



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Информативность индекса А.Л. Каца для анализа общей циркуляции
атмосферы»

Исполнитель Полякова Анастасия Александровна

(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)

« 07 » июня 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Введение.....	4
1. Физико-географическое и климатическое описание территории России. 7	
1.1 Физико-географическая характеристика территории России	7
1.2 Климат	8
2. Общие сведения о циркуляции атмосферы.....	11
2.1 Параметры общей циркуляции атмосферы.....	12
2.2 Центры действия атмосферы	18
2.3 Внутритропическая зона конвергенции и пассаты.....	19
2.4 Муссоны.....	20
2.5 Квазигеострофичность течений общей циркуляции	22
2.6 Местные ветры	23
3. Характеристика и особенности типизаций основных факторов ОЦА	26
3.1 Типизация процессов атмосферной циркуляции Б.П. Мультановского	27
3.2 Классификация атмосферных макропроцессов Г.Я. Вангенгейма-А.А. Гирса	31
3.3 Характеристики меридиональной и зональной форм циркуляции А.Л. Каца.....	41
3.4 Типизация процессов атмосферной циркуляции над Северным полушарием Б.Л. Дзердзеевского.....	43
4. Индексы атмосферной циркуляции	46
4.1 Индекс атмосферной циркуляции К.Г. Россби	46
4.2 Индекс циркуляции атмосферы Е.Н. Блиновой.....	51
4.3 Индекс интенсивности циркуляции атмосферы Л.А. Вительса	52
4.4 Индексы интенсивности циркуляции атмосферы Н.А. Белинского.....	53
4.5 Индексы меридиональной, общей и зональной циркуляции атмосферы А.Л. Каца	54
5. Методика расчёта информативности индекса циркуляции А.Л. Каца....	57
Заключение	89

Список литературы	90
-------------------------	----

Введение

Закономерности общей циркуляции атмосферы имеют тесную связь с долгосрочными прогнозами погоды. Кроме того, циркуляция – это фундамент знаний об атмосфере, анализе климата и т.п. В методах долгосрочного прогнозирования наряду с ансамблевым даже сейчас широко применяется синоптический метод, основу которого как раз и составляют знания о макроциркуляционных процессах. Причем интересно, что какого-то существенного преимущества в оправдываемости гидродинамика перед синоптическим методом не имеет. Сегодня в распоряжении ученых есть большой запас знаний о высоких слоях атмосферы, что стало возможным благодаря спутниковым наблюдениям и радиозондированию. Все это существенно расширило и углубило понимание о многих спецификах общей циркуляции атмосферы, а также улучшило результаты моделирования верхней атмосферы. Данные результаты, в определённой мере, оказали положительное влияние на эволюцию метода долгосрочных прогнозов погоды, однако, до сих пор достижения на поприще долгосрочных прогнозов существенно менее ощутимы, чем в исследовании общей циркуляции атмосферы [1].

По мнению А.С. Моница общая циркуляция атмосферы представляет собой статистический набор крупномасштабных полей, описывающих состояние атмосферы с пространственной неоднородностью, которые имеют в своём положении масштабы много больше эффективной толщины атмосферы.

Глобальная циркуляция атмосферы, как считает Х.П. Погосян – это объединение базовых видов движения, за счёт которых происходит обмен больших масс воздуха в вертикальном и горизонтальном направлениях в тропосфере, мезосфере, стратосфере, которые также играют значительную роль в образовании погоды и климата планеты.

Именно поэтому глобальную циркуляцию атмосферы можно рассматривать как с позиции синоптической метеорологии, так и с точки зрения статистической гидромеханики.

На базе динамической метеорологии и гидродинамики развивалась теория общей циркуляции атмосферы, как только накапливались аэрологические данные, изучение циркуляционных процессов началось в трёхмерном пространстве [2].

Для прогноза погоды и познания физических основ движения воздушных масс имеет большое значение изучение периодичности атмосферной циркуляции. Значениями индексов циркуляции характеризуется количественная циркуляция атмосферы.

Согласно последним исследованиям, климат на Земле меняется и претерпевает значительные изменения. Однако, консолидированного мнения учёных о причинах изменения до сих пор нет. Одной из очевидных причин изменения температуры может быть изменение циркуляции атмосферы. Поэтому тема исследования приобретает несомненную *актуальность*.

Целесообразным будет исследовать изменчивости общей циркуляции атмосферы посредством использования индекса циркуляции А.Л. Каца. Это позволит проанализировать изменение циркуляции атмосферы для территории Российской Федерации, а именно для территории $45^{\circ}\text{с.ш.} - 75^{\circ}\text{с.ш.}$ и $0^{\circ}\text{в.д.} - 180^{\circ}\text{в.д.}$ Данное исследование на примере выбранной территории позволит изучить вопрос изменения перестройки циркуляционных механизмов, если таковые имеют место.

Объектом исследования является циркуляция над территорией России, а именно территории, которая имеет координаты: $45^{\circ}\text{с.ш.} - 75^{\circ}\text{с.ш.}$ и $0^{\circ}\text{в.д.} - 180^{\circ}\text{в.д.}$

Целью исследования является анализ влияния изменчивости общей циркуляции атмосферы на изменчивость температуры в российской Арктике.

Для того, чтобы достичь поставленной цели, необходимо установить следующие задачи:

- изучить интенсивность температуры в российской Арктике;
- проанализировать возможность использования индекса циркуляции Каца для выявления изменчивости в циркуляции атмосферы;
- разработать методику расчёта индекса Каца;
- составить собственный архив значений меридионального и зонального индексов Каца для трёх периодов 1991-2001, 2002-2011 и 2012-2021 года. Все эти индексы были составлены для изобарической поверхности 500 гПа в каждом узле сетки;
- проанализировать изменчивость атмосферной циркуляции в исследуемом районе;
- проанализировать влияние изменения циркуляции на изменчивость температуры в российской Арктике.

Рельеф и геологическая структура территории России делится на две базовые части: западную и восточную, граница проходит примерно по Енисею. Восточная часть преимущественно горная, в западной части преобладают равнины, с возвышенностями и невысокими холмами. Выделяют шесть основных территориальных частей России:

- Восточно-Европейскую равнину;
- Западно-Сибирскую равнину;
- Уральские горы;
- Фенноскандию;
- Горы юга и востока России;
- Среднесибирское плоскогорье.

1.2 Климат

Территория России имеет четыре климатических пояса:

- субтропический
- умеренный
- субарктический
- арктический

Наибольшая часть России располагается в умеренной зоне, в субтропической зоне – Южный берег Крыма и побережье Кавказа. Северная материковая окраина территории России, моря Северного Ледовитого океана и арктические острова относятся к субарктическому и арктическому поясам. Полярный, арктический и тропический воздух формируют климат.

Почти повсюду в стране континентальный климат. По мере ослабления влияния Атлантического океана в направлении с запада на восток возрастает степень континентальности. В течение всего года преобладающей воздушной массой является континентальный воздух в умеренных широтах, который

формируется на большей части России. Арктические воздушные массы господствуют постоянно в арктическом поясе. Арктический воздух преобладает летом в субарктическом поясе, а зимой – воздух умеренных широт. Широтный перенос воздушных масс преобладает на большей территории – с запада на восток, летом с северной составляющей, а зимой – с южной. Основные осадки приносят циклоны. Снежные покровы и маленькие суммы солнечной радиации способствуют образованию охлаждённого континентального воздуха в зимнее время на основной территории. Основное выхолаживание происходит в Восточной Сибири, где летом благодаря продолжительному солнечному сиянию и незначительной облачности летом воздух прогревается значительно. Зимой устанавливается Азиатский антициклон или Сибирский антициклон с сухой и ясной погодой, появляется обширная область с высоким атмосферным давлением.

В Восточной Сибири климат резко континентальный. В степной зоне на Европейской территории сильно прогревается воздух – летом. Именно в этой области, имея благоприятные условия, трансформируется воздух в сухой субтропический, это связано с пыльными бурями и частыми суховеями.

В течение всего года Европейская часть России испытывает действие Атлантического океана. За год температура воздуха не превышает 30 – 35°C, поэтому климат умеренно континентальный. Зимой морской воздух, который частично трансформировался летом в континентальный, движется на восток, так как там отсутствует устойчивость снежного покрова и большая облачность. Температуры воздуха за год увеличиваются при продвижении на восток: в Восточной Сибири – до 65°C, в основном в Северном полушарии, также уменьшается количество осадков; В Западной Сибири – до 40 – 45°C. Годовые показатели температуры уменьшаются на побережье Охотского моря – до 30 – 35°C, на территории Владивостока – до 28 – 30°C, также происходит увеличение количества осадков. Под влиянием муссонной циркуляции происходит формирование климата Дальнего Востока. С юга и юго-востока происходит перенос влажного морского воздуха Тихого океана – Летний

муссон. Формирование сухой холодной погоды происходит с севера и северо-запада – Зимний муссон. В Западной Сибири и в восточной области Европейской части России часто происходят вторжения холодных арктических воздушных масс, которые проникают в глубь юга. В зимний период это связано со значительным понижением температуры. А вот в период ранней осени и поздней весны происходят заморозки, за счёт вторжений. Летом происходит трансформация арктического воздуха, за счёт высыхания и быстрого прогрева, в континентальный воздух умеренных широт.

Зимой повышенное атмосферное давление распространяется практически на всю территорию страны. На Камчатке и на северо-западе Европейской территории образуется пониженное давление, так как велика вероятность прохождения циклонов. В данный период года занимают главенствующую роль юго-западные и западные ветры, в основном по всей Европейской территории. Юго-западные и южные ветры преобладают в Западной Сибири, слабые северо-восточные – в Восточной Сибири.

Летом пониженное атмосферное давление находится над Западной Сибирью и над Европейской территорией, где преобладают северо-западные ветры, северо-восточные и северные – в Восточной Сибири. Ветры муссонного характера резко выражены на Камчатке и Сахалине, в Приамурье, на побережьях Охотского и Японского морей. Переходные сезоны во внутренних районах имеют максимально сильные ветры, зимой – на побережьях; лето – слабее. Скорость ветра убывает по мере удаления от берега [3].

2. Общие сведения о циркуляции атмосферы

К меридиональному и широтному переносу энергии атмосферы и вещества приводят замкнутые течения воздушных масс в масштабе земного шара и полушария [4]. Главным климатообразующим фактором, представляющим собой составную часть климатической системы, является взаимодействие океан – атмосфера [2]. Также циркуляция во многом обусловлена распределением барического градиента и неоднородным распределением атмосферного давления и температуры [5]. Таким образом, ОЦА – результат взаимодействия многих факторов [6].

В атмосфере часто зарождаются крупномасштабные вихри и волны, которые по-разному перемещаются и развиваются, от этого зависит эволюция циркуляции атмосферы. Одной из самых видимых черт циркуляции атмосферы является атмосферные возмущения – антициклоны и циклоны. Однако, можно заметить, что устойчивые особенности циркуляции атмосферы повторяются, например, из сезона в сезон или года в год, то есть цикличны в течение определённых промежутков времени. Именно осреднение помогает выявить вышеперечисленные особенности. При осреднении более или менее сглаживаются межсезонные и межгодовые возмущения циркуляции атмосферы [4].

Ко всему прочему выделяют всевозможные качественные определения общей циркуляции атмосферы:

- 1) состояние атмосферы, осреднённое по времени, в котором сохранены локально географические особенности;
- 2) набор квазипостоянных синоптических колебаний;
- 3) погодообразующее воздействие климатических колебаний в конкретный момент времени, влияющее на общее состояние атмосферы;
- 4) совокупность статических характеристик [2].

2.1 Параметры общей циркуляции атмосферы

Глобальная циркуляция атмосферы понимается как система крупномасштабных воздушных течений.

Квазигеографичность движений, то есть относительное ускорение значительно меньше ускорения Кориолиса, является главным свойством макропроцессов. Разделение крупномасштабных процессов на:

- 1) процессы синоптического характера, а именно волны Россби-Блиновой;
- 2) баротропные с характерными размерами порядка масштаба Обухова

$$L_0 = (gH)^{1/2} / f ; \quad (2.1)$$

- 3) деформация Россби с размерами порядка, то есть бароклинные

$$L = NH / f , \quad (2.2)$$

где N – частота Брента-Вайсяля,

f – параметр Кориолиса;

- 4) муссонные и зональные общие циркуляции.

Существует количественное и качественное изучение общей циркуляции. Строгое решение систем физически доказанных уравнений является основой проведения количественных исследований. Обнаруженные особенности наблюдаемой циркуляции дают объяснение изучения качественных причин. Для выражения основных законов сохранения энергии и массы, момента импульса используют физические величины, чтобы произвести количественный анализ циркуляции атмосферы. Данные величины используются в различных комбинациях и содержатся в уравнениях гидродинамики: давление, влажность, температура, ветер.

