что влияние планетарных волн в зимний период проявляется особенно ярко в Северном полушарии. Это обусловлено контрастом в распределении суши и океана, что способствует усиленной активности волн. В северных широтах явление ВСП происходит практически ежегодно, тогда как в Южном полушарии оно встречается значительно реже и носит единичный характер.

Влияние ВСП на структуру стратосферного полярного вихря является существенным: при обычных условиях он сосредоточен над Северным полюсом, однако во время ВСП происходит его ослабление, смещение, растяжение и возможное разрывание на две самостоятельные части. Эти процессы оказывают значительное воздействие на глобальную циркуляцию атмосферы и могут иметь последствия для климатических условий как на региональном, так и на глобальном уровнях.

ГЛАВА 3. ДАННЫЕ И МЕТОД АНАЛИЗА.

3.1. Индексы Каца.

В данном исследовании центральная роль отводится анализу индексов Каца — ключевого инструмента для диагностики перестроек атмосферной циркуляции. Эти индексы будут использованы для количественной оценки влияния стратосферных возмущений на тропосферные процессы.

Индексы А.Л. Каца – это универсальный инструмент для оценки интенсивности циркуляции. Можно рассчитать отдельный перенос с юга на север и с севера на юг, можно вычислить суммарный меридиональный воздухообмен. Это же относится к индексу зональности. Общий индекс позволяет разделить процессы на зональные и меридиональные. Данная система индексов нашла широкое применение во многих исследованиях, в том числе и в долгосрочных прогнозах. [7]

Метод расчета индекса Каца:

Меридиональный индекс рассчитывается по формуле:

$$GR_{\lambda}(i, j) = \frac{H(i + 1, j) - H(i - 1, j)}{2d_{\lambda}}$$

Зональный индекс рассчитывается по формуле:

$$GR_{\varphi}(i, j) = \frac{H(i, j + 1) - H(i, j - 1)}{2d_{\varphi}}$$

где H – значение геопотенциала на изобарической поверхности 500 гПа,

d_{λ} – шаг сетки (в градусах) по долготе,

d_{φ} - шаг сетки (в градусах) по широте,

i и j – номер узла по долготе и широте, соответственно,

$$d\lambda = d\varphi = 6^\circ.$$

3.2. Реанализ MERRA-2.

В качестве исходных данных для исследования использовались результаты реанализа MERRA-2. Этот реанализ действительно является важным и полезным источником информации для специалистов в области климата и метеорологии.

Реанализ MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2) — это современная климатическая база данных, созданная NASA и предоставляющая подробную информацию о состоянии атмосферы, поверхности Земли и гидросферы за период с 1980 года по настоящее время. Он основан на спутниковых данных, наземных наблюдениях и моделировании, что позволяет получать высокоточные и непрерывные временные ряды метеорологических параметров.

Основные особенности MERRA-2 включают:

1. Высокое разрешение: обеспечивает детальную картину климатических процессов с пространственным разрешением около 0,5 градуса по широте и долготе.
2. Обширный набор параметров: включает температуру воздуха, влажность, осадки, ветры, радиацию и другие важные показатели.
3. Использование современных методов моделирования: интегрирует спутниковые данные с численными моделями атмосферы для повышения точности и полноты информации.

4. Применение в исследованиях: широко используется для анализа климатических изменений, моделирования погодных условий, оценки воздействия антропогенных факторов и разработки стратегий адаптации к изменению климата.

Реанализ MERRA-2 является ценным инструментом для ученых и специалистов в области метеорологии и климатологии благодаря своей надежности, детализации и длительному временному диапазону.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

В процессе выполнения работы для анализа были выбраны три случая ВСП, наблюдавшихся в зимние периоды над Северным полушарием Земли: 2010 года, произошедшее в третьей декаде января; 2013 года, наблюдавшееся в первой декаде января; 2017 года, произошедшее в третьей декаде января. Для исследования влияния ВСП на тропосферную циркуляцию в исследовании были использованы: широтный и долготный индекс Каца на высоте 500 гПа, а также карты геопотенциала на высоте 7 гПа. Индекс Каца демонстрирует интенсивность переноса воздушных масс, а карта геопотенциала наглядно демонстрирует деформацию и перемещение стратосферного полярного вихря. Было необходимо проследить динамику развития событий, следовательно, были рассмотрены данные карты со средним интервалом 5 дней. В ходе работы предполагалось установить влияние ВСП на перестройку тропосферной циркуляции.

ВСП 2010 года.

В 2010 году пик ВСП пришелся на конец января.

Анализ развития стратосферного полярного вихря в период с 20 января (Рис.2.) по 5 февраля (Рис.8.) позволяет отметить последовательное изменение его структуры. Данный процесс обусловлен ВСП. Вначале наблюдается мощный стратосферный циклон с центром над островом Новая Земля, но далее заметно, что происходит его разделение на два обособленных центра. Один центр расположен над Исландией, второй над Монголией.

Воздействие ВСП становится заметным в первой декаде февраля, достигая максимальной выраженности к 9 февраля (Рис.9.). Анализ индекса Каца позволяет выявить, что:

Над Средней Сибирью зафиксирован отрицательный индекс, свидетельствующий об усилении северных воздушных потоков. В районе Новосибирских островов преобладают положительные значения индекса Каца, что указывает на усиление воздушных масс с юга. Происходит усиление меридионального обмена, холодный воздух с севера поступает на юг.

Над акваторией Норвежского моря отмечается отрицательный индекс, отражающий увеличение меридиональной составляющей переноса с севера. Над Гренландией доминируют положительные аномалии, связанные с активизацией южного переноса. Слабая выраженность градиента широтного индекса подтверждает преобладание меридиональных процессов в рассматриваемый период.

Последующие рисунки индекса Каца, с уменьшением градиента, после 10 февраля показывают восстановление циркуляции, свидетельствующие о прекращении значимого воздействия ВСП.

20 января.

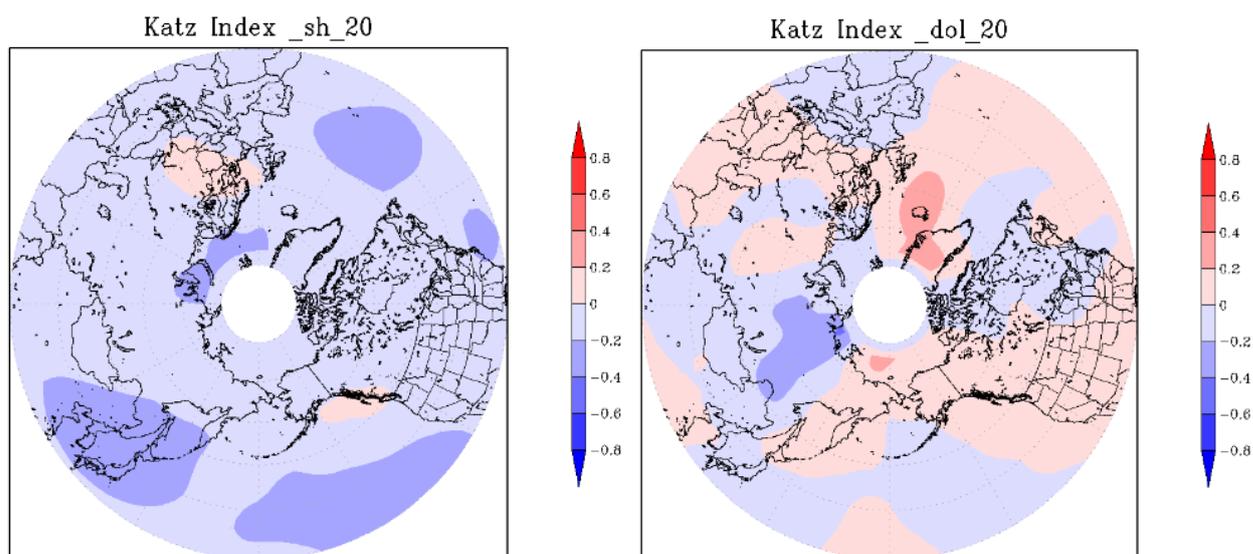


Рис.1. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

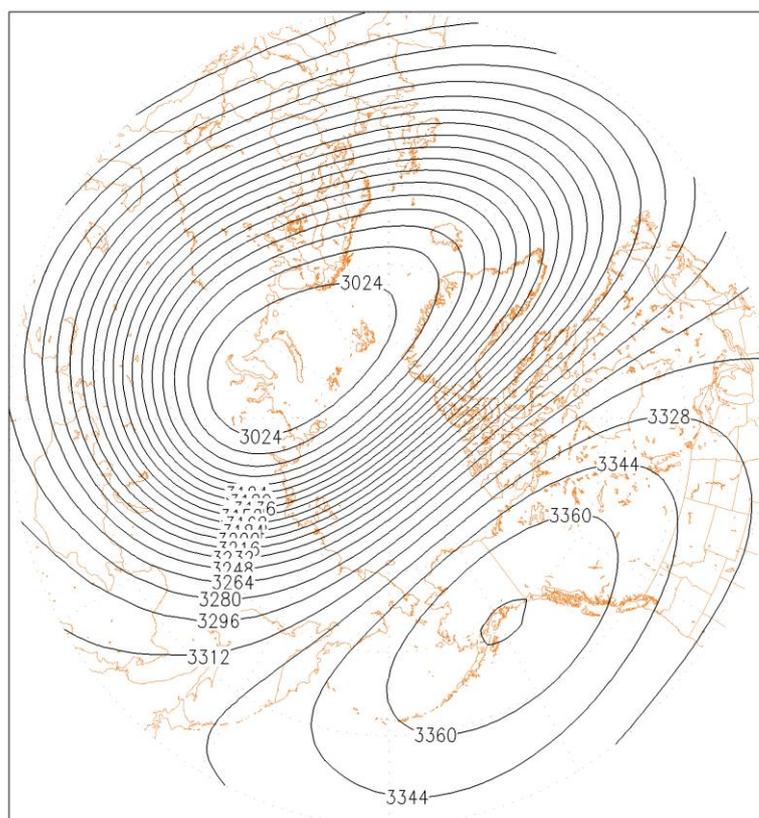


Рис.2. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

25 января.

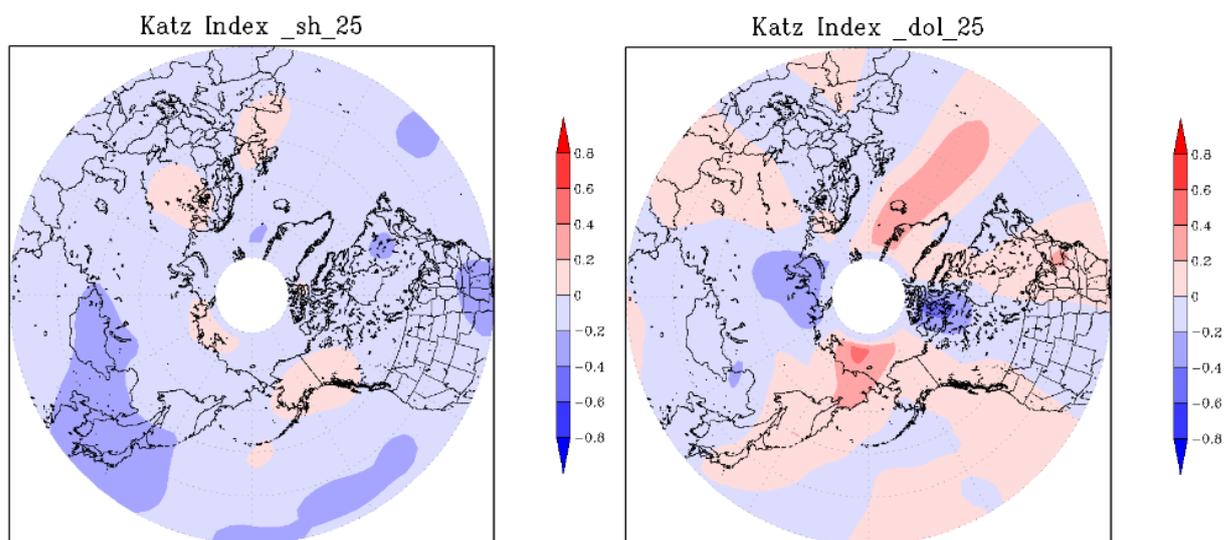


Рис.3. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

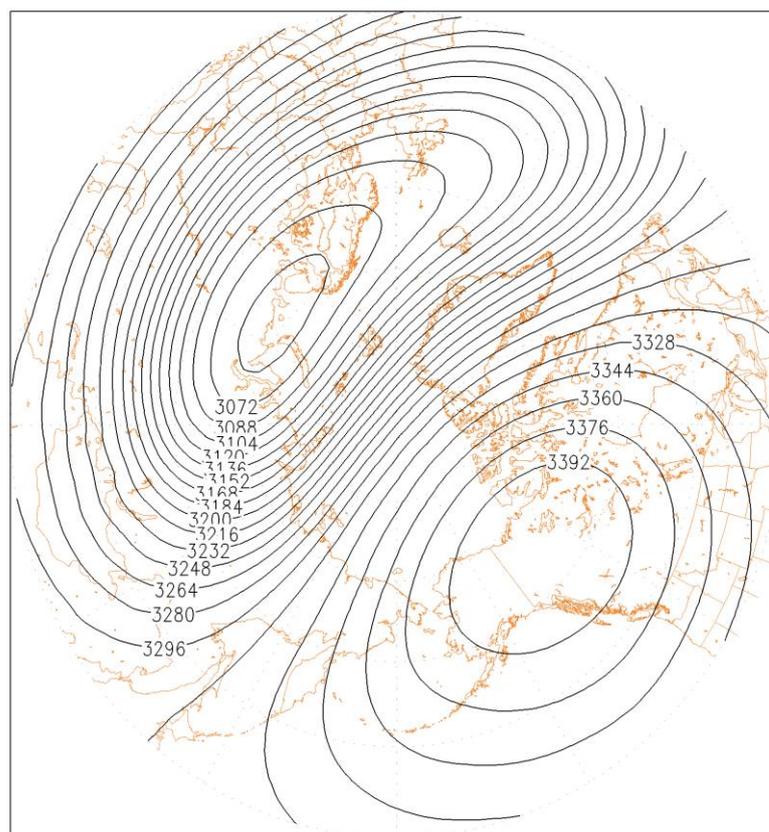


Рис.4. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

30 января.

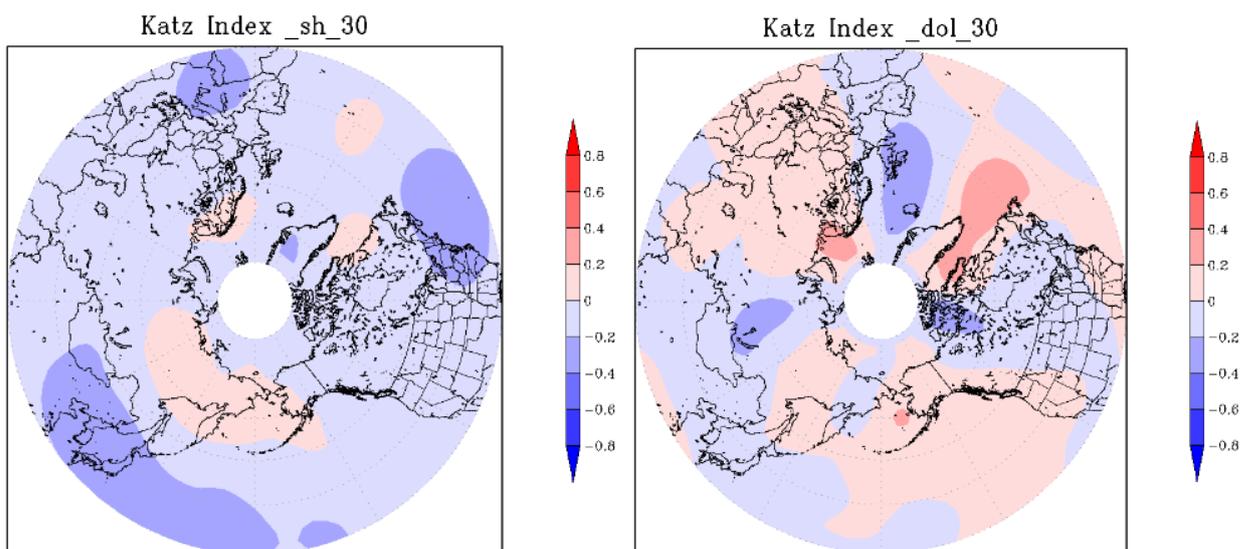


Рис.5. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

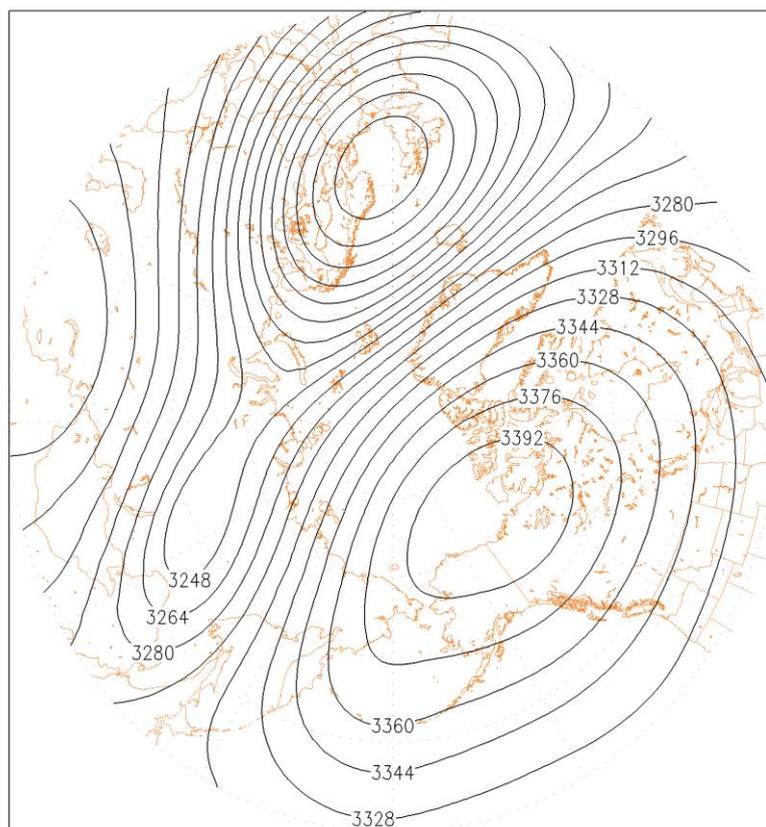


Рис.6. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

5 февраля.

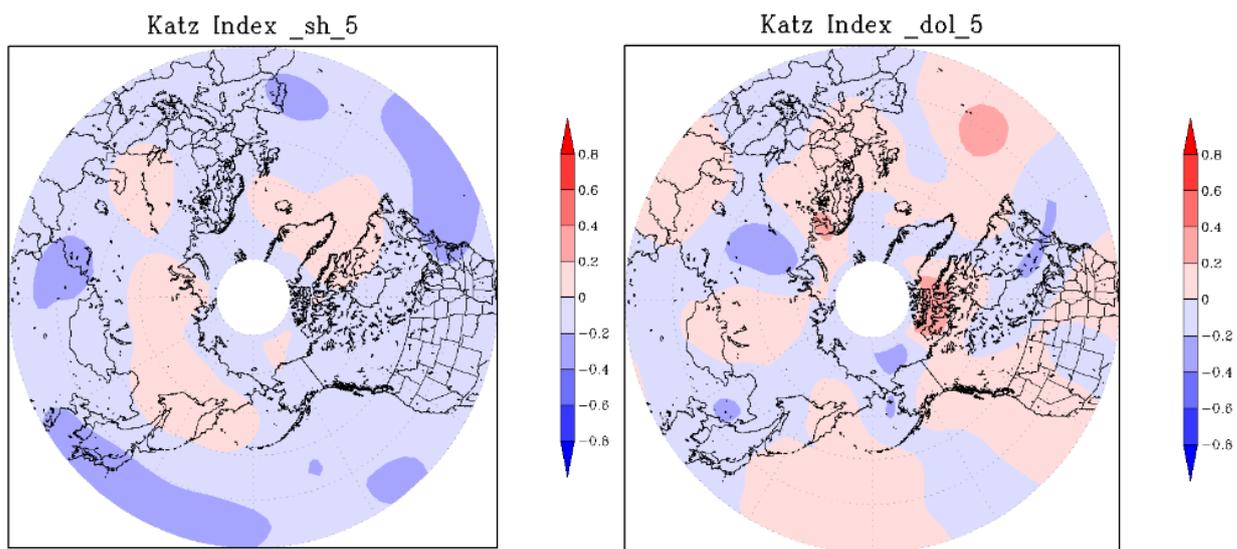


Рис.7. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

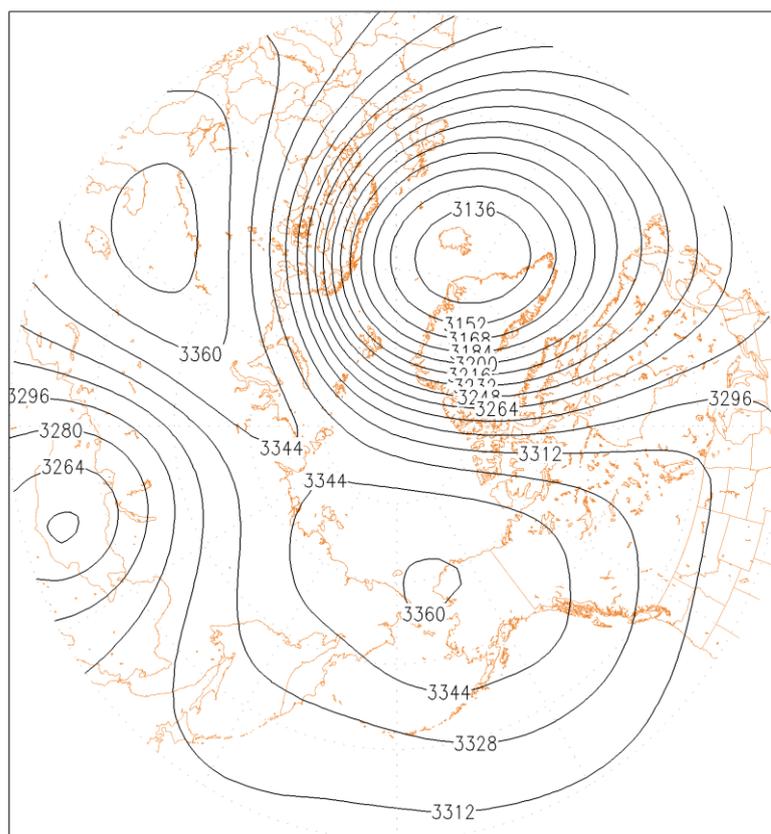


Рис.8. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

9 февраля.