Для анализа общей циркуляции атмосферы Лоренцом были сформулированы основные правила отбора статистических характеристик. В координатах широты, долготы, времени и высоты описано состояние атмосферы как многокомпонентного процесса. Начиная с зонально осреднённых величин по порядку независимых переменных располагаются основные свойства, которые характерны для процессов глобальной атмосферной циркуляции. В первой группе: при осреднении по долготе и времени наиболее полно отражаются свойства, дающие представление западного переноса и пассатов, то есть о зональных циркуляциях. Свойства, которые сохраняются только по времени при осреднении, содержатся во второй группе. Благодаря этому можно выделить Алеутский и Исландский минимумы зимой. В третью группу входит информация о явлениях, которые осреднены только по долготе: восточные ветры в полярных областях, квазидвухлетняя цикличность ветра в тропиках, колебание индекса зональности. В четвёртой группе осреднения не производятся, а выделяют лишь синоптические масштабы, благодаря этому становится возможным проанализировать некоторые синоптические аномалии, например, главные фронты, мигрирующие вихри, внутритропическая зона конвергенции (ВЗК), струйные течения и тропопауза.

Использование момента количества энергии и движения, а также балансовых соотношений для влажности является основным путём анализа особенностей общей циркуляции атмосферы. Необходимо выяснить рабочие механизмы переносов энергии, преобразования различных видов энергии и эволюцию циркуляционных форм на основании данных о притоке тепла в атмосферу и о свойствах основных сред системы. Выявленные индивидуальные синоптические положения – циркуляционные формы, следует сгруппировать по наиболее типичным и существенным чертам.

К малым незональным возмущениям, развивающимся в синоптических вихрях, менее устойчива зональная циркуляция. Это установил Бьеркнес.

Перенос в широтные зоны с западными ветрами (струйными течениями) момента импульса производится синоптическими вихрями статистически или в сумме, питая осреднённую зональную циркуляцию кинетической энергией. Таким образом образуются синоптические вихри.

Картина пространственно-временных масштабов атмосферных явлений была составлена Фортагом и улучшена Оямой. Существует пять основных элементов в упрощённой схеме Аракавы с характерными пространственно-временными масштабами:

- 1) кучевая облачность, образующаяся при конвективных движениях (10^4 м, 10^3 с);
- 2) облачные конвективные явления Бенара (10^3 м, 10^2 с);
- 3) масштаб циклонов волн Россби (10^6 м, 10^5 с);
- 4) мезомасштабные движения (10^5 м, 10^4 с);
- 5) ультрадлинные волны (10^7 м, 10^6 с).

Конкретизировать классификацию земной атмосферы крупномасштабных процессов можно, используя особенности разных видов неустойчивости, понятия энергетических переносов и земной поверхности. Существует разделение квазигоризонтальных атмосферных движений на три класса:

1) Неустойчивые и длинные движущиеся волны с волновыми числами $n = 5 - 10$, на широте 45° с длинами волн 5500 – 2800 км. Максимальную скорость роста возмущений характеризуют волны $n = 6, 7, 8$. Под влиянием бароклиной неустойчивости циркуляционного потока возникают данные волны, которые ответственны за основные бароклинные процессы в атмосфере.

2) На широте 45° длина волны равна 3300 – 7000 км, волновые числа $n = 1 - 4$, квазистационарные планетарные волны. Максимальное количество потенциальной и кинетической энергии переносят наиболее устойчивые волны $n = 2, 3$. Под влиянием географического распределения океанов и материков образуются волны с $n = 2$, под влиянием стоков энергии и источников, рождённые за счёт

поступления атмосферного тепла и трением, то есть влияние неадиабатических процессов и орографии.

3) На широте 45° длины волн меньше 2800 км, быстро движущиеся волновые возмущения умеренных широт с волновыми числами $n > 10$. Вышеописанные неустойчивые и короткие волны представляют собой антициклоны и циклоны.

В общую циркуляцию атмосферы входит ряд крупномасштабных движений: в тропосфере и стратосфере – западный перенос масс воздуха, в системе внетропических антициклонов и циклонов – циркуляция воздуха, которая оказывает большое влияние на межширотный воздухообмен; связанную с системой антициклонов и циклонов, муссонную циркуляцию.

Параметрами ОЦА являются:

- индексы меридиональной и зональной циркуляции А.Л. Каца;
- индексы Североатлантического и Южного колебаний;
- момент импульса зональных ветров атмосферы;
- положение климатических фронтов; параметры планетарной высотной фронтальной зоны;
- параметры центров действия атмосферы, а именно – давление в центре и координаты;
- геопотенциал и давление в их центре, число дней с блокирующим антициклоном, координаты;
- повторяемость центров действия атмосферы.

Далее на рисунках 2.1 – 2.3 изображены структурные объекты атмосферной циркуляции, которые наиболее важны в пространственном распределении. Ими являются ячейки Ферреля, Хэдли и в меридиональном разрезе полярная ячейка; струйные течения; полярный вихрь; приповерхностные ветры.

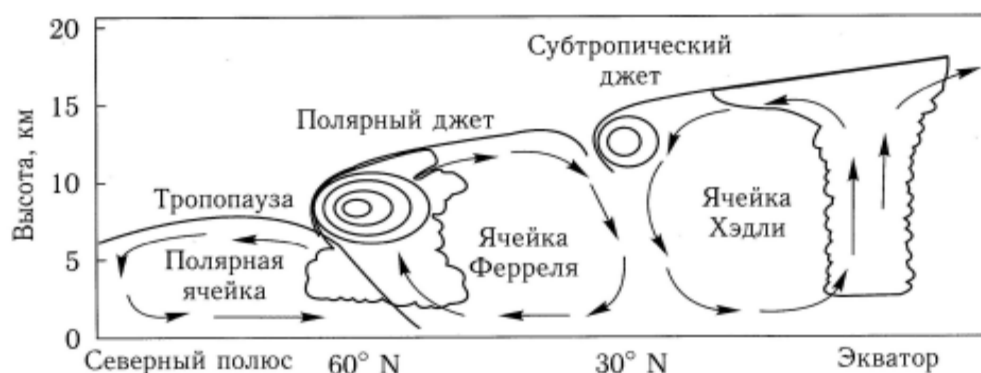


Рисунок 2.1 – Расположение в меридиональной циркуляции струйных течений

В период зимней полярной ночи в средней и нижней стратосфере возникает сильный циркумполярный вихрь (поток воздуха) – Полярный вихрь (ПВ). Зимой воздух внутри вихря сильно охлаждается из-за боковой изоляции. Полярный вихрь не так чётко выражен в Арктическом регионе.

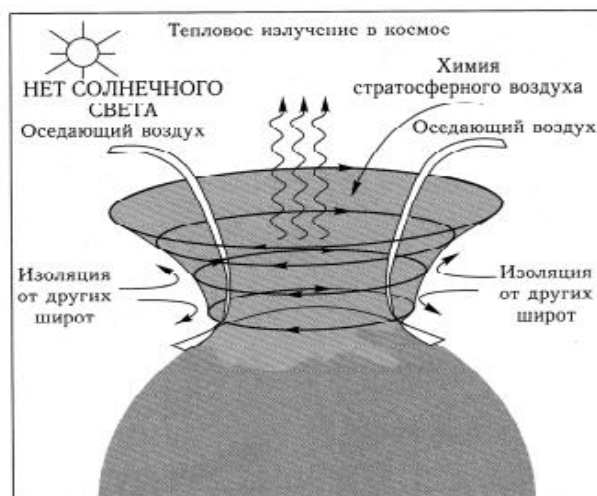


Рисунок 2.2 – Представление полярного вихря схематически

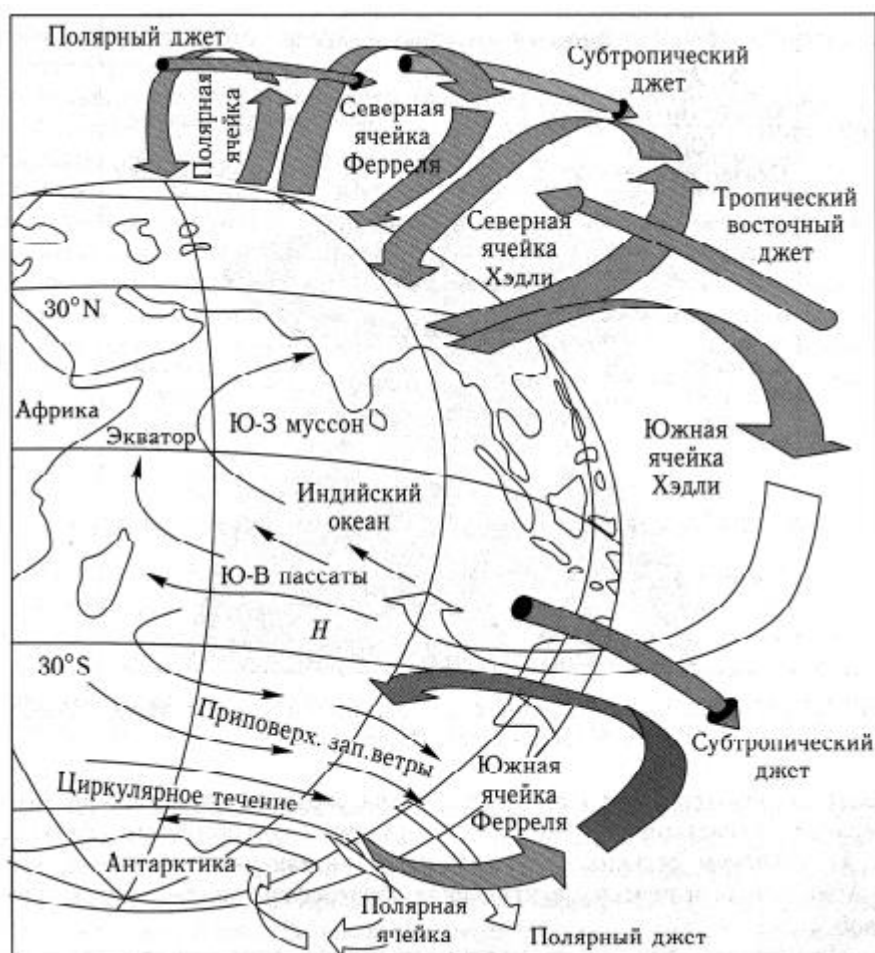


Рисунок 2.3 – Схема, объясняющая струйные течения (толстые объёмные стрелки), структуру меридиональной циркуляции воздуха (толстые плоские серые стрелки), приповерхностные ветры (тонкие стрелки) в Северном полушарии в летний период

Циркуляция в тропиках не является стационарной, так как подвержена сильным изменениям с различными временными масштабами. Образование тропических циклонов происходит в широтной зоне от 5° до 25° , где температура поверхности моря высока (более 26°). Когда развивается интенсивная конвекция, то увеличивается вероятность образования ураганов, особенно в летних условиях. Существуют «восточные волны», которые со скоростями около 8 м/с распространяются на восток и бывают часто связаны с внутритропическими зонами конвергенции (ВЗК). В свою очередь,

внутритропические зоны конвергенции – узкие участки конвергенции, которые соответствуют зонально ориентированным линиям активной конвергенции. На спутниковых снимках определяются как линии мощных облаков в окрестности экватора. Их распределение происходит по широтам с максимальной температурой поверхности моря, а также осуществляют сезонную миграцию вместе с максимумом температуры [2].

2.2 Центры действия атмосферы

Один из механизмов действия климатической системы, стремящейся смягчить контрасты температуры между полярными и тропическими широтными зонами – общая циркуляция атмосферы. От микротурбулентности и звуковых волн до течений ОЦА совершается движение атмосферного воздуха самых разнообразных масштабов. Основу общей циркуляции атмосферы, согласно исследованию, составляют три линии.

- 1) Столкновение юго-восточных и северо-восточных пассатов на оси межтропической конвергенции (МТК). Происходит подтекание пассатов под поднимающийся нагретый воздух и образование течения на запад под действием силы Кориолиса в нагретом воздухе – субротация.
- 2) Оси южных и северных субтропических струйных течений (ССТ), которые создаются, в большей мере, переносом в зоны ССТ момента импульса зональных течений под действием волн Россби-Блиновой, где наклонены оси гребней в сторону ССТ, и «отрицательной вязкости» статистического ансамбля вертикально-однородных вихрей, так что ССТ образуют суперротацию.

Обычно немного севернее экватора находится ВЗК. Данная линия мигрирует в течение года в Атлантике.

Центрами действия атмосферы называются вихри, которые квазистационарны по своему местоположению. Существенно более сильные летний нагрев и зимнее охлаждение континентов в сравнении с океанами

создают термические различия, как итог, в нижней атмосфере происходит оттекание воздуха с континентов на океаны зимой, также происходит некоторое антициклоническое закручивание от центров к периферии, и обратное подтекание летом.