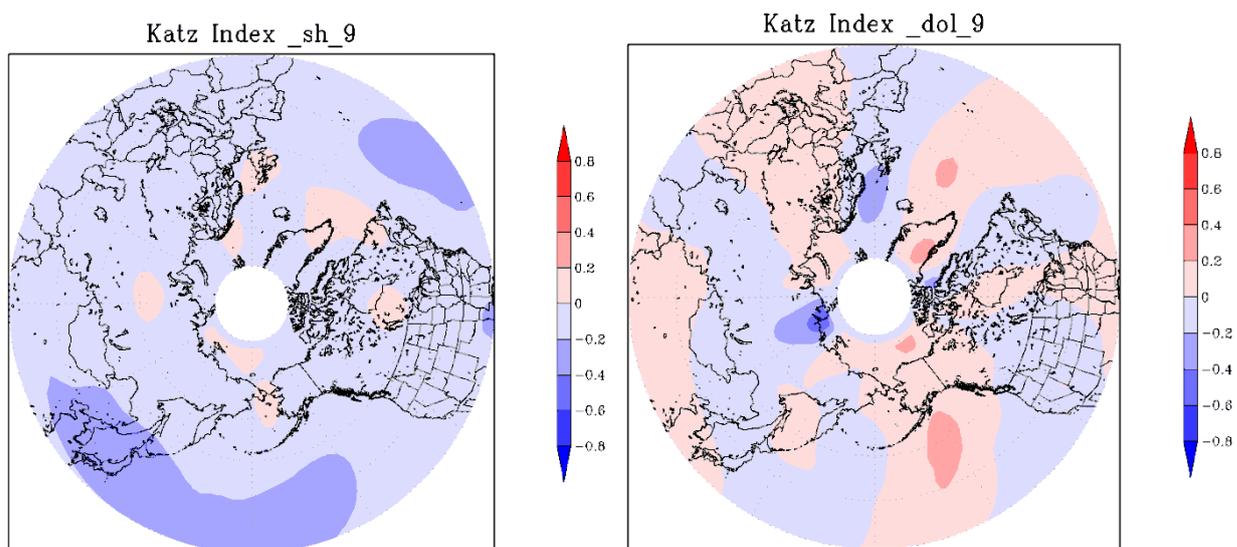


Рис.9. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

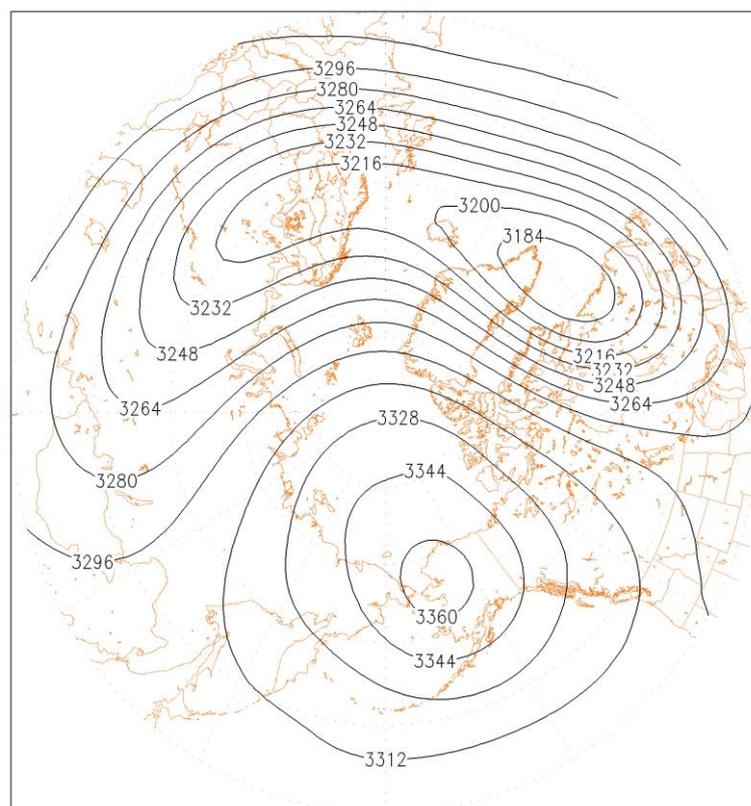


Рис.10. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

10 февраля.

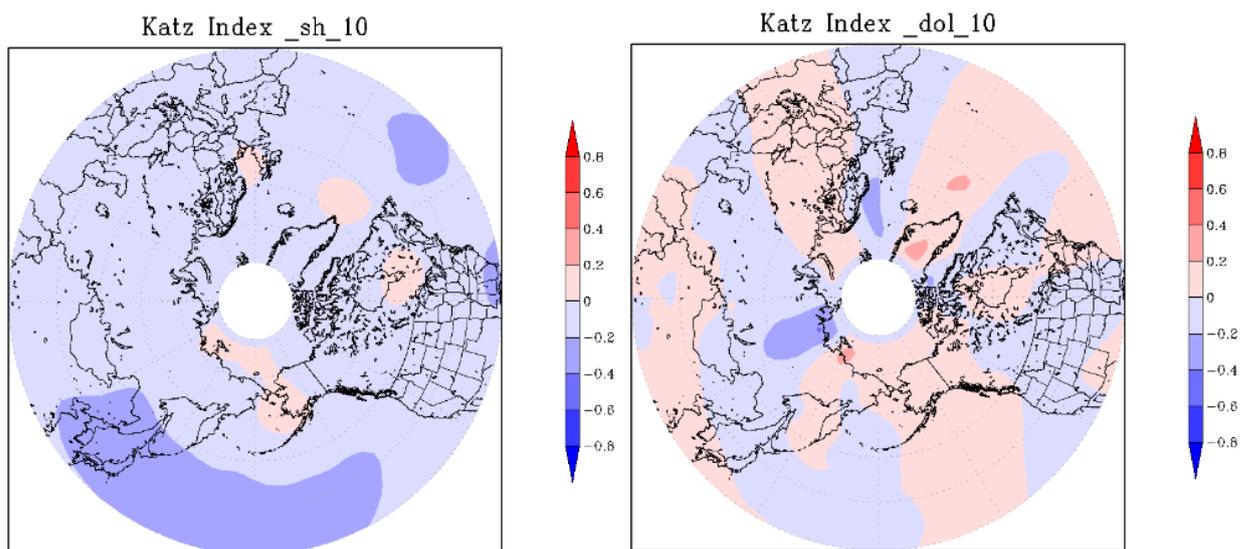


Рис.11. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

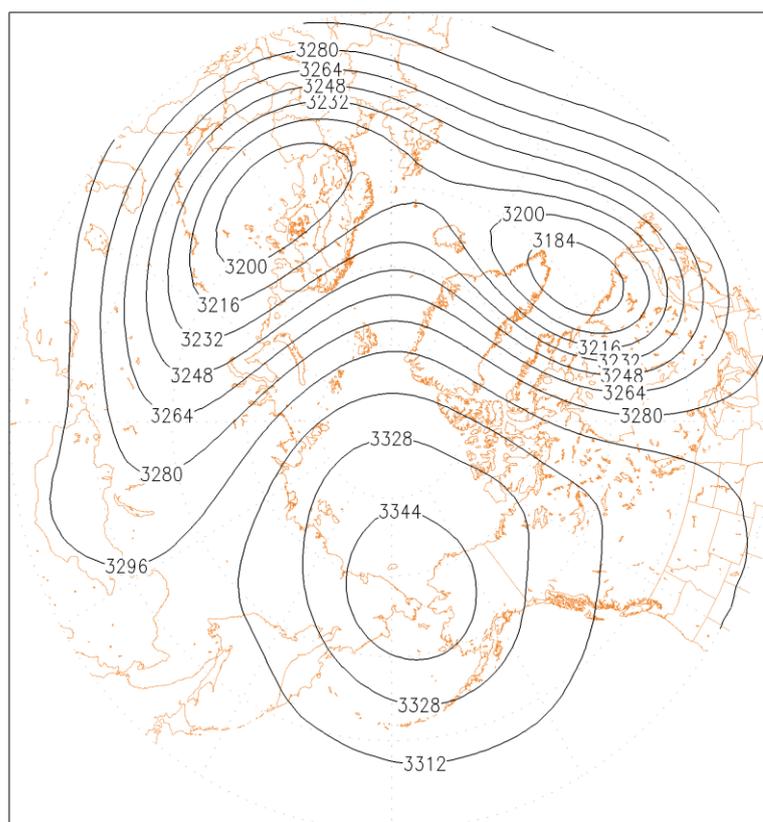


Рис.12. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

15 февраля.

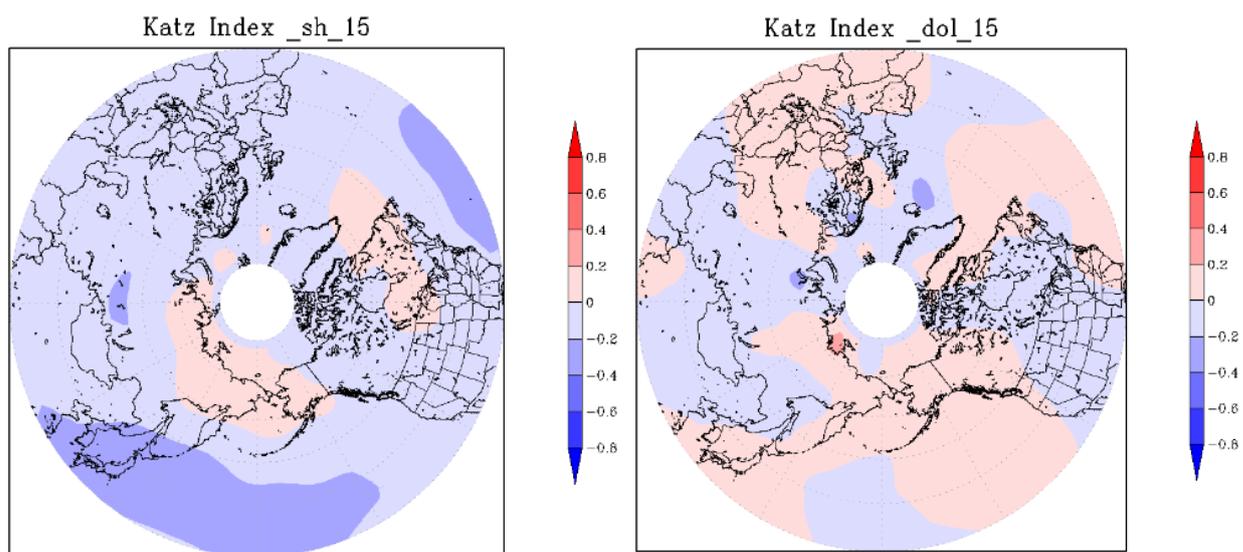


Рис. 13. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

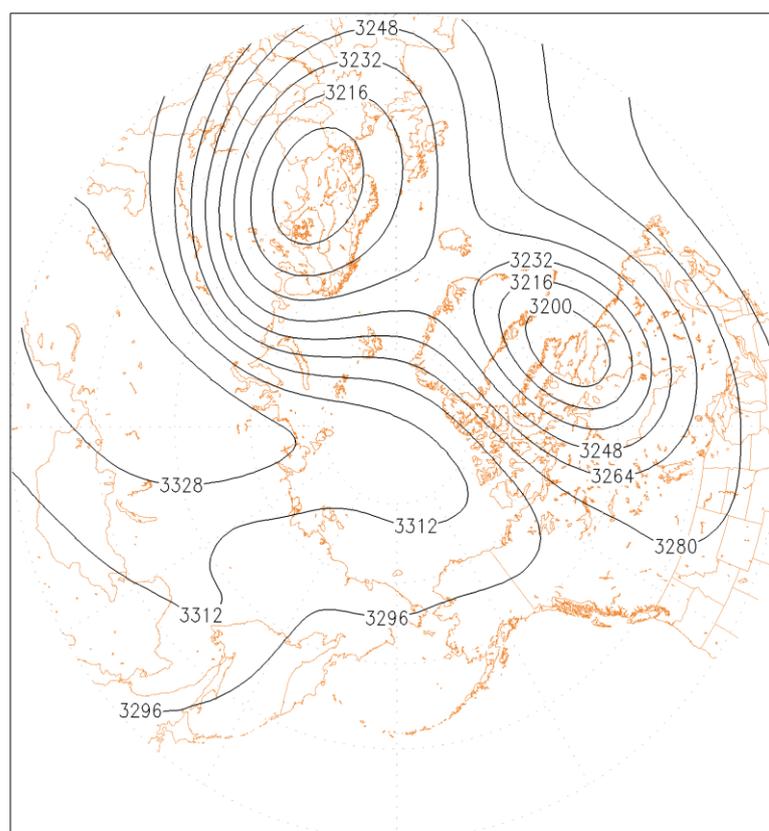


Рис.14. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

ВСП 2013 года.