ЦДА делятся на четыре группы, образующиеся в результате наложения муссонных и зональных:

- 1) Пять круглогодичных океанских антициклонов – Гавайский, Азорский, о. Пасхи, о. Св. Елены, о. Св. Маврикия.
- 2) Четыре зимних континентальных антициклона – Канадский, Сибирский, Австралийский, Южноафриканский.
- 3) Два круглогодичных океанических циклона – Алеутский, исчезает в июле, поэтому не совсем круглогодичен; Исландский. Им соответствует пояс пониженного давления циркумполярного Арктического течения в Южном полушарии.
- 4) Пять летних континентальных циклонов – Калифорнийский, Южноазиатский, Южноамериканский, Австралийский, Южноафриканский [2].

2.3 Внутритропическая зона конвергенции и пассаты

С пассатами связано наиболее сильное нарушение западного переноса воздуха в тропосфере. Перенос воздушных масс между экватором и субтропической областью высокого давления на широтах 25-30° каждого полушария осуществляет пассат – устойчивый в течение всего года. Так как субтропическая область высокого давления распадается на отдельные антициклоны, находящиеся над океанами, то пассаты не охватывают земной шар цельной полосой.

Исходя из этого, на обращённой к экватору периферии субтропических антициклонов над океанами дуют пассаты в течение всего года. Соответственно

к экватору и от него дуют пассаты в западной и восточной частях антициклонов (рисунок 2.4).

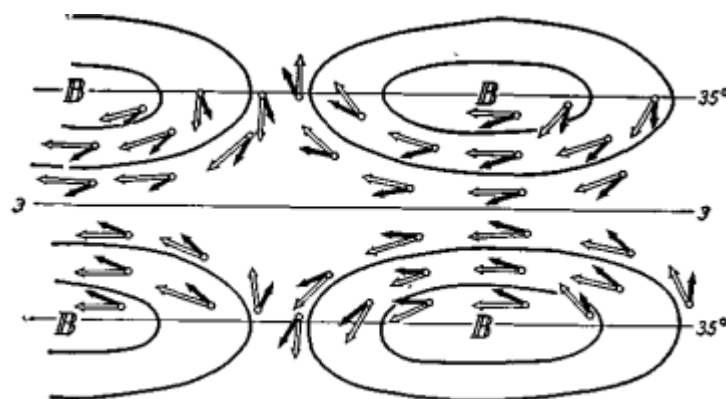


Рисунок 2.4 – Схема переноса воздуха в зоне пассатов

Отличие устойчивости Пассатов связано с их направлением, такое изменение связано с некоторым смещением антициклонов. Вертикальная составляющая мощности пассатов – 2-4 км. Она охватывает всю тропосферу и увеличивается к экватору. Скорость пассатов 5-8 м/с.

Антипассаты – западные ветры над пассатами. Во внетропических широтах в верхней тропосфере они имеют западное направление. В основном слабые, но устойчивые ветры дуют во внутритропической зоне, также наблюдаются западные ветры и сильные шквальные ветры. Внутритропическая зона конвергенции (ВЗК) – довольно узкая переходная зона, которая может менять своё положение в пределах 3-4° широты и испытывать сезонные смещения.

2.4 Муссоны

Важная часть общей циркуляции атмосферы – муссонная циркуляция тропосферы.

Воздушные течения, которые меняют направление на диаметрально противоположное направление два раза в год – муссоны. Они очень устойчивы

зимой и летом, но устойчивость муссонов нарушается в переходных сезонах. Различия в охлаждении и нагревании океанов и материков связаны с возникновением муссонов. Изменение погоды происходит со сменой направления муссонов – дождливая и влажная (рисунок 2.5).

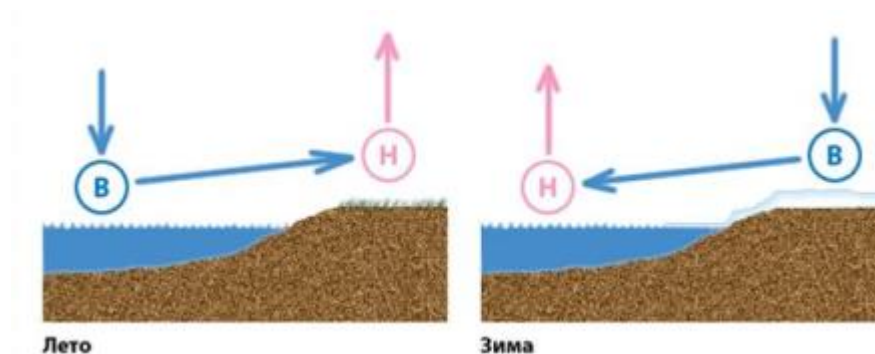


Рисунок 2.5 – Направление муссонов зимой и летом

Между океанами и материками в пограничной полосе возникают муссоны, где контрасты давления велики. Над материками зимой давление значительно выше, чем над океанами, и в соответствии с направлением барического градиента зимний муссон движется с суши в океан. В летний период направление летнего муссона обратное – с океана на сушу, так как давление над материком очень низкое.

Антициклоническая и циклоническая деятельность в атмосфере связана с муссонами. Муссоны прослеживаются там, где устанавливается сезонное преобладание и где антициклоны и циклоны обладают устойчивостью. Муссоны развиты на восточных окраинах материков, так как летние циклоны и зимние антициклоны устанавливаются над восточными частями материков в умеренных широтах. На востоке Евразии и прилегающих морях хорошо выражены внетропические муссоны. Примерно один километр тропосферы, нижний слой, охватывают муссоны. Над данным слоем нет воздушных «антимуссонов». Муссон совпадает с западным переносом воздуха, когда он зимой дует с суши. А летом в тропосфере нарушается западный перенос воздуха, который господствует над муссоном.

2.5 Квазигеострофичность течений общей циркуляции

В большей части атмосферы течения общей циркуляции являются квазигеострофическими, то есть близки к геострофическому ветру. Это означает, что они направлены почти по изобарам, то есть прямолинейные, связаны с распределением давления и мало подвержены трению. Течения общей циркуляции значительно отклоняются от изобар и существенно отличаются от геострофического ветра, только в слое трения.

Естественно, что течения общей циркуляции над слоем трения не бывают строго геострофическими. Принято считать, что течения направлены не строго по изобарам и имеют ускорения, от этого зависят изменения барического поля. Так как отклонения общей циркуляции в свободной атмосфере невелики от геострофического ветра, то их называют квазигеострофическими (рисунок 2.6).

Для умеренных широт справедливо допущение о квазигеострофичности и не выполняется вблизи экватора и на экваторе как у земной поверхности. Так же и в свободной атмосфере, по причине того, что отклоняющаяся сила вращения Земли равна нулю или очень мала и не может уравниваться.

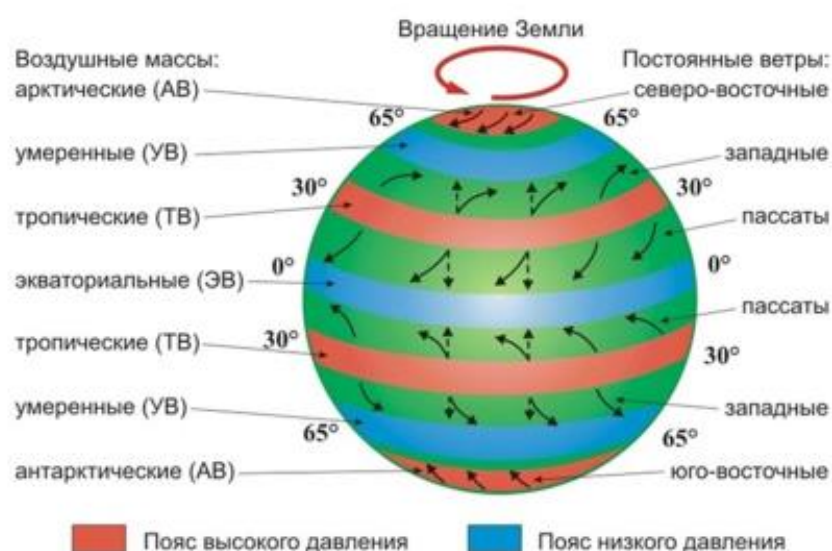


Рисунок 2.6 – Перемещение воздушных масс

2.6 Местные ветры

Возникают циркуляции небольшого масштаба на фоне общей циркуляции атмосферы – местные ветры, характерные только для конкретных географических районов. Проявлением местных ветров могут быть местные циркуляции, такие как горно-долинные ветры, бризы, возмущения, изменения и течения общей циркуляции атмосферы. Преимущественно, это происходит под действием орографии – фен, бора. Течения ОЦА также могут быть местными ветрами, которые обладают очень сильными и особыми свойствами – самум, афганец, хамсин, сирокко.

На берегах больших озёр, морей и некоторых крупных широких полководных рек возникают бризы.

Днём над сушей возникают восходящие движения и отток воздуха наверху в сторону водоёма, когда, суша нагрета сильнее, чем вода. Ветер дует с моря на сушу с 8-10 часов утра в приземных слоях – это морской бриз. Воздух, уходящий в сторону суши, компенсируется его опусканием над морем.

После захода солнца возникает береговой бриз и дует ночью, когда охлаждение суши сильнее, чем воды. Циркуляция воздуха противоположна дневной циркуляции.

При бризах средняя скорость ветра 3-5 м/с. Облака образуются при восходящих его токах, ночью над водой, а днём над сушей; небо безоблачное – при нисходящих токах. Морские бризы выражены сильнее береговых, так как контрасты температуры днём между водой и сушей больше, чем ночью: мощность значительнее (до 1000 м), скорость больше (до 7 м/с), полоса распространения шире (до 100 км). Слой приземной атмосферы около 1-2 км захватывается бризами, вдобавок ночной бриз менее мощный, чем дневной. Периодичность бризов составляет 24 часа.

Возникающие под влиянием рельефа на воздушные течения неперiodические ветры называются бора и фён.

Дующий в сторону сравнительно тёплого моря с невысоких прибрежных гор холодный сильный ветер называется бора. Перед хребтом постепенно скапливается холодный воздух. Далее переваливается через него и скатывается вниз с большой скоростью, к морю. Адиабатическим образом, опускаясь, воздух нагревается, но разность температур тёплого и холодного воздуха остаётся большой. Из-за этого температура на побережье понижается резко.

Сарма – от названия реки Сармы происходит местное название боры на озере Байкал. Из Якутии прорывается к Байкалу холодный ветер через долину Сармы. При переваливании через прибрежные горные хребты холодного арктического воздуха образуется данный ветер.

В горных районах Швейцарии и Франции образуется сухой северо-восточный или северный холодный ветер – бизе. Имеется сходство с мистралем.

Порывистый, тёплый и сухой ветер с гор, которые покрыты ледниками и снегом, в долинах – Фён. По разные стороны горного хребта при большом различии атмосферного давления он и возникает. Воздух на наветренном склоне охлаждается, переваливая в сторону пониженного давления через хребет, а именно, на $0,5-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 м выше уровня конденсации и на $1\text{ }^{\circ}\text{C}/100$ м до уровня конденсации, и теряет влагу, так как образуются облака и выпадают осадки. Воздух, на высоте переваливания через горный хребет, имеет более низкую температуру и абсолютную влажность, которая совпадает с максимальным влагосодержанием при данной температуре, чем вначале поднятия. Опускаясь на подветренном склоне воздух адиабатическим образом нагревается на $1\text{ }^{\circ}\text{C}/100$ м и отдаляется от точки насыщения и далее приобретает характерные фёну черты: низкую относительную влажность и сравнительно высокую температуру.

В странах Ближнего Востока и на северо-востоке Африки зарождается изнуряюще жаркий, сухой ветер южных направлений – хамсин. В таких географических районах температура чаще обычного выше $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, хамсин иногда дует 50 дней при штормовой силе ветра, в марте – мае. Из пустынь

Северной Африки происходит перемещение циклонов, в передних частях которых и возникает хамсин, именно по этой причине он насыщен пылью и песком, которые снижают видимость вокруг.

В пустынях Аравийского полуострова и Северной Африки возникает сухой знойный ветер – самум. В период налетающего шквала самума пески начинают «петь». При сильном прогреве земли и воздуха в циклонах возникает самум, преимущественно при юго-западных и западных ветрах. Также ветер иногда сопровождается грозой и несёт пыль и раскалённый песок. Относительная влажность равна нулю, а температура воздуха достигает 50 С°. В Алжирской Сахаре может возникать до 40 раз в год. Время действия шквала от 20 минут до 2-3 часов.

На Гвинейском берегу Африки дует знойный и сухой ветер, который приносит красную пыль из Сахары – гарматан.

Ледниковый ветер – это ветер, который дует по леднику вниз в горах. Так как температура поверхности ледника ниже температуры воздуха в течение суток, то он не имеет суточной периодичности. Холодный воздух стекает вниз и надо льдом формируется инверсия температуры. Вертикальная составляющая мощности может достигать десятков и сотен метров, скорость ветра – 3-7 м/с.

Для Антарктического ледяного плато характерны чаще юго-восточные стоковые ветры, где под собственной тяжестью холодный воздух скатывается вниз в сторону океана. Скорость прибрежного ветра может быть более 20 м/с, при этом он становится порывистым.

Ветер памперо связан с вторжением антарктического воздуха на Южную Америку – штормовой, иногда с дождём, южный, холодный или юго-западный ветер в Уругвае и Аргентине [5].

3. Характеристика и особенности типизаций основных факторов ОЦА

Распределение в пространстве основных барических образований и направление их движения устойчивое на определённом отрезке времени называется типом циркуляции атмосферы. С помощью критериев классификации разбиваются непрерывные последовательности синоптических процессов на ряд устойчивых состояний, что формирует собой типы циркуляции.

Правильный выбор критериев классификации очень важен для успешного определения типов циркуляции. Не все синоптические процессы можно отнести к тому или иному типу циркуляции, поэтому выбор не должен быть слишком жёстким. Так как непрерывного архива не получится, то это значительно затруднит практическую и научную работу в области долгосрочных прогнозов.

Целям классификации и тому, для чего она предназначена, должен отвечать выбор критерия классификации. В качестве критериев в синоптической метеорологии, где цель – это создание методов прогноза погоды, используют положение в пространстве высотной фронтальной зоны (ВФЗ) или, отвечающие за формирование определённого характера погоды, траектории основных барических образований.

Классификации синоптических процессов существуют глобальные и региональные. От срока действия разрабатываемого метода, от заложенной в основу метода научной идеологии и от района зависит тип классификации.

Все классификации производятся для относительно коротких промежутков времени, по причине того, что атмосферные процессы редко бывают стационарными в течение сезона и месяца и обладают большой изменчивостью. Например, в долгосрочных прогнозах: элементарный синоптический процесс – 3-4 суток, элементарный циркуляционный механизм – 4-5 суток, естественный синоптический период – 5-7 суток. Повторяемость

типов циркуляции в отклонениях от нормы и в абсолютном исчислении применяется для характеристики особенностей циркуляции атмосферы в течение длительных сроков – циркуляционная эпоха, год, сезон, месяц [8].

3.1 Типизация процессов атмосферной циркуляции Б.П. Мультановского

Погода над Европой – это отражение состояния центров действия атмосферы, в первую очередь, Исландского и Азорского. Данное допущение является рабочей гипотезой синоптической школы Б.П. Мультановского.

По вторжению ядер высокого давления из центра действия или по частоте и направлению вторжений антициклонов судил Б.П. Мультановский о состоянии ЦДА. Подход позволял связывать характер макропроцессов с состоянием ЦДА и погодой над районом, по которому составляется прогноз, поскольку направление движения наземных антициклонов было сопряжено с определённым макропроцессом в других частях рассматриваемого района и отражало характер основных течений на высотах.

Были взяты за основу такие закономерности и понятия: естественный синоптический сезон (ЕСС), естественный синоптический период (ЕСП), фазы макропроцессов, ритмическая деятельность атмосферы и аналогия в развитии макропроцессов.

Б.П. Мультановский выделил временной промежуток ЕСП, в котором, при сохранении знака поля на пространстве естественного района, определённым образом развивается ориентированный процесс. Данное заключение сделано на изучении характера макропроцессов и распределении, за время движения антициклонов по осям, знака барических полей (рисунок 3.1).

Как оказалось, ЕСП имеет продолжительность не более двух дней и обладает свойством квазипостоянства. Также существуют ЕСП с другой продолжительностью [9].

В сохранении структуры тропосферных длинных волн, положении их ложбин и гребней, положении фронтальной зоны заключается основная причина сохранения характера приземной циркуляции атмосферы и погоды в течение одного ЕСП.

На сборных картах положения высотной фронтальной зоны (ВФЗ) и на приземных сборно-кинематических картах можно найти признаки начала нового ЕСП.

На сборной карте:

- 1) Существенное изменение фазы длинных волн, то есть на место ложбины приходит гребень ВФЗ и наоборот.
- 2) Трансформация зонального процесса в меридиональный и наоборот.
- 3) При процессах антициклонического блокирования западно-восточного переноса при отсечении высотных циклонов на юге умеренной зоны образуется новая или вторая ВФЗ.

На сборно-кинематической карте:

- 1) Формируются основные циклонические или антициклонические поля на месте основных циклонических или антициклонических полей.
- 2) Формируется новый антициклон или циклон на месте основного антициклона или циклона.
- 3) Резкое изменение направления движения основных барических образований.

Свойство тенденции является второстепенным важным свойством ЕСП. Сохранение географического расположения направления смещения барических образований на пространстве естественного синоптического района (ЕСР) и основных антициклонических и циклонических полей является следствием из того, что в течение периода сохраняется общий характер развития синоптических процессов.

В разных естественных синоптических районах временные границы естественного синоптического периода не связаны между собой.

Разработчиками синоптического метода в своё время было выдвинуто данное теоретическое положение. В северном полушарии выделялось три ЕСР:

- Западная половина Тихого океана, Приморье и Восточная Сибирь;
- Северная Америка, восточная часть Тихого океана;
- Евразия до р. Енисей, Атлантический океан.

Синоптические процессы редко бывают строго локализованы. Это доказали будущие исследования. А именно, что на пространстве всего северного полушария или всего земного шара наблюдаются чаще глобальное взаимодействие и сопряжённость особенностей циркуляции.

Деление на ЕСР применяется в методах прогноза, а также имеет физический смысл. С позиций сезонного теплообмена между континентами и океанами С.Т. Пагов обосновал деление северного полушария на естественные синоптические регионы. Используя отклонения температуры от среднеширотных значений, были построены карты изаномал приземной температуры в северном полушарии. Оказалось, что ранее выделенные границы ЕСР, совпадают с существующими на полушарии тремя парами отрицательных и положительных очагами изаномал или три температурных диполя. В зимний период в первом ЕСР существует очаг отрицательный, находящийся в Восточной Сибири, над северо-западом Тихого океана – положительный очаг. Второй ЕСР характеризуется отрицательным очагом над Северной Америкой, положительным – над Тихим океаном. В третьем ЕСР положительный очаг находится в Казахстане, отрицательный – в Норвежском море. Исходя из этого, существуют три автономных тепловых машины в умеренных широтах северного полушария, которые формируют в западно-восточном переносе длинные волны, за счёт осуществления теплообмена между континентами и океанами.

Сохранение определённого характера теплообмена между континентом и океаном на пространстве ЕСР в определённом промежутке времени называется естественным синоптическим сезоном (ЕСС). В течение одного ЕСС в западно-восточном переносе сохраняется однотипная структура длинных волн, с точки

зрения циркуляции атмосферы. Из этого следует, что сохраняется определённое положение ВФЗ, которая управляет расположением фронтов и движением приземных барических образований.

Два важных прогностических следствия, образованных из свойства ЕСС:

- 1) В течение одного естественного синоптического сезона антициклоны вторгаются в умеренные широты из центров действия по осям определённого комплекса;
- 2) Внутри подавляющего большинства синоптических периодов, не менее 75%, в течение одного естественного синоптического сезона наблюдается развитие синоптических процессов, которые входят в данный сезон.

Можно обозначить шесть естественных синоптических сезонов в климатическом среднем в первом естественном синоптическом регионе со следующими датами начала:

Первая половина лета – 7 мая; Вторая половина лета – 1 июля;

Осень – 24 августа;

Предзимье – 17 октября; Зима – 24 декабря;

Весна – 12 марта.

Существенно колеблются от года к году продолжительность и даты начала естественного синоптического сезона. Характеристики сезона зимы ощущают наибольшие колебания: может начаться в первой декаде января или конце ноября. Изменчивость характеристик сезонов в тёплом полугодии меньше. 22 июня – самая ранняя дата наступления сезона второй половины лета, 15 июля – самая поздняя.

В естественном синоптическом регионе – Дальний Восток, Восточная Сибирь, иное деление года на сезоны: единым сезоном является лето, а естественный синоптический сезон зимы делится на две половины. Оставшиеся естественные синоптические сезоны схожи с первым районом, но в данном случае средние даты продолжительности и начала различны [8].

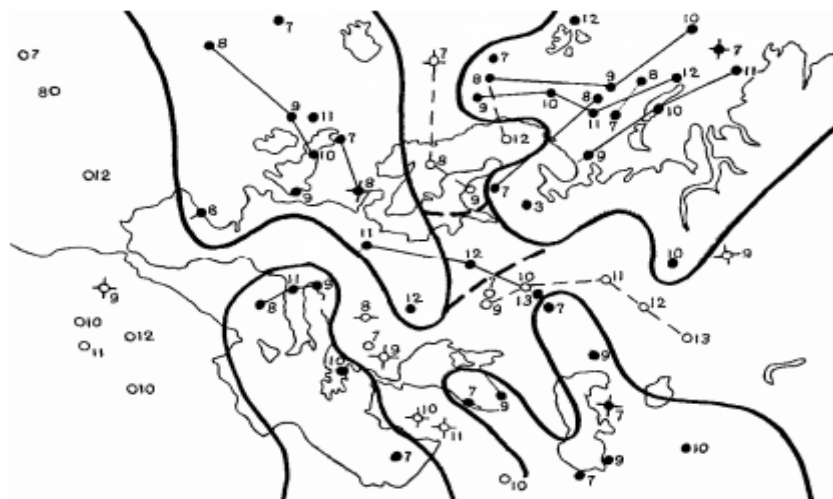


Рисунок 3.1 – Кинематическая карта естественного синоптического периода

3.2 Классификация атмосферных макропроцессов Г.Я. Вангенгейма-А.А. Гирса

В 1932-1935 гг. Г.Я. Вангенгейм произвёл типизацию макроскопических процессов, основываясь на понятии элементарного синоптического процесса (ЭСП). Сохранение направления основных переносов воздуха в пределах Северного полушария Атлантико-Евразийского сектора и географического распределения знака барического поля понимается под процессом ЭСП.

Также строились сборно-кинематические карты для каждого ЭСП. Чтобы определить аналогичные группы ЭСП, необходимо сопоставить карты друг с другом с учётом ориентировки господствующих ветров, характером процессов их формирования, основным вторжением воздушных масс. В конечном итоге, несмотря на всё многообразие процессов, удалось отобразить 26 типов.

Далее было сформировано три типа атмосферной циркуляции из 26 типов процессов: меридиональный С, западный W, восточный E. Обобщённые типы определились по преобладающим переносам тропосферы умеренных широт.

При расчленении непрерывно протекающих процессов на ЭСП обычно применяют в практической работе сборно-кинетические карты 26 типов. Далее идёт распределение по трём типам атмосферной циркуляции.

По существу, типы W, C и E являются формами общей циркуляции атмосферы, что доказал Г.Я. Вангенгейм в 1946 году. В толще тропосферы при форме W наблюдаются зональные движения воздуха – выявил А.А. Гирс, изучая вертикальную структуру процессов форм E, C, W. С возникновением в тропосфере стационарных волн большой амплитуды происходит преобразование процессов формы W в формы C и E (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Положение основных высотных ложбин и гребней в пиковой стадии процессов форм C (---), E (-), W (-)

Для понимания макроциркуляционного метода долгосрочного прогноза погоды необходимо рассмотреть типовые характеристики основных форм C, E и W.

Основные характеристики форм циркуляции.

Форма W – западная. В слое тропосферы просматриваются волны малой амплитуды, которые быстро перемещаются с запада на восток (рисунок 3.2).

С запада на восток наблюдается зональное смещение барических образований на приземных картах: антициклонов – в субтропических, циклонов – в северных и умеренных широтах (рисунок 3.3).

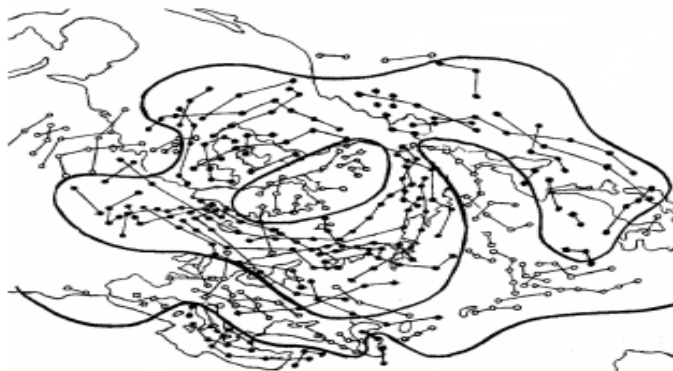


Рисунок 3.3 – Пример траекторий при W циркуляции антициклонов и циклонов

На рисунке 3.4 представлено среднее типовое приземное барическое поле. В полярных и умеренных широтах хорошо выражена зона пониженного давления, а в субтропических широтах – пояс высокого давления (рисунок 3.4). Зона пониженного давления умеренных широт не расчленяется, а представляется в виде пояса. Так же можно сказать и о субтропической зоне высокого давления.