В 2013 году пик ВСП наблюдался в начале января.

Анализ стратосферного полярного вихря с 5 января (Рис. 15.) по 13 января (Рис.19) показывает его разделение на два обособленных центра: первый располагается над северной частью Новой Земли, второй – над территорией Северной Америки.

В первые дни января существенных изменений тропосферной циркуляции не отмечалось. Однако к 13 января проявилось влияние ВСП, что хорошо прослеживалось на рисунке 19. Исследование долгого индекса выявило следующие особенности циркуляции тропосферы:

Над Скандинавией зафиксирован отрицательный индекс, указывающий на усиление северных воздушных потоков. В северной части Западно-Сибирской равнины преобладал положительный индекс, свидетельствующий о южном переносе.

Над западными районами Северной Америки отмечалось усиление северных потоков, в то время как над Аляской преобладал южный перенос воздушных масс.

Широтный индекс в указанный период был слабо выражен, что подтверждает усиление меридионального переноса и соответствующее ослабление зональной составляющей циркуляции.

Следует отметить, что атмосферные процессы над Северной Америкой отличались большей пространственной протяженностью и интенсивностью по сравнению с северными районами Евразии. Эта особенность связана с более глубоким положением стратосферного полярного вихря в данном регионе.

Последующие рисунки демонстрируют эволюцию стратосферного полярного вихря и постепенное смещение зон переноса. К концу января наблюдается заметное ослабление влияния ВСП.

5 января.

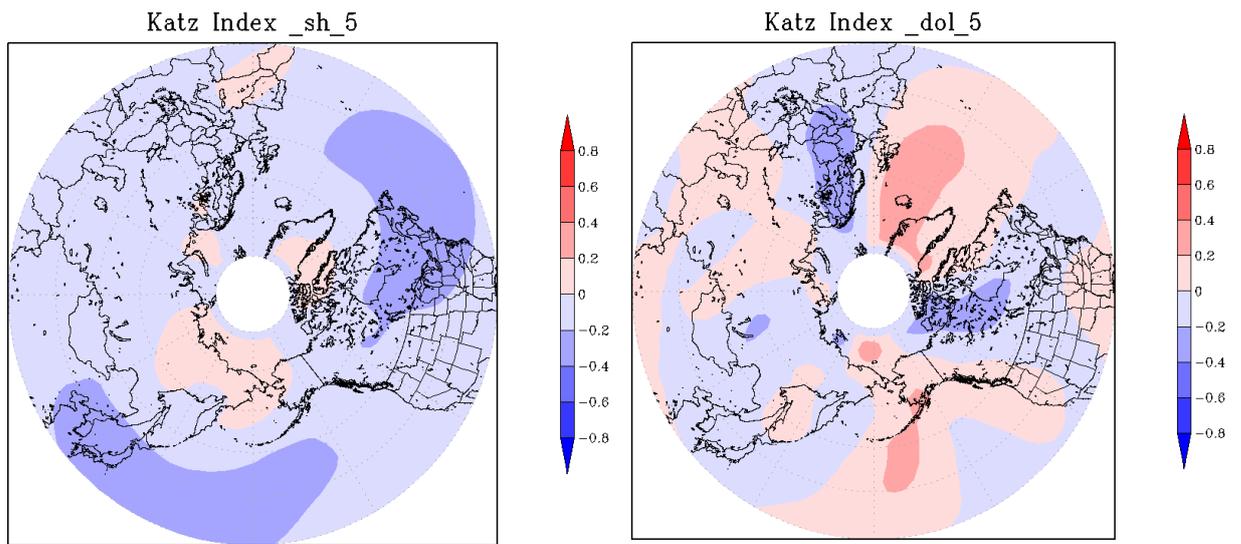


Рис.15. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

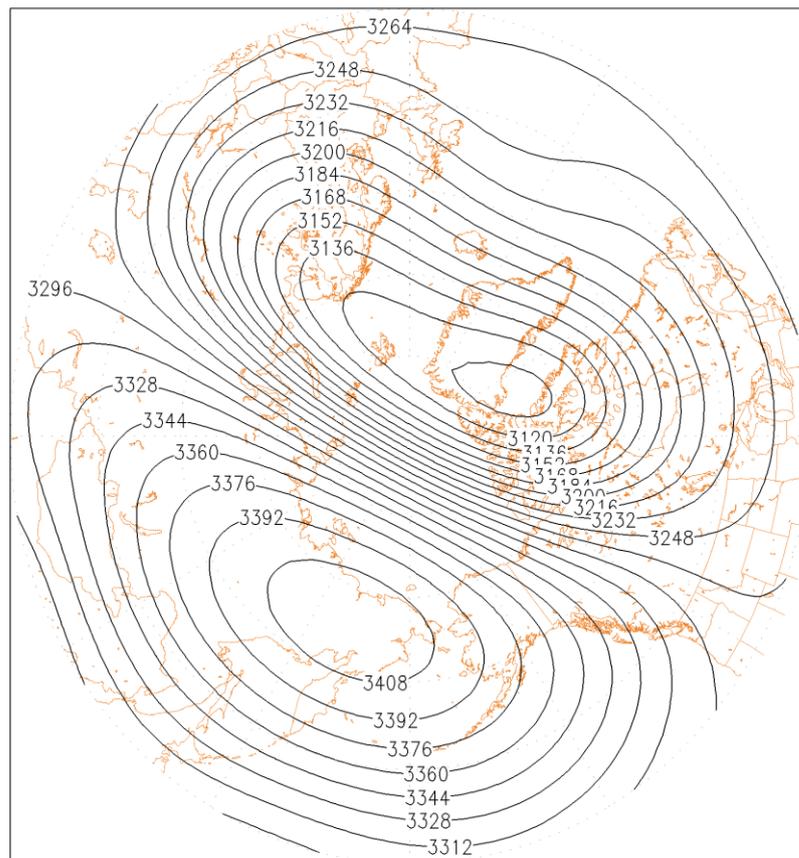


Рис.16. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

10 января.

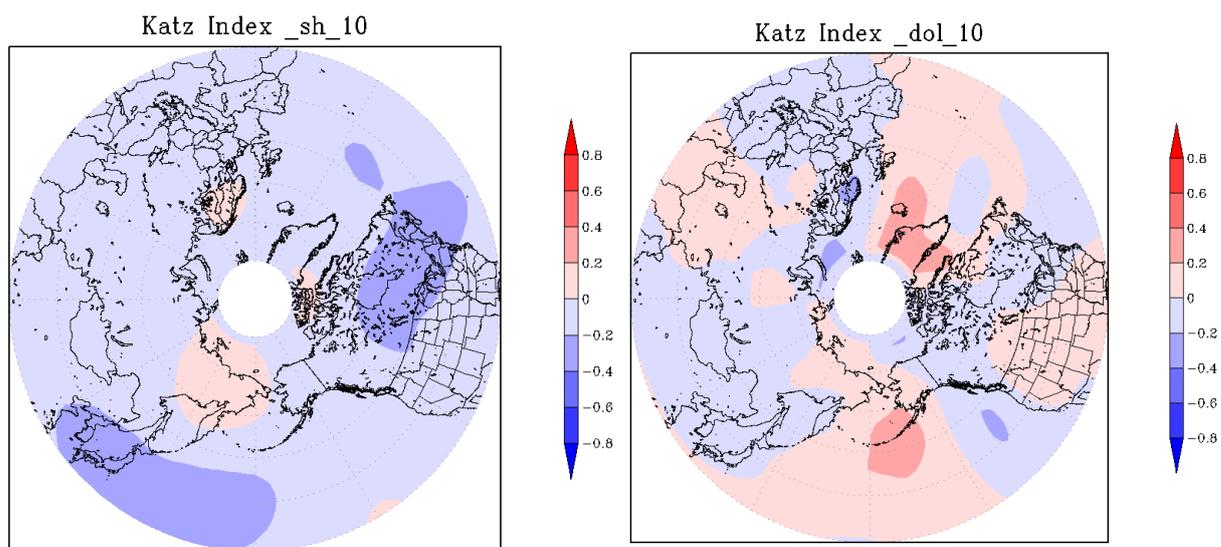


Рис.17. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

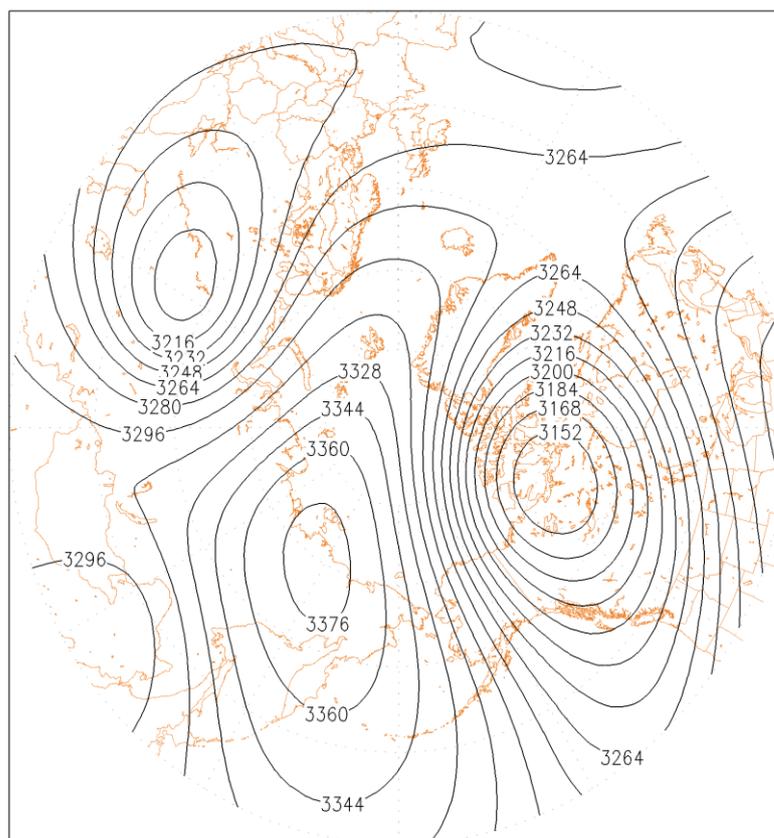


Рис.18. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

13 января.