Рисунок 3.4 – Среднее давление при типе циркуляции W

Межширотный обмен воздушными массами сильно ослабевает, поскольку у земли и на высотах меридиональные составляющие циркуляции ослаблены, а зональные – максимально усилены.

В субтропических районах начинает прогрессировать положительный радиационный баланс, то есть радиационное нагревание, а в приполярных – отрицательный радиационный баланс, то есть радиационное охлаждение. Вследствие этого в субтропических широтах наблюдаются положительные отклонения атмосферного давления и температуры воздуха от нормы, а в полярной области – отрицательные отклонения. Вынос с запада тёплых масс воздуха океанического происхождения в зимнее время способствует формированию положительных отклонений от нормы (рисунок 3.5, 3.6).

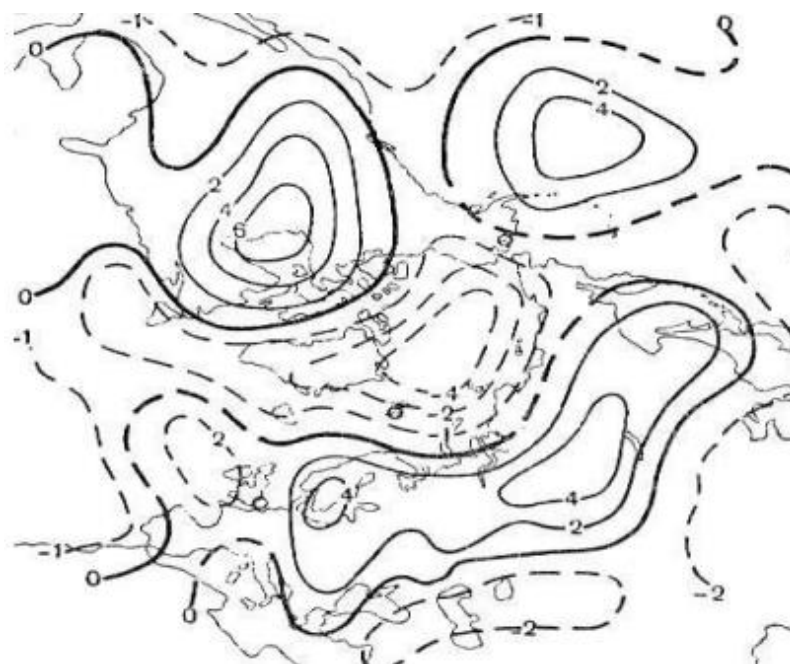


Рисунок 3.5 – Температурные аномалии при циркуляции типа W



Рисунок 3.6 – Аномалии давления атмосферы при типе циркуляции W

Форма С – меридиональная. В толще тропосферы наблюдаются стационарные волны большой амплитуды при форме С, которые показывают меридиональное состояние ОЦА.

Динамический рост приземного давления, а также конвергенцию высотных потоков и большие контрасты обуславливает вынос тёплого воздуха в северные широты по западной части гребней, где происходит встреча с холодными арктическими массами.

Для активации и возникновения фронтов и циклонической деятельности являются благоприятными зоны значительных контрастов температур. По траектории к западу от гребней с юго-запада на северо-восток, к востоку с северо-запада на юго-восток – «ныряющие циклоны», то есть циклоны, движущиеся обычно, огибая высотные гребни.

Типовое среднее приземное давление является результатом циклонической деятельности (рисунок 3.7).

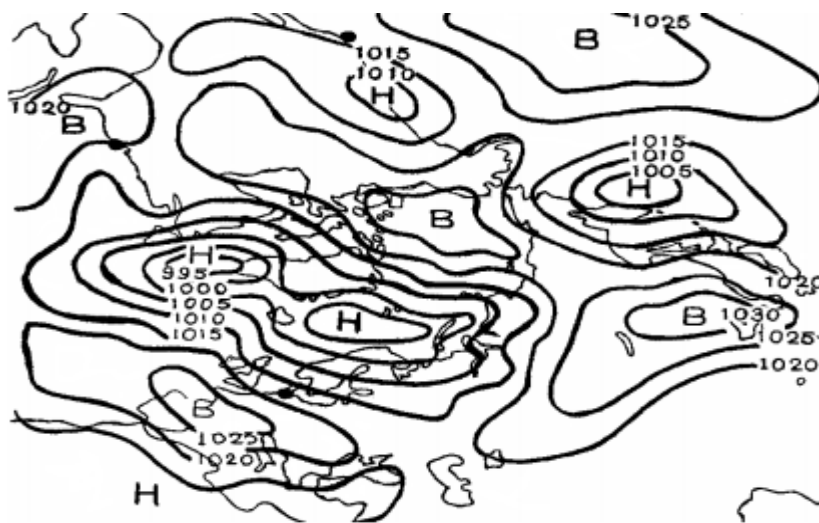


Рисунок 3.7 – Циркуляция С (среднее давление)

- а) Хорошо развит Сибирский антициклон. С полярным антициклоном соединяется его гребень, в субтропической зоне находится южная часть;
- б) Иногда образовывается антициклон субтропического максимума на месте сильно заполненных Алеутского и Исландского максимумов.

Наблюдается адвекция холода в тропосфере по восточной части высотных гребней, адвекция тепла – по западной. В западных частях приземного антициклона формируются области положительных аномалий на высотах у земли, в восточной части – отрицательные (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Температурные аномалии при типе циркуляции С

Форма Е – восточная. Стационарными волнами большой амплитуды в тропосфере характеризуются процессы меридиональной и восточной формы. При форме Е на полушарии наблюдается локализация основных ложбин и гребней, обратной при форме С. При форме Е имеют место ложбины, а при форме С – основные гребни. В большинстве районов свойственно распределение аномалий давления и температуры при форме С.

Происходит огибание ложбин и гребней в зоне максимальных контрастов. С юго-запада на северо-восток осуществляется перемещение циклонов, обходя с востока гребни. У земли формируются стационарные антициклоны в районах, где на высотах находятся восточные части гребней (рисунок 3.9).

Сильный рост приземного давления наблюдается под восточной частью европейского гребня. В итоге, происходит смещение с востока на запад данного гребня, а иногда и гребня Сибирского антициклона. В северо-западной части европейского высотного гребня происходит динамический рост давления, что способствует данному смещению.



Рисунок 3.9 – Тип циркуляции E – траектории антициклонов и циклонов

- а) В Сибири, как правило, зимой ослаблен Сибирский антициклон и смещён к западу. В Сибири имеет место сохранение сильно развитого антициклона в некоторых разновидностях при наличии на меридианах Каспийского моря его второго центра.
- б) К юго-востоку и северо-востоку распространены ложбины, хорошо развитых Алеутской и Исландской депрессий.

А.А. Гирс в 1948 году рассматривал вопрос о распространении форм макропроцессов E, W, C и о их вертикальной структуре на Северном полушарии. Для установления типов процессов E, W, C к процессам Тихоокеано-Американского сектора, использовались критерии Г.Я. Вангенгейма. Наблюдаемые в данном секторе макропроцессы можно разделить на три типа – два меридиональных (M_1 и M_2) и зональный (З).

Зональное состояние атмосферы, где с запада на восток быстро смещаются волны малой амплитуды в тропосфере, свойственно W и Z процессам. Стационарные волны большой амплитуды в тропосфере характерны меридиональному состоянию атмосферы, которое определяют процессы C, E, M₁ и M₂.

Согласно анализу, с одинаковой вероятностью могут просматриваться типы M₁ и M₂, Z процессов в Тихоокеано-Американском секторе, как и в Атлантико-Европейском секторе полушария, то есть в первом секторе, при одном и том же типе E, W, C процессов.

В конечном итоге получилось девять типов макропроцессов: E₃, E_{M1}, E_{M2}, W₃, W_{M1}, W_{M2}, C₃, C_{M1}, C_{M2}. Они могут приниматься во внимание как разновидности форм E, W, C в первом секторе и как основные формы атмосферной циркуляции Северного полушария.

Форма циркуляции W₃, W_{M1}, W_{M2} – западная. Для них характерны:

- 1) С запада на восток в тропосфере наблюдаются волны малой амплитуды, которые быстро смещаются. В первом секторе данная особенность наблюдается при W_{M1}, W_{M2}, в случае W₃ – в обоих секторах полушария. Стационарные волны большой амплитуды имеют место при процессах W_{M1}, W_{M2} во втором секторе.

Быстро смещающиеся волны зафиксированы в первом секторе во всех Z разновидностях формы W.

- 2) Междущиротный обмен воздухом ослаблен в первом секторе полушария, повышена интенсивность зональных составляющих циркуляции. Междущиротный обмен усилен во втором секторе при W_{M1}, W_{M2}, ослаблена интенсивность зональной циркуляции.

В толще тропосферы данные особенности определяются величиной и направлением барических и термических градиентов. С юга на север направлены и те, и другие в первом секторе полушария, при W_{M1}, W_{M2} отмечается чередование холодных ложбин и стационарных тёплых гребней во втором секторе.

- 3) В тропосфере от направления ведущего потока зависят траектории барических образований у поверхности земли, то есть зависит от характера термобарических длинных волн в тропосфере.

Смещение с запада на восток ядер высокого давления в субтропической зоне и в умеренной зоне полушария циклонов характерно при процессах западной формы циркуляции W .

Во втором секторе стационарных волн большой амплитуды наличие двух разновидностей форм W разъясняет меридиональные составляющие в перемещении у поверхности земли барических образований: к северу смещаются циклоны, где находится восточная часть высотных ложбин или западная часть высотных гребней, далее к югу «ныряют» в районе, где находится западная часть ложбин или восточная часть высотных гребней.

- 4) Характером длинных термобарических волн определяется у поверхности земли распределение аномалий давления, которые свойственны данной форме циркуляции.

Отрицательные аномалии давления, которые показывают в толще тропосферы наличие смещений циклонов у поверхности земли с запада на восток и быстрых смещений волн маленькой амплитуды, фиксируются в первом секторе при всех разновидностях формы W . Во втором секторе полушарию в районе Алеутских островов при форме W_{M1} наблюдается область значимых положительных аномалий давления. При форме W_{M2} – отрицательные аномалии давления. Зональное распределение имеют аномалии давления при форме W_3 .

- 5) При разных формах циркуляции и их разновидностях различно состояние ЦДА в Северном полушарии. Отмечается отрицательная аномалия давления в районе нахождения Сибирского максимума при всех разновидностях формы циркуляции W .
- 6) Положительные температурные аномалии свойственны для первого сектора полушария при макропроцессах W_{M1} , W_{M2} , W_3 , так как

получил развитие процесс одной и той же формы. Величина аномалий при W_3 наименьшая, при W_{M2} – наибольшая.

Форма циркуляции макропроцессов C_3 , C_{M1} , C_{M2} – меридиональная.

- 1) На полушарии наиболее аномальным процессом является C_{M1} макропроцесс, при котором два важнейших ЦДА практически отсутствуют даже зимой.
- 2) В согласии с локализацией высотных гребней и ложбин находится географическое положение областей аномалий температуры, при этом чётко проявляется меридиональность при макропроцессах C_{M1} , C_{M2} , C_3 в распределении температурных аномалий.
- 3) От Чёрного моря до Урала протягиваются области избытка осадков при макропроцессах C_{M1} , C_{M2} , C_3 . Это обуславливается связью восточной части высотной европейской ложбины с активным перемещением циклонов. С активацией холодного воздуха по восточной части антициклонического гребня и динамическими изменениями давления в восточной части Атлантики связана область дефицита осадков.

Форма циркуляции макропроцессов E_{M1} , E_{M2} , E_3 – восточная.

- 1) Стационарные волны большой амплитуды наблюдаются в толще тропосферы.
- 2) Значимую меридиональную составляющую приобретают траектории наземных барических образований, зависящие от направления ведущего потока на высоте. Эти они отличаются от процессов западной формы.
- 3) С положением высотных гребней и ложбин находится в согласии распределение аномалий давления при процессах формы E . Под западными частями высотных гребней образуются области отрицательных аномалий, под восточными – области положительных аномалий.

- 4) Над континентом Евразии образуются отрицательные аномалии, в Арктике – положительные аномалии, которые характеризуют распределение температурных аномалий при макропроцессах форм $Ем_1$, $Ем_2$, $Ез$.
- 5) При макропроцессах $Ем_1$, $Ем_2$, $Ез$ распределение аномалий осадков демонстрирует дефицит осадков в Западной Сибири, особенно при $Ем_1$, на Европейской территории России – избыток осадков.

3.3 Характеристики меридиональной и зональной форм циркуляции А.Л. Каца

Самая общая циркуляция – деление всех синоптических процессов циркуляции на меридиональное и зональное состояние. По географической локализации основных особенностей барического поля процессов необходимо различать меридиональные процессы. Ими являются ложбины планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) и гребни.

Из записей по подсчёту индекса меридиональности, которые являются градиентами геопотенциала, можно получить приближение к географической локализации высотных гребней и ложбин (рисунок 3.10).

Знаки градиентов объясняют географическую локализацию основных свойств высотного барического поля. Подсчитать интенсивность меридионального воздухообмена позволяет сумма модулей вышеописанных градиентов. При движении с запада на восток просматривается изменение высотных гребней на ложбины возле каждой точки. При этом происходит чередование положительных и отрицательных знаков градиентов. На противоположную локализацию ложбин и гребней указывает обратное сочетание знаков – отрицательных и положительных.

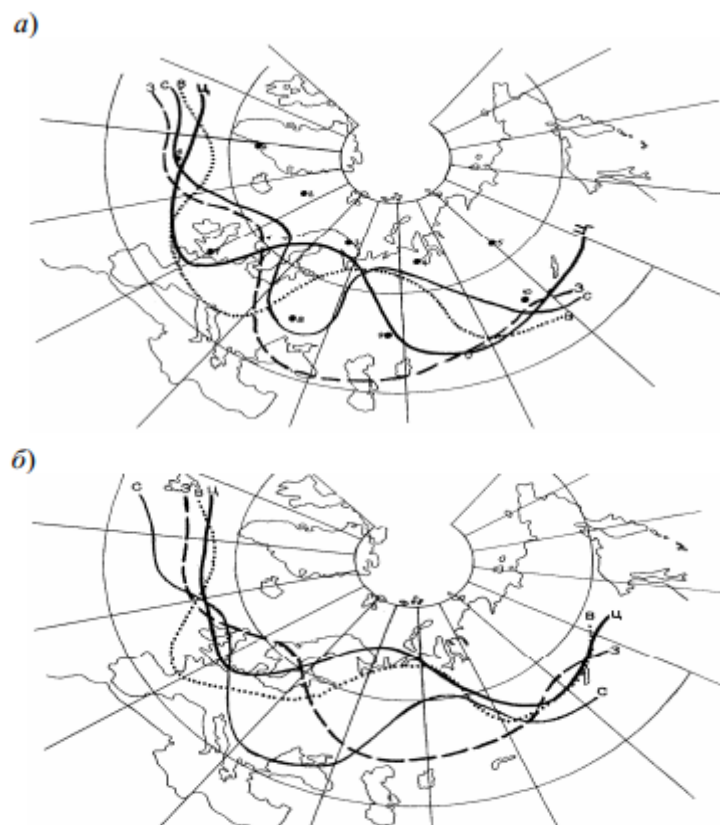


Рисунок 3.10 – Среднее расположение ПФВЗ в холодный (а) и тёплый (б) сезоны года в меридиональных процессах смешанной (С), центральной (Ц), восточной (В) и западной (З)

Вдоль параллели 52°с.ш. для Европейско-Азиатского сектора полушария в таблице 3.1 представлены сочетания последовательности знаков зональных градиентов геопотенциала.

Таблица 3.1

Сочетание знаков зональных градиентов геопотенциала

№	Сочетание знаков	Форма циркуляции	№	Сочетание знаков	Форма циркуляции
01	+ - + -	Ц	09	+ + - -	С
02	- - + -		10	- + - -	
03	- - + +		11	- + - -	
04	+ - + +		12	+ + - +	
05	+ + + +	З	13	+ - - +	В
06	- + + -		14	- - - +	
07	- + + -		15	- - - -	
08	+ + + +		16	+ - - -	

По величине общего индекса можно отнести процесс к одному из двух основных состояний циркуляции – меридиональному или зональному, если обозначить каждое сочетание определённым шифром, как в таблице 3.1. К форме с той или иной локализацией ложбин и высотных гребней можно отнести по сочетанию знаков зональных градиентов на параллели 52°с.ш. (рисунок 3.10).

3.4 Типизация процессов атмосферной циркуляции над Северным полушарием Б.Л. Дзердзеевского

На учёте интенсивности, количества и района арктических вторжений основана эта типизация. Основной признак – количество, направление и наличие или отсутствие блокирующих процессов на полушарии. Процессы с циклонической циркуляцией на полюсе выделены в отдельную группу. Все циркуляции разделены на: 4 группы, 13 типов, 41 подтип или элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ) – основная единица типизации (таблица 3.2). Тип элементарного циклонического механизма обозначается числом. Различия ЭЦМ в пределах одного типа обозначаются первыми буквами алфавита в направлениях выходов южных циклонов или арктических вторжений. Сезонные различия ЭЦМ по знаку барических полей над континентами и океанами – буквами «л» - летний, «з» - зимний.

Таблица 3.2

Характеристика групп циркуляции атмосферы Северного полушария в типизации Б.Л. Дзердзеевского

Группа циркуляции	Типы ЭЦМ, входящие в группу	Атмосферное давление в Арктике	Количество блокирующих процессов	Количество выходов южных циклонов
Зональная	1 и 2	Высокое	0	2–3
Нарушение зональности	3–7	Высокое	1	2–3
Меридиональная северная	8–12	Высокое	2–4	2–4
Меридиональная южная	13	Низкое	0	3–4

Два выхода южных циклонов происходит при типе 1. При элементарном циркуляционном механизме 1а – через Западную Европу, западные средиземноморские циклоны или вдоль западных берегов Европы и вдоль Дальневосточного побережья Тихого океана. При элементарном циркуляционном механизме 1б – через Северную Америку и восточные средиземноморские циклоны, через европейскую часть России (рисунок 3.11). При ЭЦМ 1б ширина циклонической области вокруг арктического антициклона больше, чем при ЭЦМ 1а, в частности на Дальнем Востоке, где в алеутскую депрессию вливаются южные циклоны.

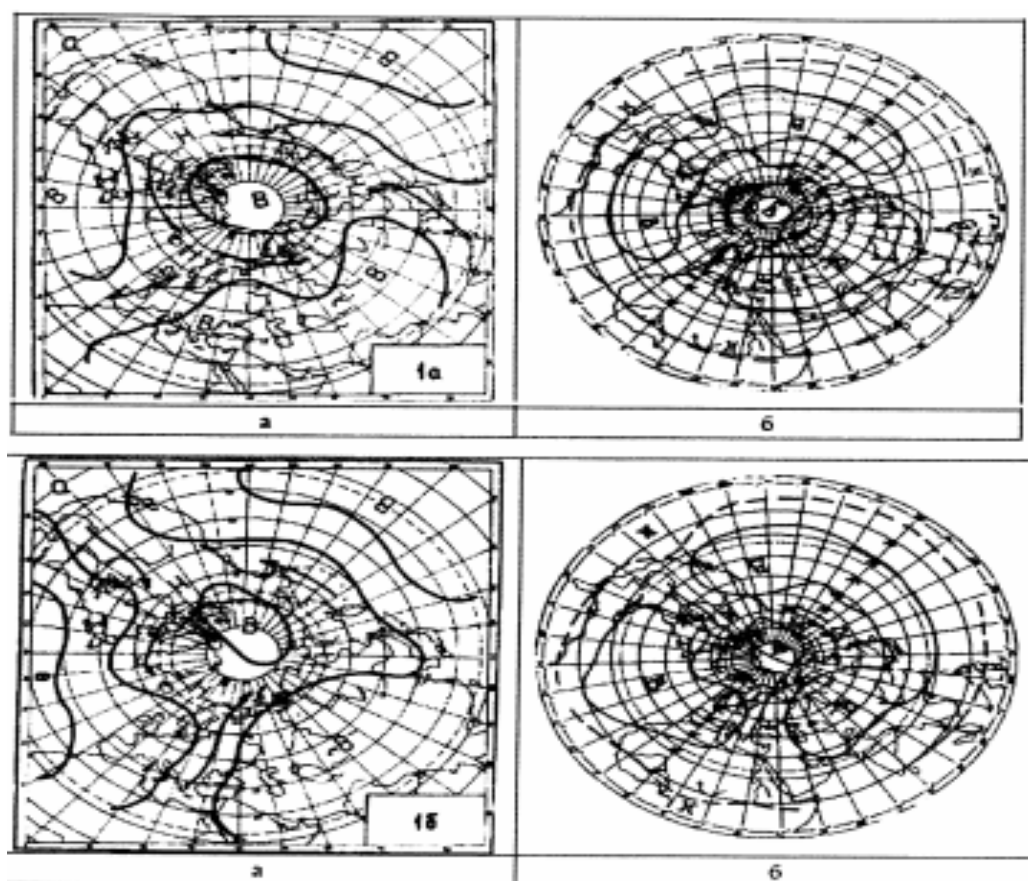


Рисунок 3.11 – Схемы ЭЦМ по Б.Л. Дзердзеевскому

При элементарном циклоническом механизме первого типа в субтропическом и в южных широтах умеренного пояса образуются обширные области повышенного давления. Выходам южных циклонов соответствуют

места разрывов между ними. На октябрь, 12-13 % от общего числа случаев, приходится максимальная повторяемость ЭЦМ 1а и 1б. Максимум продолжительности ЭЦМ 1а за многолетний период пришёлся на 1939 год, ЭЦМ 1б – на 1930 год при средней многолетней продолжительности данных ЭЦМ 5 дней в году. Процессы первого типа в средней тропосфере характеризуются хорошо выраженным зональным переносом. На АТ₂₀₀ просматривается Арктический антициклон.

Средняя продолжительность элементарного циклонического механизма близка к продолжительности элементарного синоптического процесса Г.Я. Вангенгейма, от 3,6 до 5,3 суток. Различную сезонную повторяемость имеют типы процессов: одни встречаются только летом, другие – зимой. С мая по август совсем не наблюдается тип 1, но чаще встречается в октябре и марте. Летом чаще встречаются типы 2 и 6, а зимой – 5 и 11. В разные годы разнохарактерность одних и тех же сезонов можно обосновать тем, что они состоят из различного «набора» ЭЦМ [10].

4. Индексы атмосферной циркуляции

Для изучения интенсивности атмосферной циркуляции, в первую очередь меридиональную и зональную составляющие, используются количественные показатели – индексы. Можно выделить определённые типы макропроцессов и их дополнительные свойства, используя данные об индексах, которые используются для расчленения средней многолетней картины общей циркуляции.

В пространственно связанные конфигурации или дальние связи, телеконнекции, объединены индексы циркуляции атмосферы, которые отражают интенсивность центров действия атмосферы (ЦДА) [10].

В общей циркуляции атмосферы за пределами синоптической изменчивости диапазон низких частот охватывают колебания. Все колебания с типичным периодом более 10 дней относятся к низкочастотному диапазону. Далее было разделение на два диапазона: все колебания с месячным разрешением относятся ко второму. В сезонном прогнозе основными факторами являются граничные условия, при этом важную роль перестают играть начальные условия, а вот в месячном прогнозе важны граничные условия и начальные данные.

4.1 Индекс атмосферной циркуляции К.Г. Россби

Предложением К.Г. Россби было использование величины зональной составляющей скорости движения воздуха (u) в качестве индекса общей циркуляции атмосферы. По разности давления между определёнными широтами может быть вычислена данная величина и переведена в скорость, в метрах в секунду, по формуле геострофического ветра [11].

В умеренных широтах интенсивность западно-восточного переноса воздуха связана со скоростью восточных течений определённым образом в

полярной и тропической зонах, считает Россби, то и для умеренной зоны данная величина может служить индексом общей циркуляции. К.Г. Россби для более детального изучения для каждой из зон в отдельности вычисляет индексы (таблица 4.1)

Таблица 4.1

Направление ветров по зонам

Широта (град)	Зона ветров	Широта (град)	Зона ветров
Зима		Лето	
35–55	Западных	40–65	Западных
55–70	Восточных	Больше 65	Восточных

Для определения величины индекса нужно снять значения давления для нескольких пар точек, которые расположены вдоль меридианов на кругах широт, например, 35° и 55° , со средних или ежедневных карт давления. После берутся разности этих значений для каждой пары, которые усредняются по всему поясу. Далее в скорость ветра переводится полученная разность давления. Для изучения изменения индексов в других регионах полушария или по причине отсутствия данных по всему полушарию нередко вычисляются значения индексов для ограниченной части полушария.

Для изучения изменения во времени размеров и местоположения зон западных и восточных ветров, также для определения индексов строят профили давления.