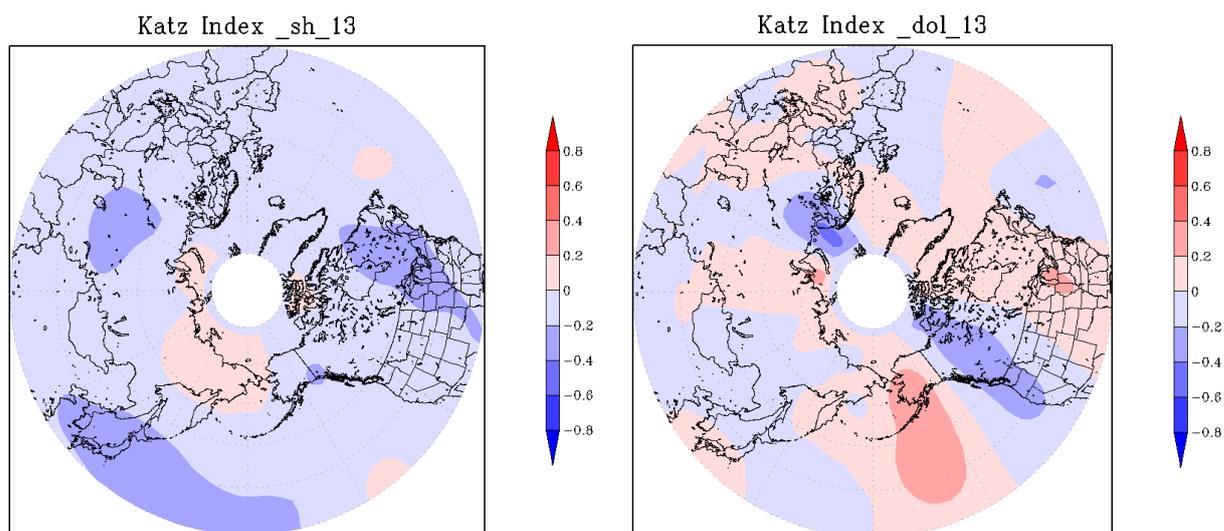


Рис.19. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

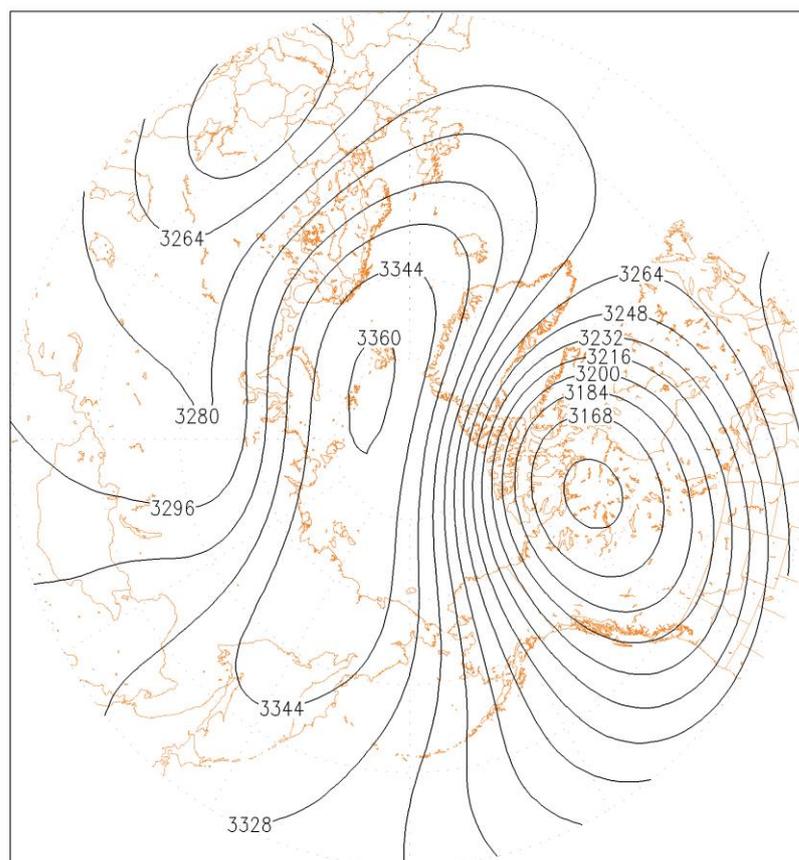


Рис.20. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

15 января.

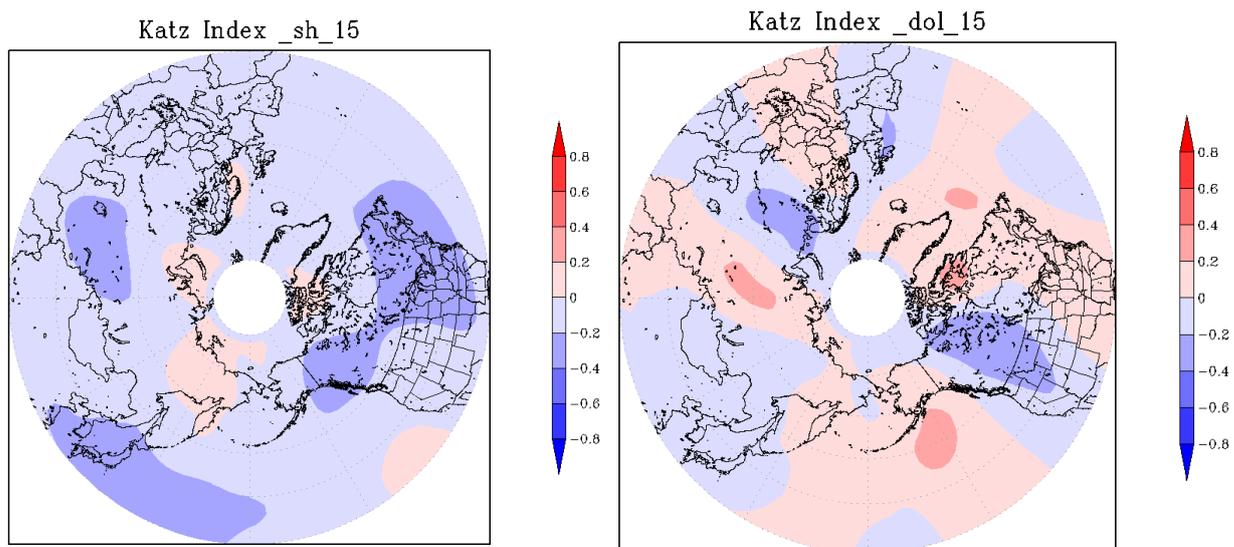


Рис.21. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

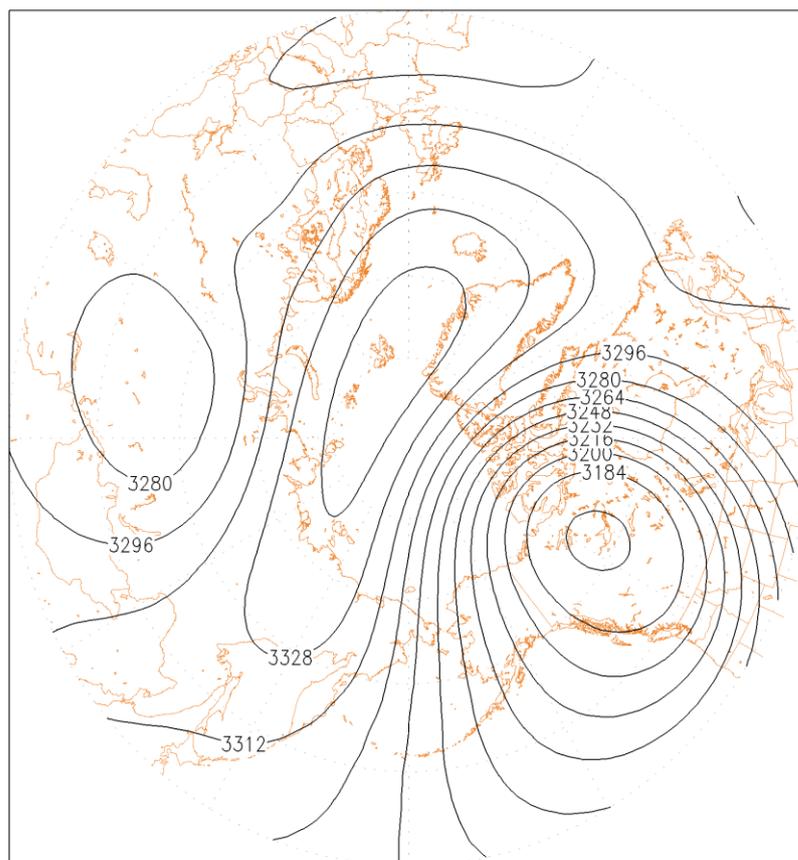


Рис.22. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

20 января.

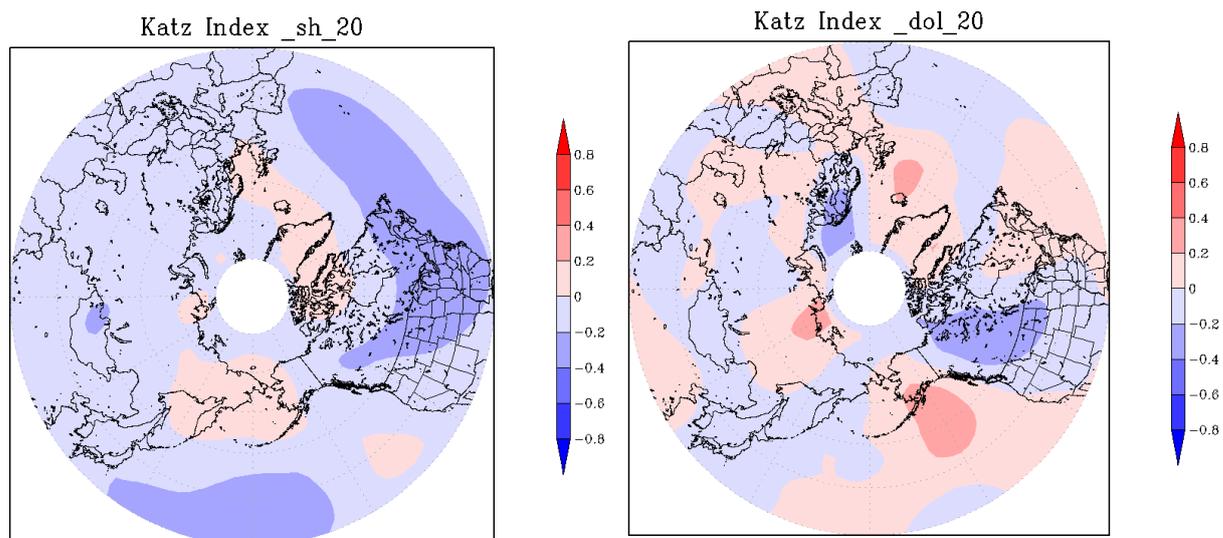


Рис.23. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

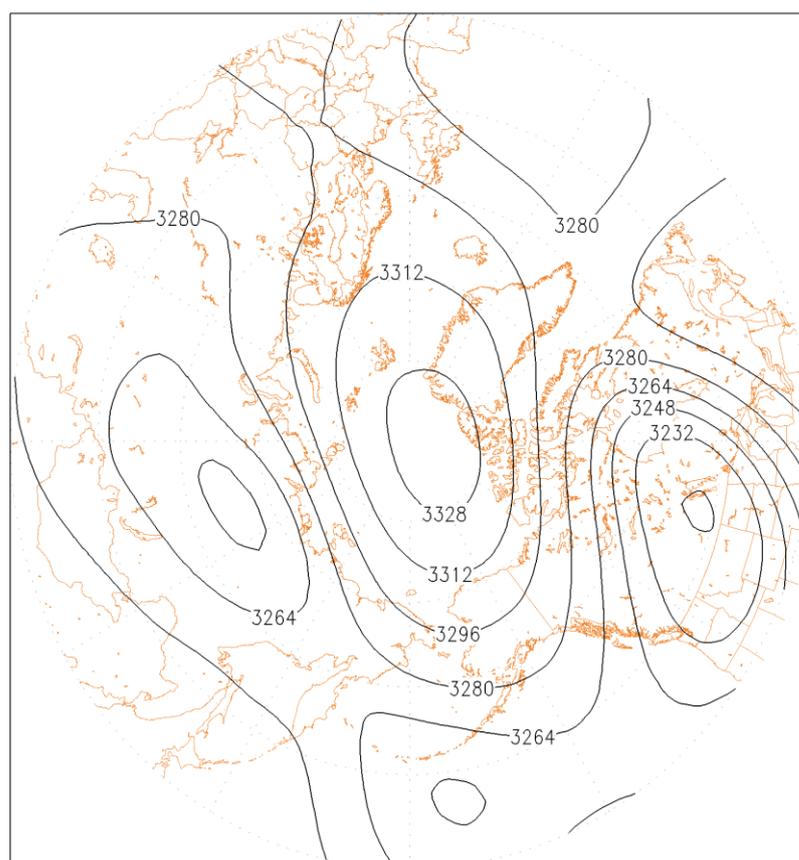


Рис.24. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

ВСП 2017 года.