Существует правило: чем больше изменяется давление с широтой, тем круче ход кривой и тем больше разность давления между определёнными широтными кругами. Из этого следует, что индекс атмосферной циркуляции будет больше.

Процессы общей циркуляции можно обобщить по двум типам: тип процессов с низким и высоким индексами.

При низком индексе:

- 1) Расположение гребня субтропических антициклонов в момент раздвоения Исландского и Алеутского минимумов;
- 2) Ослабление субтропических антициклонов, гребни которых соединены с гребнями полярного антициклона и направлены на север;
- 3) Развитие на обширной территории полярного антициклона; распределение Сибирского антициклона на запад;
- 4) Наличие стационарных волн малой длины и большой амплитуды на высотах.

При высоком индексе:

- 1) Нахождение в «домашнем» регионе хорошо развитых и единых минимумов – Исландского и Алеутского;
- 2) Распространение гребней в хорошо развитых субтропических антициклонах – Гавайском и Азорском в зональном направлении, то есть на восток и запад;
- 3) Отсутствие мощных полярных циклонов;
- 4) В «домашнем» районе наблюдается Сибирский антициклон, который незначительно распространён в западном направлении;
- 5) При наличии длинных волн малой амплитуды хорошо выражены зональные движения воздуха на высотах.

Некоторые более общие характеристики атмосферной циркуляции позволяет дать классификация К.Г. Россби. Для данной цели можно воспользоваться, представленным на рисунке 4.1, графиком средних многолетних значений зонального индекса.

- 1) Ослабление интенсивности атмосферной циркуляции к лету отражает факт значительного убывания зонального индекса от зимы к лету;
- 2) На уровне 700 гПа или 3 км амплитуда годовых изменений индекса больше, чем на уровне моря;
- 3) Осенью достигают своего максимума субтропические восточные ветры, зимой – западные ветры умеренной зоны.

В изменении индекса установлен основной цикл, который характеризует в умеренных широтах переход от сильной зональной циркуляции к слабой и длится от 3 до 6 недель.

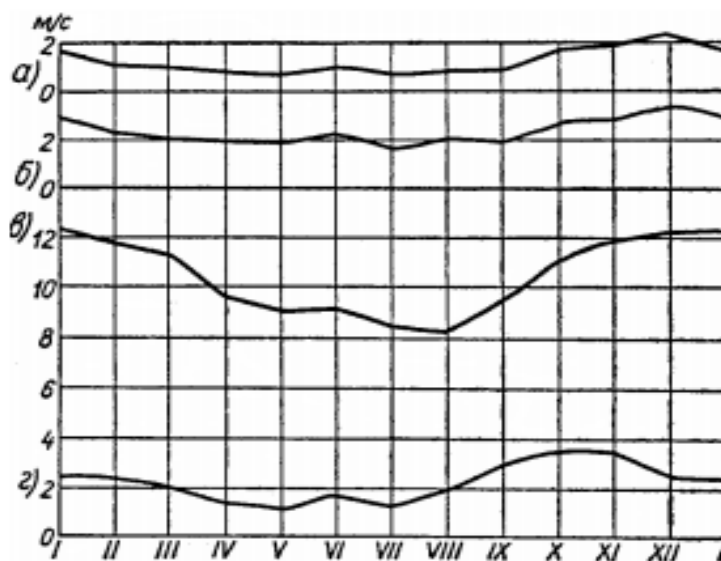


Рисунок 4.1 – График зонального индекса Россби в пределах значений нормы: а – зональный; б – североамериканский; в – уровень 100 тысяч футов; г – индекс восточных ветров

Высокий индекс – первая стадия на уровне моря описывается сильными западными течениями, которые выражаются наличием длинных волн на высоте севернее их нормального положения. С востока на запад ориентированы приземные барические системы. Лишь в высоких широтах отмечается значительная циклоническая деятельность. Максимальные значения имеют меридиональные термобарические градиенты, ослаблен междуширотный обмен. Усиливается околполюсной вихрь. Для данного времени года струя усилена и расположена севернее нормальной широты.

Начало понижения индекса – вторая стадия. Уменьшением скорости западных ветров и распространением их на более низкие широты, усилением циклонической деятельности в средних широтах, уменьшением длин волн на высоте, максимальной силой струйного течения характеризуется данная стадия.

Низкое значение индекса – третья стадия. В полярных широтах максимальным динамическим антициклогенезом и в средних широтах глубоких стационарных циклонов, полным распадом системы приземных зональных западных ветров на замкнутые ячейковые центры характеризуется эта стадия.

Начало повышения индекса на уровне моря – четвёртая стадия. Постепенным заполнением циклонов в низких широтах, усилением зональных западных ветров на уровне моря, если при этом имеются системы незамкнутых волн на высоте в северных широтах, включением в субтропический пояс высокого давления антициклонов высоких широт характеризуется четвёртая стадия, а также разрушением антициклонических и циклонических ячеек в верхних слоях, постепенным нагреванием воздуха в низких широтах и охлаждением в полярных областях, постепенным восстановлением струйного течения в высоких широтах.

Формулу (4.1), которая связывает длину волны и её скорость и величиной зонального индекса $\bar{u}$, получил К.Г. Россби:

$$c = \bar{u} - \frac{\beta^* L^2}{4\pi^2}, \quad (4.1)$$

L – длина волны, $\bar{u}$ – зональная скорость западного переноса, β – скорость изменения в северном направлении параметра Кориолиса, c – скорость перемещения волны.

Если $c = 0$, то

$$L_s = 2\pi \sqrt{\frac{\bar{u}}{\beta}}, \quad (4.2)$$

где L_s – длина стационарной волны.

Если $L < L_s$, то волны смещаются на восток, а при $L > L_s$ – на запад. По формуле (4.1) для L_s можно вычислить длину волн, предсказать положение, интенсивность и количество циклонических и антициклонических ЦДА, если предсказать значение зонального индекса $\bar{u}$.

4.2 Индекс циркуляции атмосферы Е.Н. Блиновой

Задачу на вращающейся сферической земле о движении волновых возмущений в термобарическом поле решила Е.Н. Блинова [12]. Было рассмотрено уравнение переноса вихря по А.А. Фридману. Предполагалось, что движение ветра бездивергентное, а вертикальная составляющая скорости ветра мала. По осреднённому по кругу широт распределению давления рассчитана скорость геострофического ветра, которая принята за линейную скорость движения атмосферы вдоль круга широт.

Индексом циркуляции названо отношение линейной скорости движения воздуха вдоль круга широты к расстоянию до оси вращения Земли, а именно параметр α . Исходя из осреднённых по высоте значений температуры, скорости ветра и давления предполагалось, что параметр α не зависит от высоты. По данным поверхности 500 гПа производится вычисление индекса на практике (формула 4.3).

$$H(\varphi) = H\varphi(90^\circ) + \frac{\alpha}{\omega} + \left(\frac{\omega\alpha}{10}\right)^2 \cos^2 \varphi, \quad (4.3)$$

где $H(\varphi)$ – значения геопотенциала, осреднённые по кругу широты поверхности 500 гПа, φ – широта, ω – угловая скорость вращения Земли, $H(90^\circ)$ – значение геопотенциала 500 гПа на полюсе, α – индекс циркуляции, α – расстояние от центра Земли.

При составлении долгосрочных прогнозов погоды с помощью гидродинамического метода важнейшей величиной является индекс α .

На рисунке 4.2 представлена кривая годового хода α индекса. На основании средних многолетних карт поверхности 500 гПа барической топографии получена данная кривая. Индекс α убывает от зимы к лету, что следует из графика, и достигая в июле годового минимума.

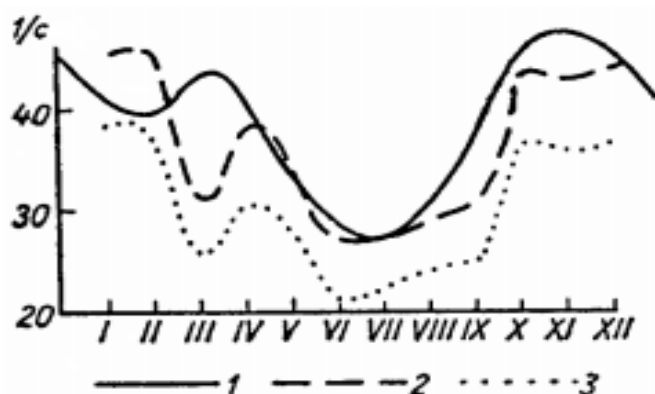


Рисунок 4.2 – Годовой многолетний ход (1 - α_{500}), годовой ход 1949 г. (2 - α_{500}) и (3 - α_{600})

Лишь доминирующий процесс на полушарии отражает индекс циркуляции. При осреднении по кругу широт сглаживаются и в ходе кривой изменения индекса не находят заметного отражения процессы, которые являются зачатками нового, возникающих в небольших районах полушария.

4.3 Индекс интенсивности циркуляции атмосферы Л.А. Вительса

Область изучения Л.А. Вительса –барико-циркуляционный режим, его особенности, к югу до 30° с.ш. и на пространстве от острова Гренландия до реки Енисей [14].

Было создано 9 градаций интенсивности и вида. Каждой градации была присвоена конкретная цифра: 0 – мощный антициклон, 1 – умеренный антициклон, 2 – слабый антициклон и так далее. Результатом стал составленный синоптический каталог, которым в определённой степени можно заменить многолетний архив синоптических карт.

В качестве индексов, которые характеризуют в данном районе интенсивность циркуляции, Вительс предложил принять среднюю глубину циклонов I_z , I_A – среднюю мощность циклонов по формуле 4.4:

$$I_s = I_z + I_A, \quad (4.4)$$

Представления об общем убывании или возрастании интенсивности барических образований даёт динамика суммарного индекса.

4.4 Индексы интенсивности циркуляции атмосферы Н.А. Белинского

При установлении индекса циркуляции атмосферы Белинский предложил исходить из производной циркуляции скорости по времени (формула 4.5) [14]:

$$\frac{dc}{dt} \cong v \int_a^b dp \cong v(b-a) = v\Delta p, \quad (4.5)$$

где $\frac{dc}{dt}$ – производная циркуляции скорости по времени вдоль контура антициклонической и циклонической кривизны; b – минимальная величина давления, при которой может прослеживаться кривизна антициклоническая, и максимальная – может прослеживаться кривизна циклоническая; a – величина давления в центре антициклона и циклона; v – удельный объём, постоянный коэффициент пропорциональности.

По малым площадям и по их сумме можно рассчитать индексы для антициклонической, общей и циклонической циркуляции. Рассчитываются для периодов и для отдельного дня.

Некоторые существенные недостатки имеют индексы Белинского. Например, в циклонах отсчёт давления ведётся от наибольшего наблюдающегося давления и в антициклонах – наименьшего. Ещё один из недостатков — это то, что в антициклонах и циклонах ведётся отсчёт от разных уровней. По причине того, что получаемый индекс в результате суммирования антициклонической и циклонической циркуляции не может отобразить изменений циркуляции, когда антициклонические и циклонические циркуляции равны по величине и направлены в одну сторону [14].

4.5 Индексы меридиональной, общей и зональной циркуляции атмосферы А.Л. Каца

В качестве индекса циркуляции атмосферы А.Л. Кац предложил принять в единичном слое удельный поток массы воздуха за единицу времени [10]. По формуле 4.6 рассчитываются зональный, общий и меридиональный индекс.

$$I = \frac{I_{\varphi}}{I_{\lambda}}, \quad (4.6)$$

Можно получить значения всех индексов с помощью простых подсчётов числа пересечений изобар с меридианами и параллелями для малых и больших площадей, для различных высот и уровня моря. Результат совокупного действия меридиональных и зональных составляющих циркуляции характеризует общий индекс. Индекс описывает, во сколько раз интенсивность меридиональной циркуляции меньше интенсивности зональной.

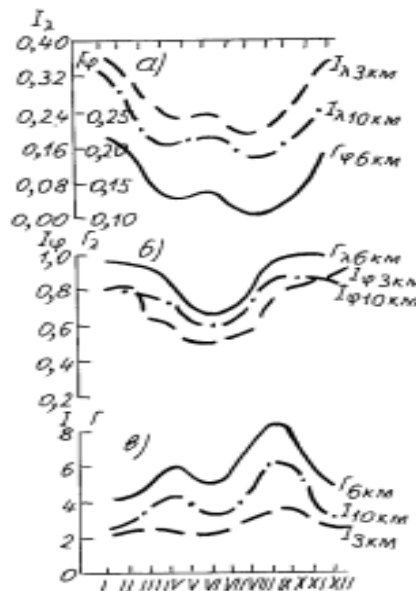


Рисунок 4.3 – Годовой ход индексов меридиональной (а), зональной (б), общей (в) циркуляции на уровнях 3 и 10 км в зоне 40-70°с.ш.