Пик ВСП в 2017 году приходился на 3 декаду января.

Анализ эволюции стратосферного полярного вихря помог выявить деформацию его структуры в течение рассматриваемого периода. 20 января (рисунок 26) наблюдаем начальную стадию деформации стратосферного циклона, к 1 февраля (рисунок 32) потерпев растяжения он установился с центром над Скандинавией.

В начале третьей декады января существенных изменений за счет ВСП в тропосферной циркуляции не отмечалось. Однако к началу февраля проявилось влияние ВСП, что хорошо прослеживается на карте индексов Каца. Анализ долготного индекса выявило следующие явления:

Отрицательный индекс Каца наблюдается от Скандинавии до Новой Земли и северной частью Восточно-Европейской равнины, следовательно, здесь происходит усиление северных воздушных потоков. Усиление южных переносов происходит при положительном индексе Каца, он наблюдается над Великобританией.

Над Канадой зарегистрирован отрицательный индекс, усиление северных потоков, в то время как над Чукотским и Беренговым морем наблюдается положительный индекс Каца, преобладает южный перенос воздушных масс.

Анализ распределения широтного индекса показал, что амплитуда его колебания была минимальной, что свидетельствует о преобладании меридиональной составляющей переноса воздушных масс при ослаблении зональной циркуляции.

Примечательно, что над Скандинавией циркуляционные процессы были с большей интенсивностью, чем над Евразией.

Последующие рисунки после 1 февраля наглядно показывают восстановление стратосферного полярного вихря и нормализацию переноса воздушных масс. Влияние ВСП ослабевает.

20 января.

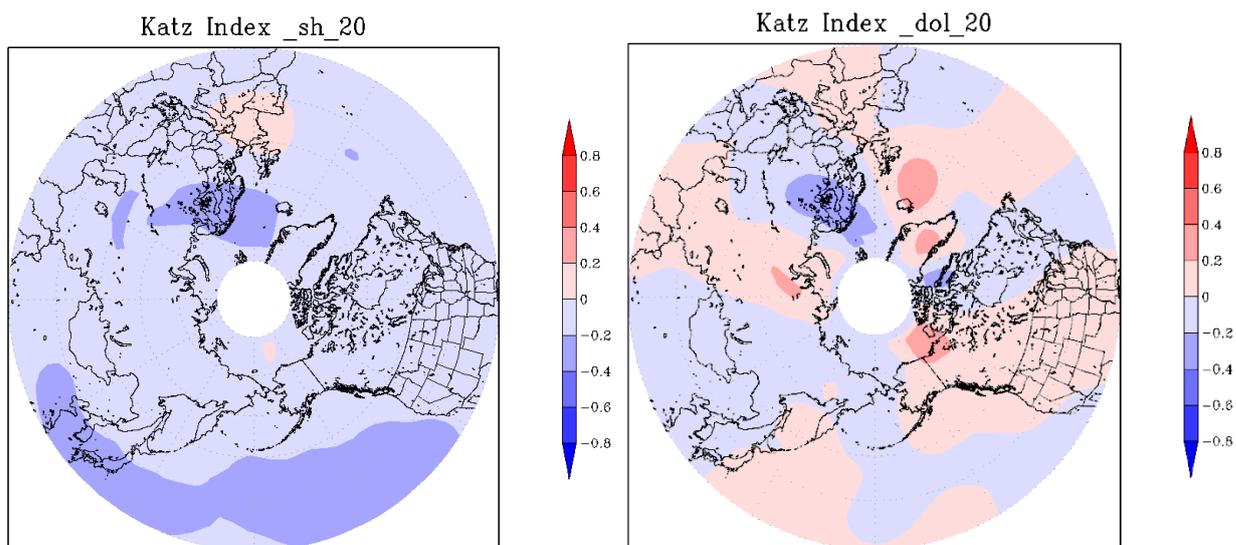


Рис.25. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

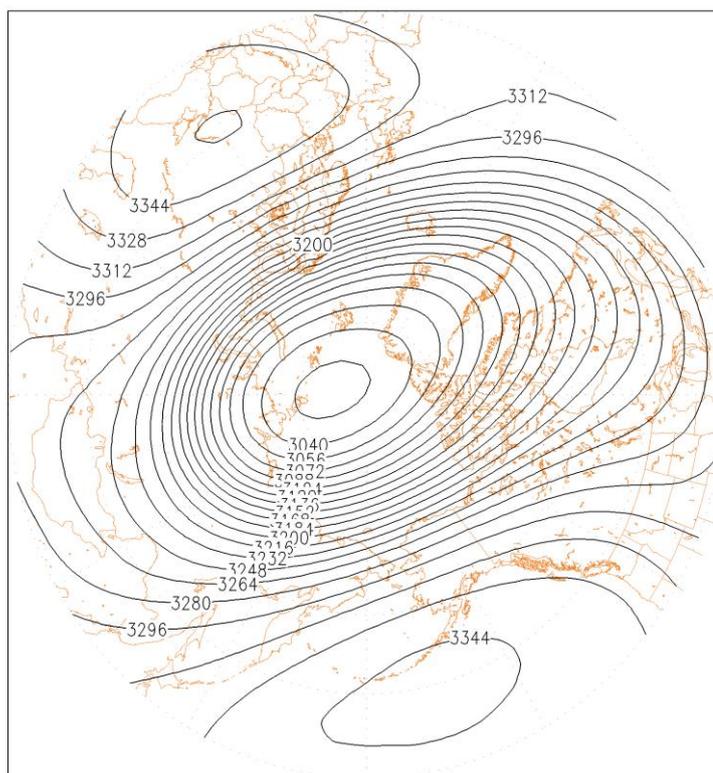


Рис.26. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

25 января.

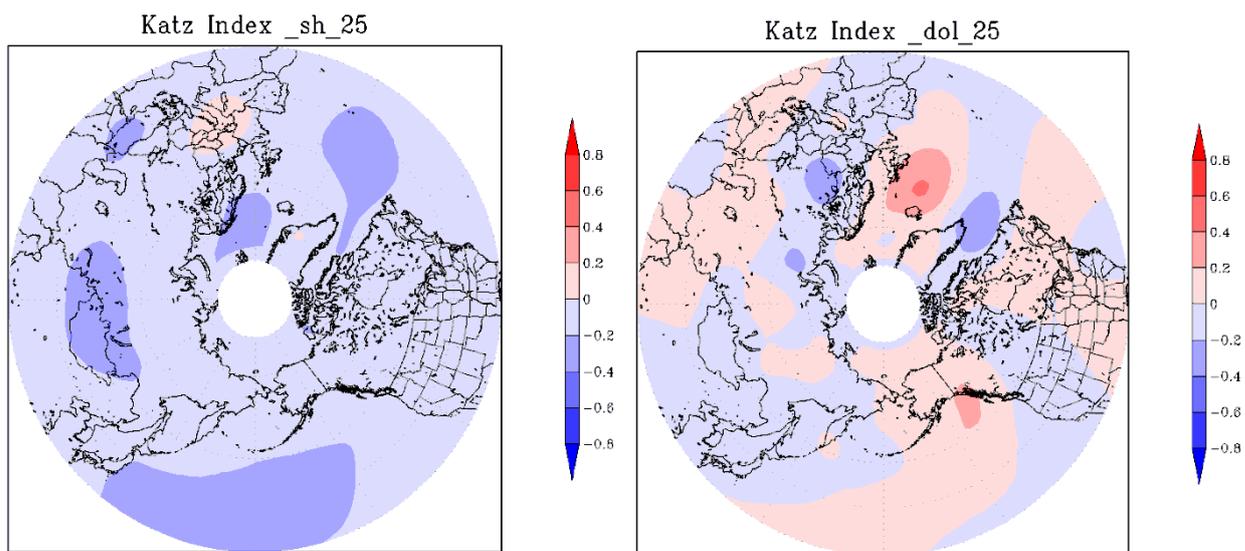


Рис.27. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

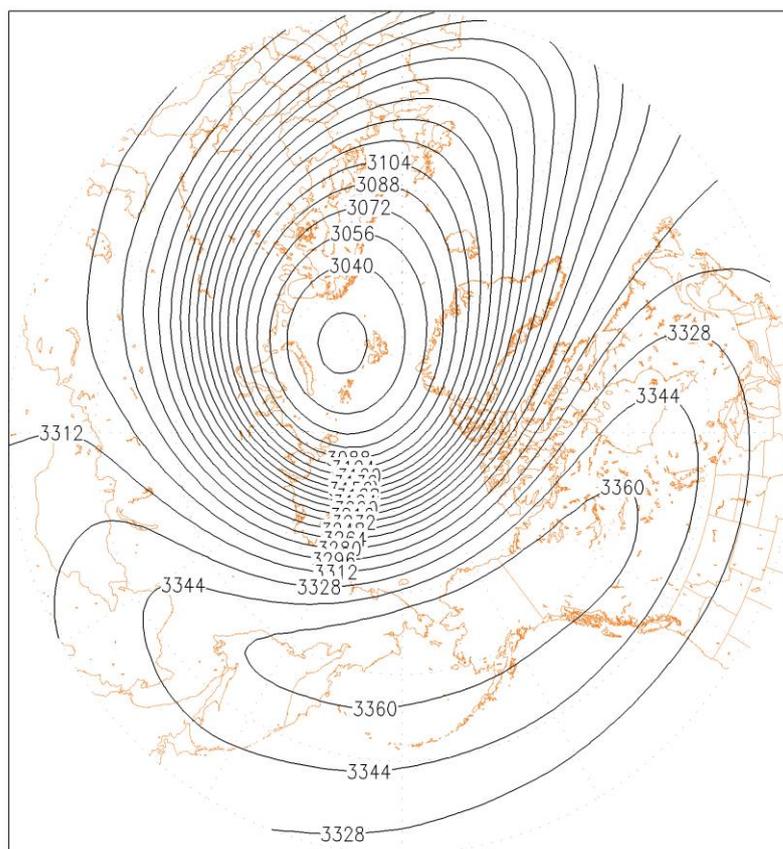


Рис.28. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

30 января.

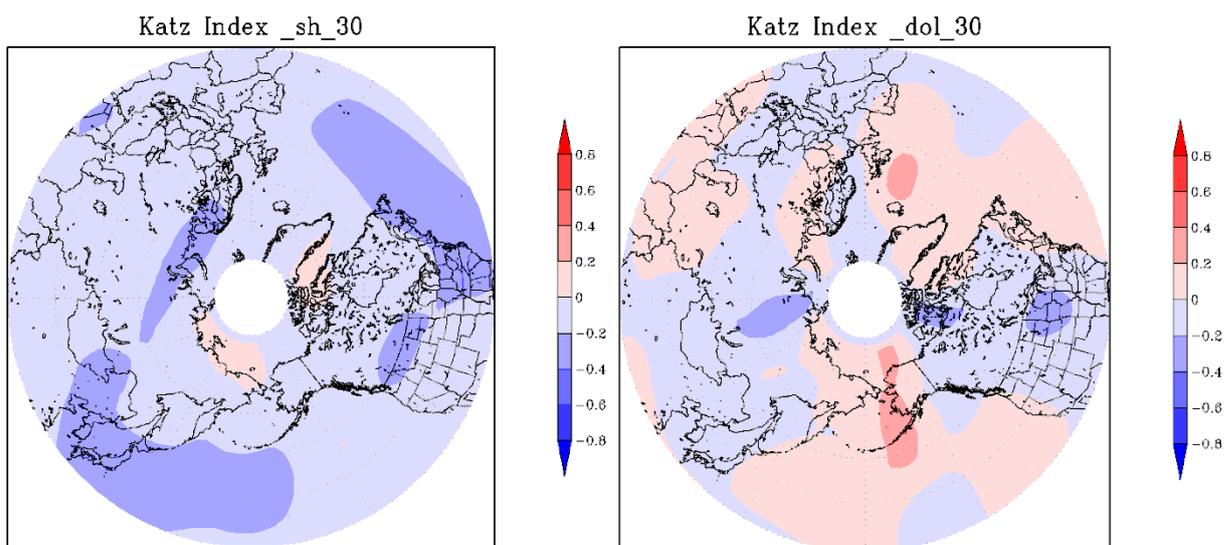


Рис.29. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

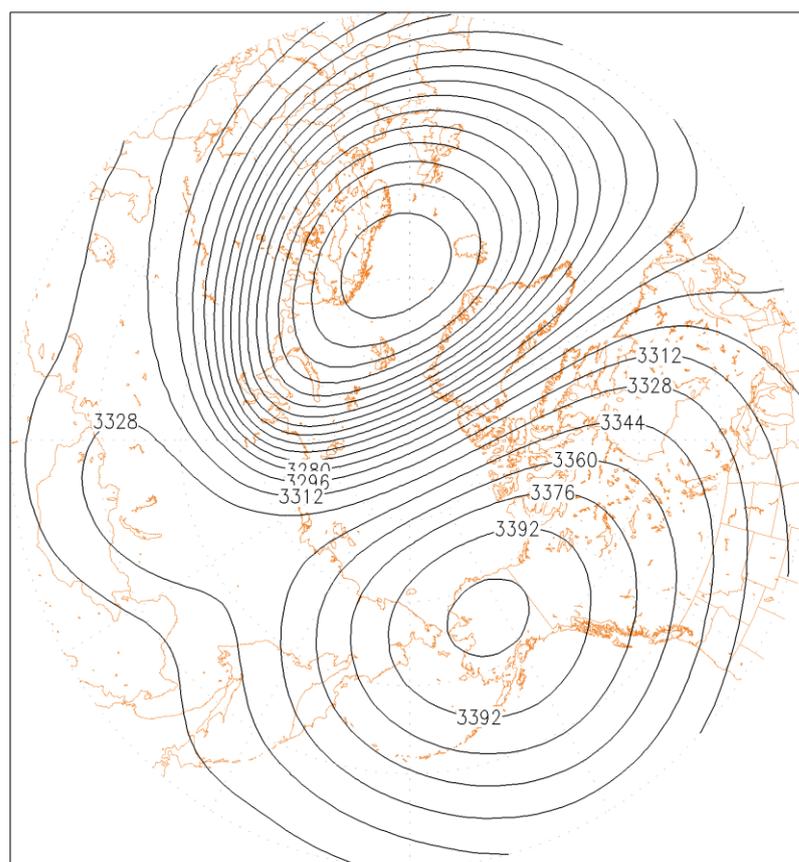


Рис.30. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

1 февраля.

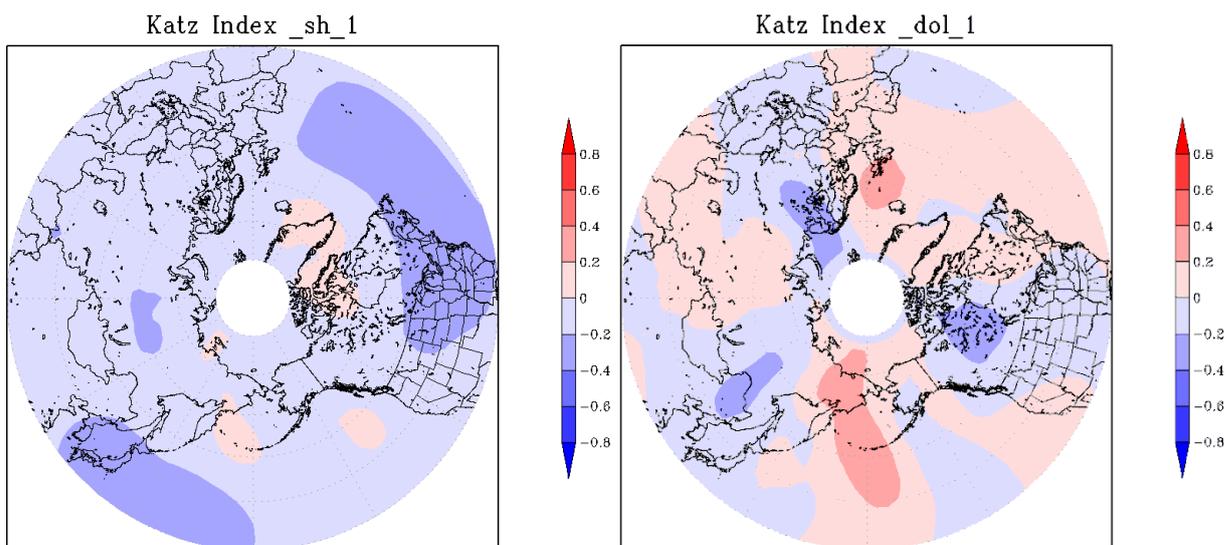


Рис.31. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

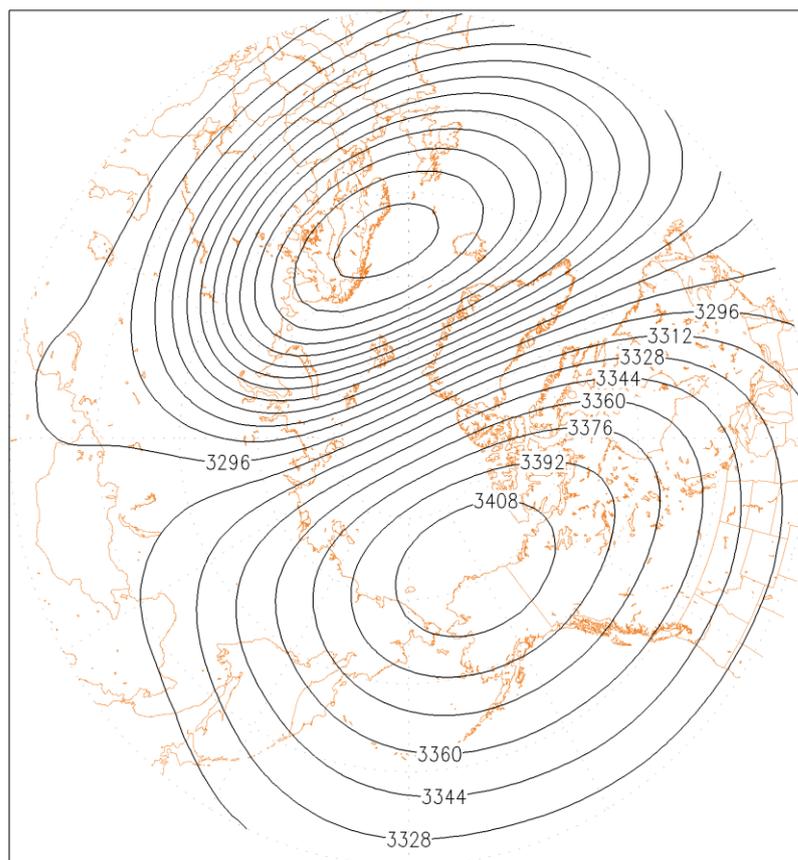


Рис.32. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

5 февраля.

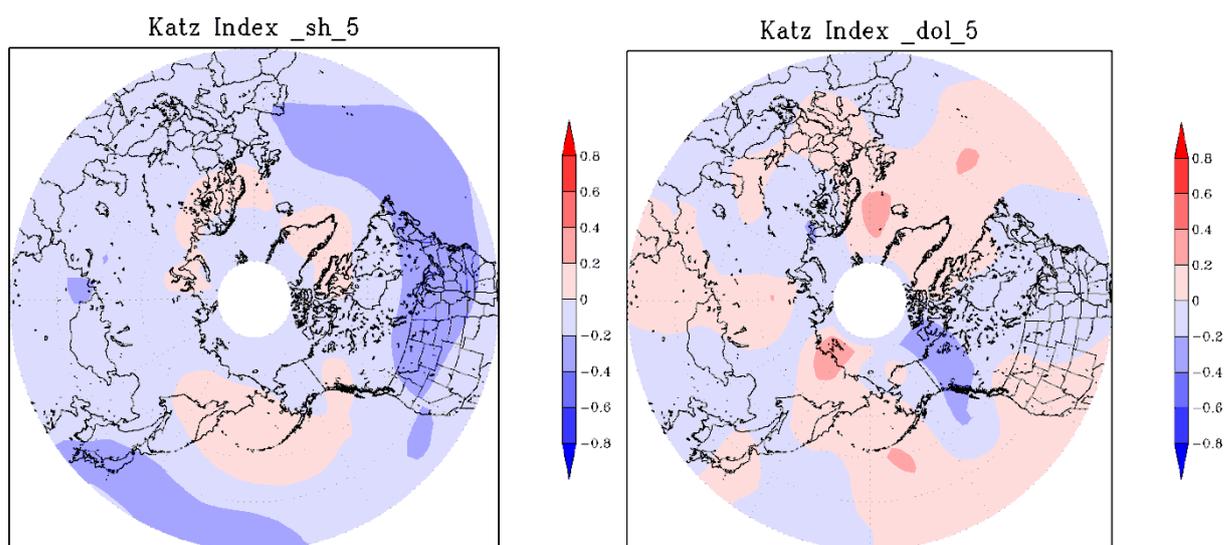


Рис.33. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

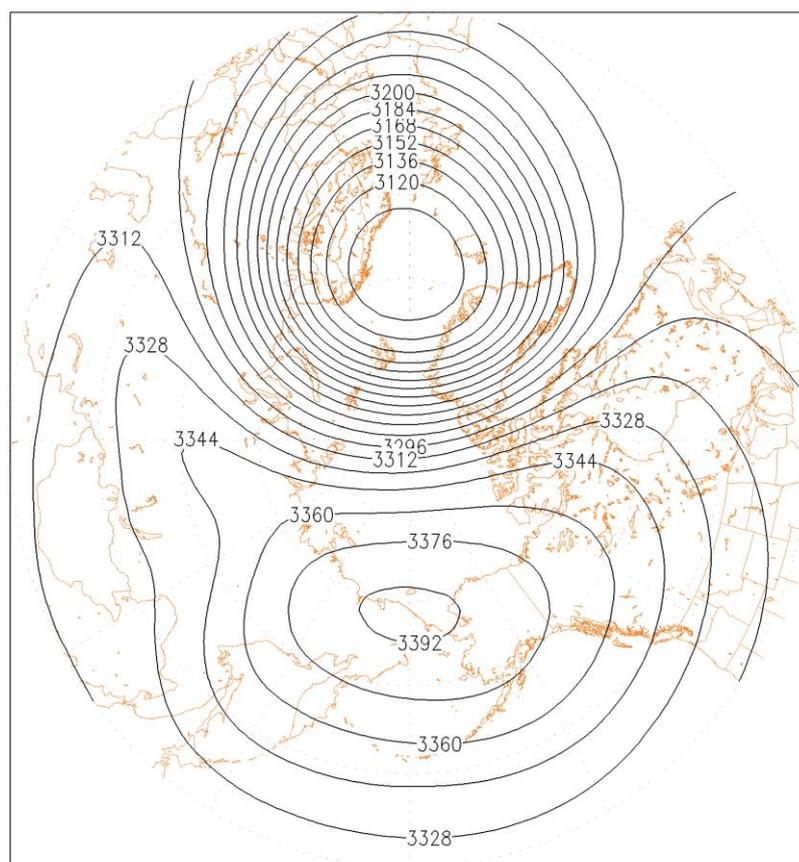


Рис.34. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

10 февраля.

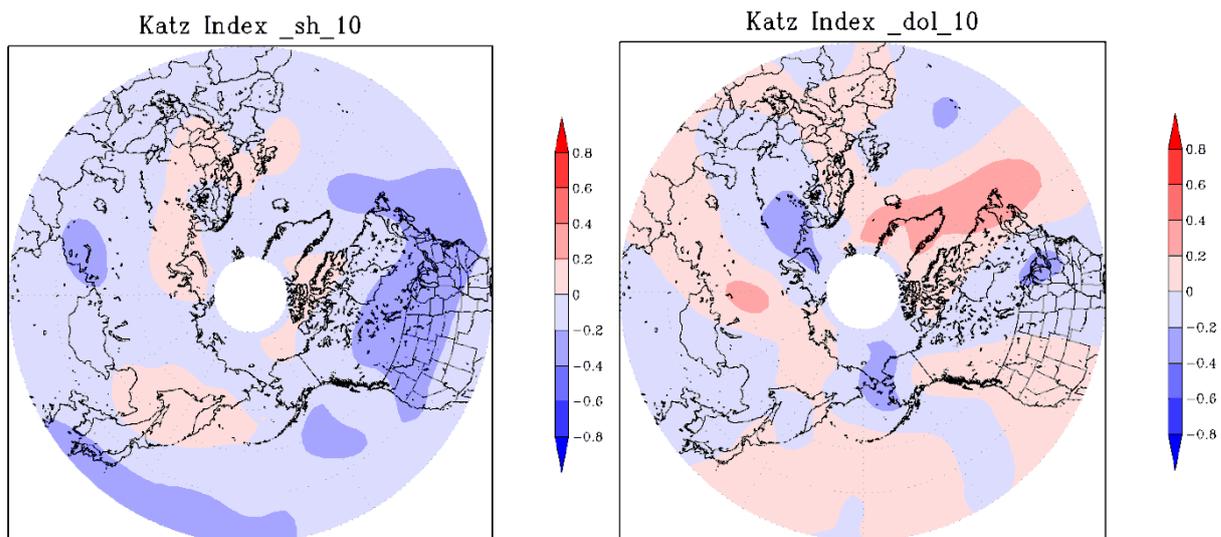


Рис.35. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

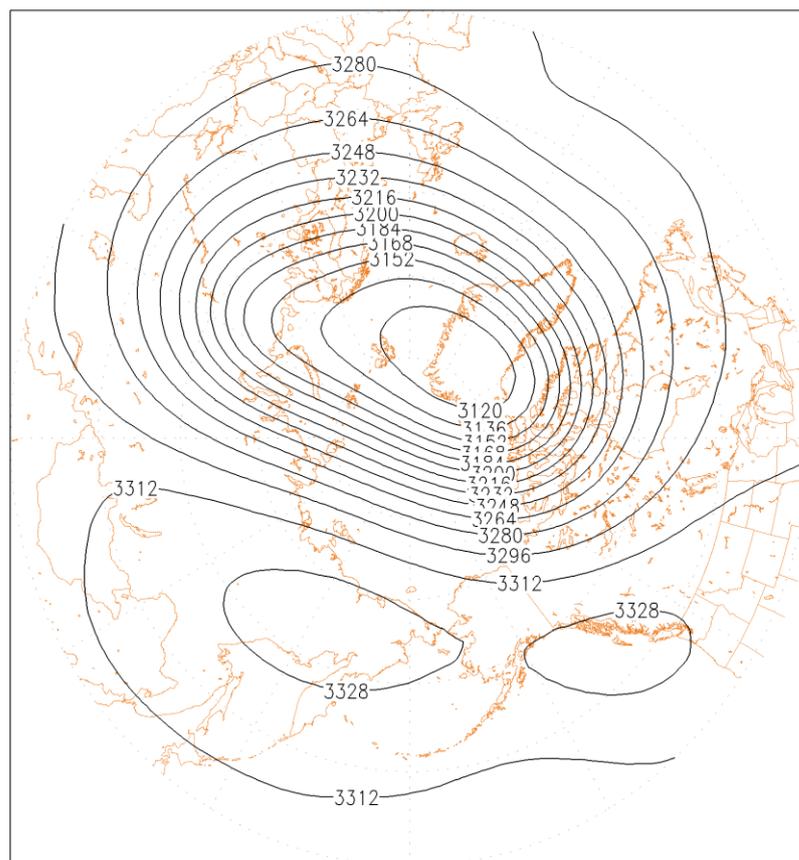


Рис.36. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

15 февраля.

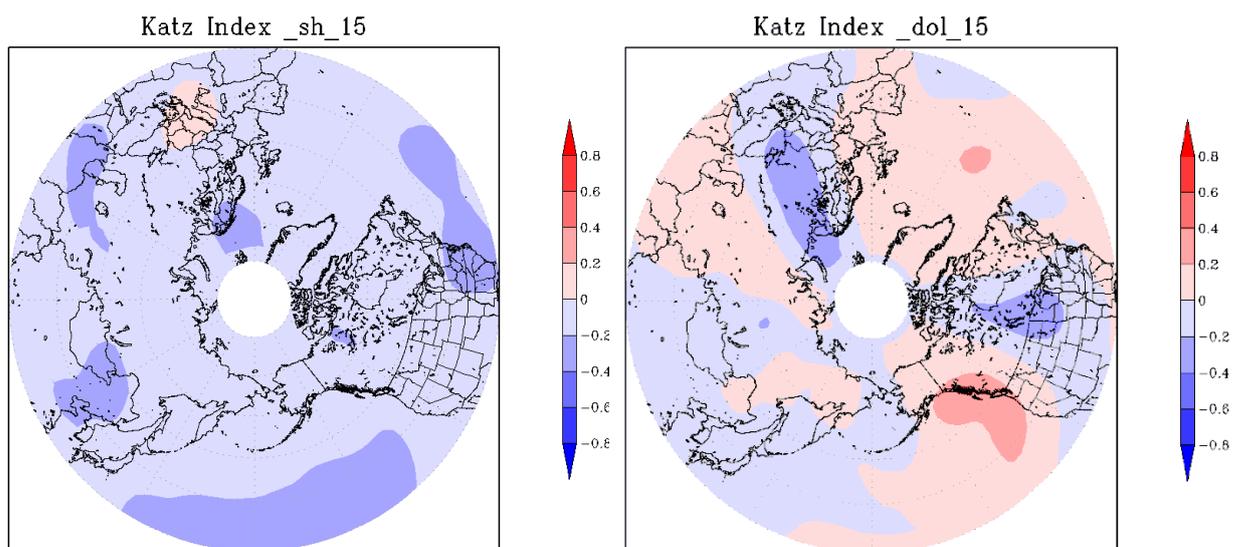


Рис.37. Широтный и долготный индекс Каца на уровне 500 гПа.

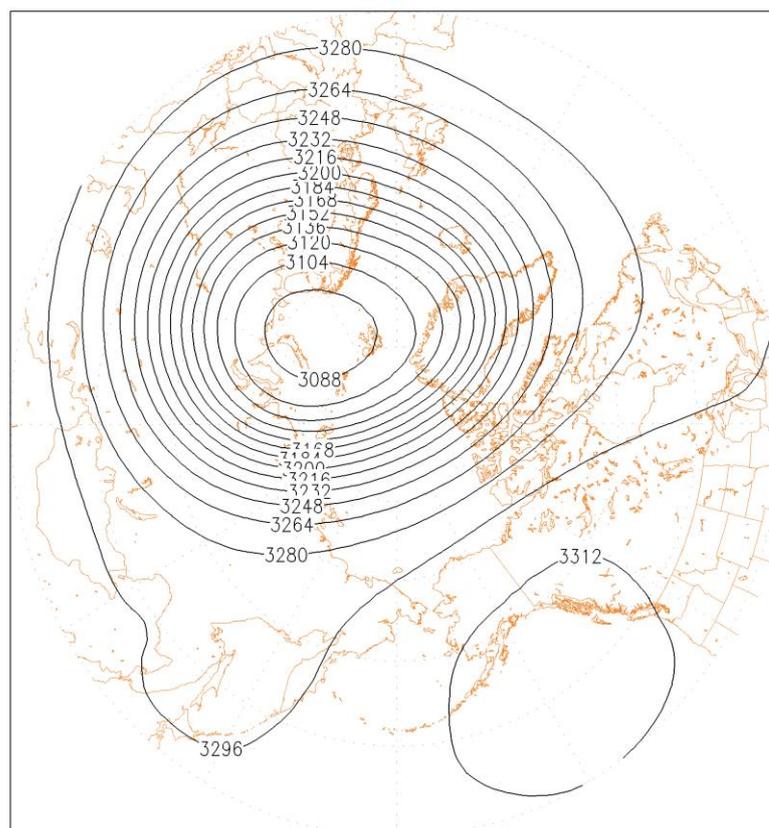


Рис.38. Карта геопотенциала на высоте 7 гПа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Проведенное исследование позволило установить ключевые закономерности влияния ВСП на циркуляцию в верхней и средней тропосфере. В работе были выявлены следующие закономерности:

1. Деформация стратосферного полярного вихря:

- Во всех случаях наблюдалось постепенное ослабление и раздвоение стратосферного полярного вихря с последующим формированием двух обособленных центров;
- Более глубокое положение стратосферного полярного вихря наблюдалось в двух случаях над Аляской.

2. Изменения циркуляции тропосферы:

- Усиление меридиональных воздушных потоков, способствующих адвекции холодных масс на юг и теплых на север;
- Снижение значений широтного индекса показало на ослабление зонального переноса;
- Происходила диссипация волн Россби.

Также стоит отметить, что исследование воздействия ВСП выявило характерный временной интервал между стратосферными возмущениями и изменениями циркуляционных процессов на уровне 500 гПа. Анализ показывает, что существенная перестройка тропосферной циркуляции проявляется в период от 10 до 20 дней после наступления центральной даты ВСП.

Несмотря на множество различных исследований ВСП многое остается неизученным, поэтому важно продолжать исследования в данной теме для

улучшения, так и методов долгосрочных прогнозов, так и для и климатического изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Основные закономерности общей циркуляции атмосферы: учебное пособие / А.И. Угрюмов, И.В. Лаврова. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2021. – 72 с.
2. Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы / Санкт-Петербург. 2006. 84 с.
3. Колебания общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы погоды / под ред. Ю. Б. Храброва. – Л.: Гидрометеороиздат. 1967. – 152-186 с.
4. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли/ Ленинград гидрометеоиздат. 1991. 294 с.
5. Существует ли связь между наблюдаемой холодной погодой и внезапным стратосферным потеплением?
<https://meteoinfo.ru/novosti/6492-15012013->
6. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ ПОЛУЧЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ АНАЛИЗА КЛИМАТА. <https://bryanskpogoda.ru/klimat-rossii>
7. Кац А.Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы погоды / А.Л. Кац: Гидрометеоиздат, 1960. 270 с.
8. Обзорная статья «Внезапное Стратосферное Потепление» Марк Болдуин, Бланка Айарзагуэна, Томас Бирнер.
9. Обзорная статья «Monitoring sudden stratospheric warmings under climate change since 1980 based on reanalysis data verified by radio occultation» Ying Li , Gottfried Kirchengast , Marc Schwaerz , and Yunbin Yuan.
10. Погосян Х. П. Общая циркуляция атмосферы / Ленинград. 1972. 394 с.
11. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. – 366 с.

12. П.Н. Варгин, Е.М. Володин, А.Ю. Карпечко, А.И. Погорельцев, О стратосферно-тропосферных взаимодействиях, Вестник Российской Академии наук, 2015, том 85, № 1, с. 39–46/
13. Обзорная статья «Циркуляционные условия внезапных стратосферных потеплений в Северном полушарии в XXI веке» И.В. Латышева, К.А. Лощенко, Е.В. Шахаева.