На рисунке 4.3 приведены изменения для меридиональных (I_{λ}) и зональных (I_{φ}) составляющих градиентов температуры для уровня 6 км среднего между ними. Аналогичным образом вычисляется зональная

составляющая и меридиональная составляющая градиента температуры по формуле 4.7:

$$\Gamma = \frac{\Gamma_{\varphi}}{\Gamma_{\lambda}}, \quad (4.7)$$

Заметить следующие особенности можно при рассмотрении на рисунке 4.4 годовой ход:

- 1) Выявляется основной минимум осенью, вторичный – весной, в ходе интенсивности меридиональной циркуляции. Вторичный максимум имеет место летом, основной – зимой.
- 2) Один максимум в ходе меридионального градиента температуры и зональной составляющей образуется зимой, минимум – летом.
- 3) Осенью и весной для развития зональной циркуляции создаются наиболее благоприятные условия, так как градиент температуры океан-материк максимально ослаблен и сильно выражен градиент полюс-экватор в данное время.

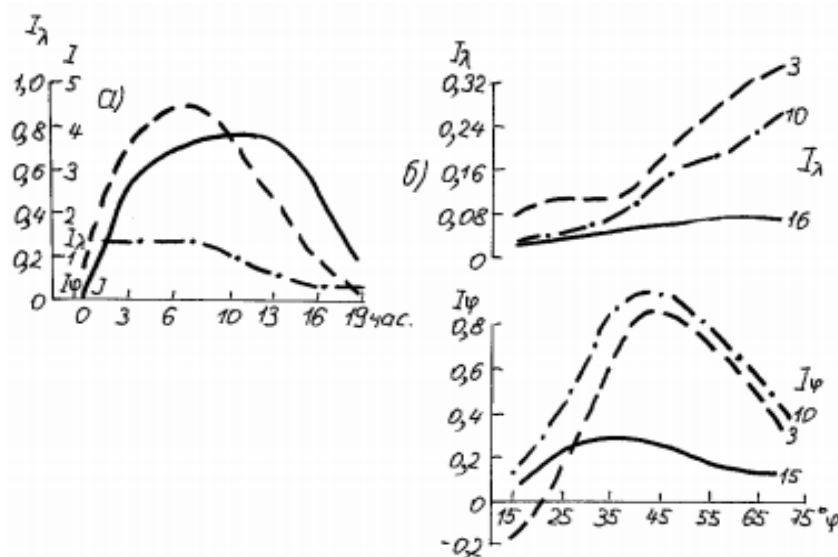


Рисунок 4.4 – Изменение по ширине (б) и по высоте (а) индексов средних годовых значений

До уровня 8 км с высотой изменяется меридиональная составляющая циркуляции, но резко уменьшается – выше, а вот зональная составляющая сильно убывает – выше, существенно возрастает до уровня 8 км.

По высоте мало изменяется интенсивность меридиональной составляющей в тропосфере, но с шириной изменяется – возрастает к северу. Обратную картину видим выше – в нижней стратосфере: с высотой для данной широты меридиональный обмен резко убывает, но мало изменяется по ширине [10].

5. Методика расчёта информативности индекса циркуляции А.Л. Каца

Для оценки изменения циркуляции во времени был рассмотрен временной промежуток с 1991 по 2021 год, который разделён на три периода: 1991-2001, 2002-2011 и 2012-2021 гг.

Областью исследования послужила циркуляция на территории Российской Федерации, а именно территория между 45° с.ш. – 75° с.ш. и 0° в.д. – 180° в.д.

В качестве исходных данных для работы были использованы данные реанализа NCEP/NCAR с разрешением, то есть шагом сетки $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ для изобарической поверхности 500 гПа.

Архив данных реанализа NCEP/NCAR $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ [<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.pressure.html>].

Для того, чтобы достичь поставленные цели исследования, данные реанализа с помощью CDO были преобразованы для обработки их в Fortran. Далее индекс циркуляции Каца был рассчитан для каждого узла сетки с помощью программы, написанной в Fortran.

Для начала необходимо провести расчёт градиента геопотенциала по сетке точек в каждом узле на высоте 500 гПа, что соответствует стандарту по А.Л. Кацу.

Рассмотрим по широте, что соответствует зональному индексу. Возьмём два узла рядом друг с другом по горизонтали. Если в левом узле значение больше, чем в правом узле, то значение интенсивности индекса циркуляции Каца положительное. В другом случае, в обратном – отрицательное.

Теперь рассмотрим по долготе, то есть меридиональный индекс. И возьмём два узла, где один находится под другим. Если значение верхнего узла больше значения нижнего, то значение индекса циркуляции Каца положительное. И отрицательное – в ином случае.

Такой анализ проводится каждого дня каждого месяца, затем значения осредняются по периодам: 1991-2001, 2002-2011 и 2012-2021 гг.

Далее в работе необходимо осреднить значения за три периода и посчитать отношение зональной и меридиональной форм циркуляции. И определить, в каком направлении движется воздушный поток, в широтном или долготном.

В качестве метода расчёта был выбран индекс А.Л. Каца (формула 5.1 и 5.2):

$$GR_{\lambda}(i, j) = \frac{H(i+1, j) - H(i-1, j)}{2d\lambda} \quad , \quad (5.1)$$

$$GR_{\varphi}(i, j) = \frac{H(i, j+1) - H(i, j-1)}{2d\varphi} \quad , \quad (5.2)$$

где $d\lambda = d\varphi = 2,5^\circ$ на сетке точек (рисунок 5.1), GR_{λ} – градиент широты, GR_{φ} – градиент долготы, H – геопотенциал, i и j – количество точек в горизонтальном и вертикальном направлениях.

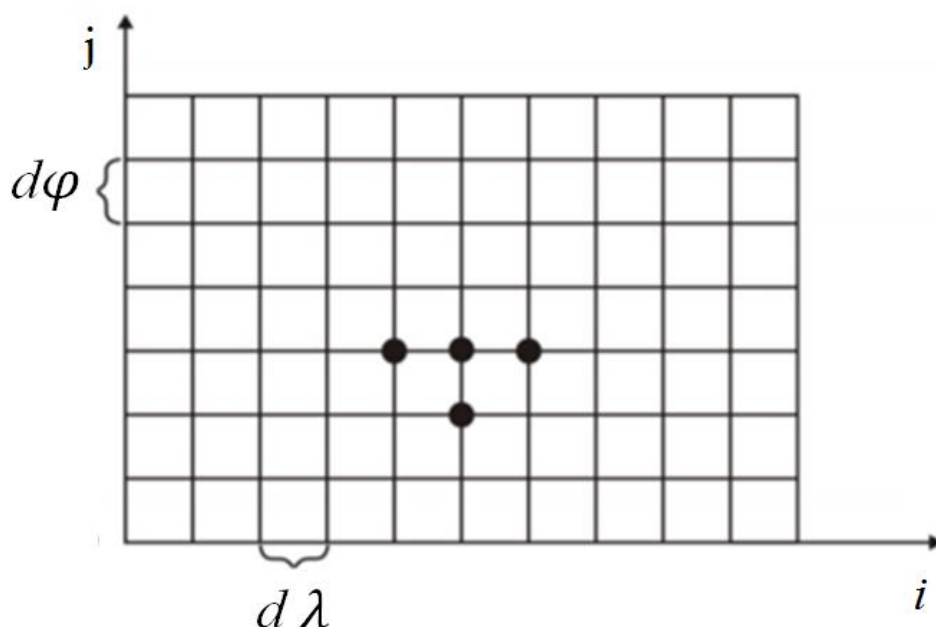


Рисунок 5.1 – Сетка точек

Все результаты визуализировались с помощью Open Grads.

Полученные результаты изменений циркуляции были сопоставлены с изменениями температуры в Арктике, полученными в результате исследования Струниной А.А.

На рисунке 5.2 представлен коэффициент линейного тренда для декабря. Значимые коэффициенты тренда обозначены розовым и красным цветами. Тренд на увеличение температуры выше всего в Дальневосточном секторе и в Восточном секторе восточной Сибири. В западной Сибири тренд на увеличение температуры не прослеживается.

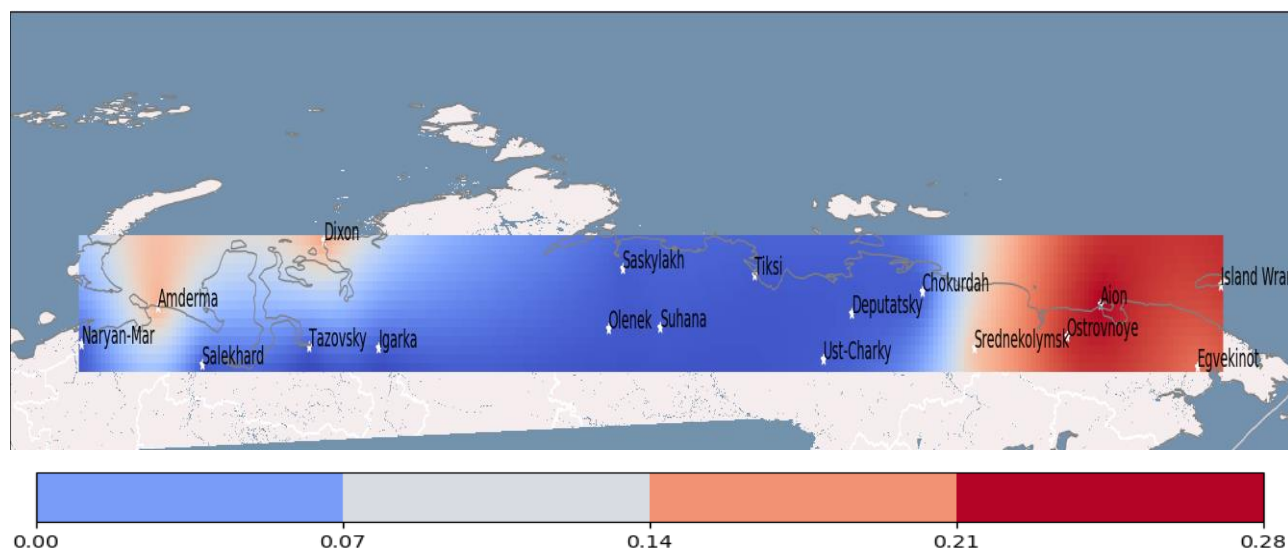
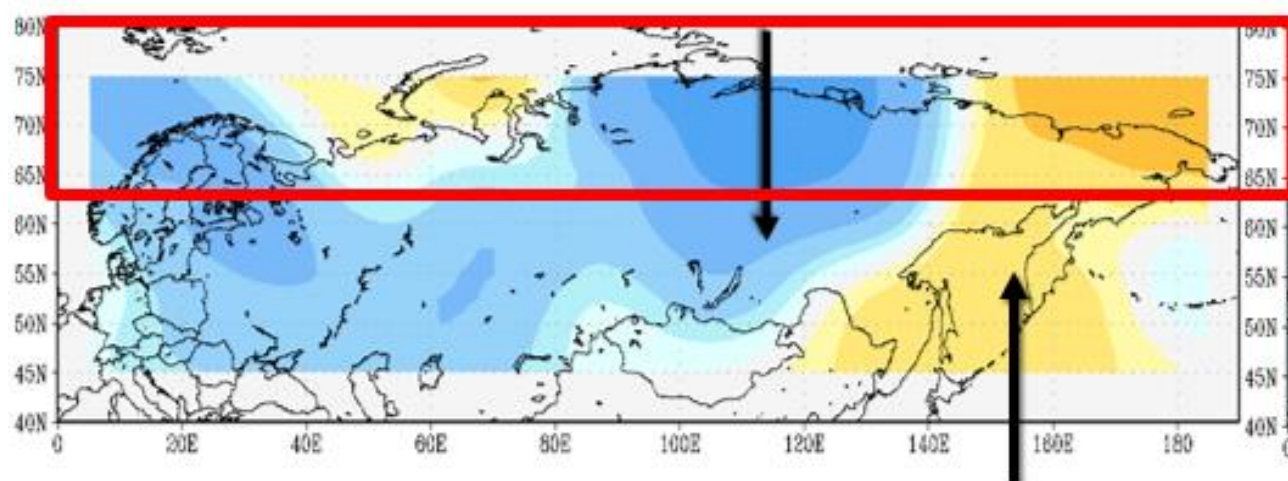


Рисунок 5.2 - Коэффициент линейного тренда температуры в декабре



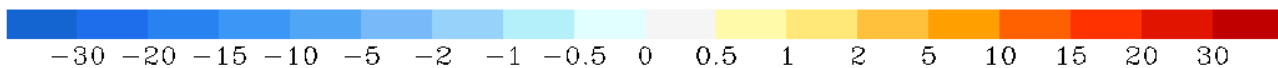


Рисунок 5.3 - Меридиональная форма циркуляции (декабрь) 1991-2001гг.

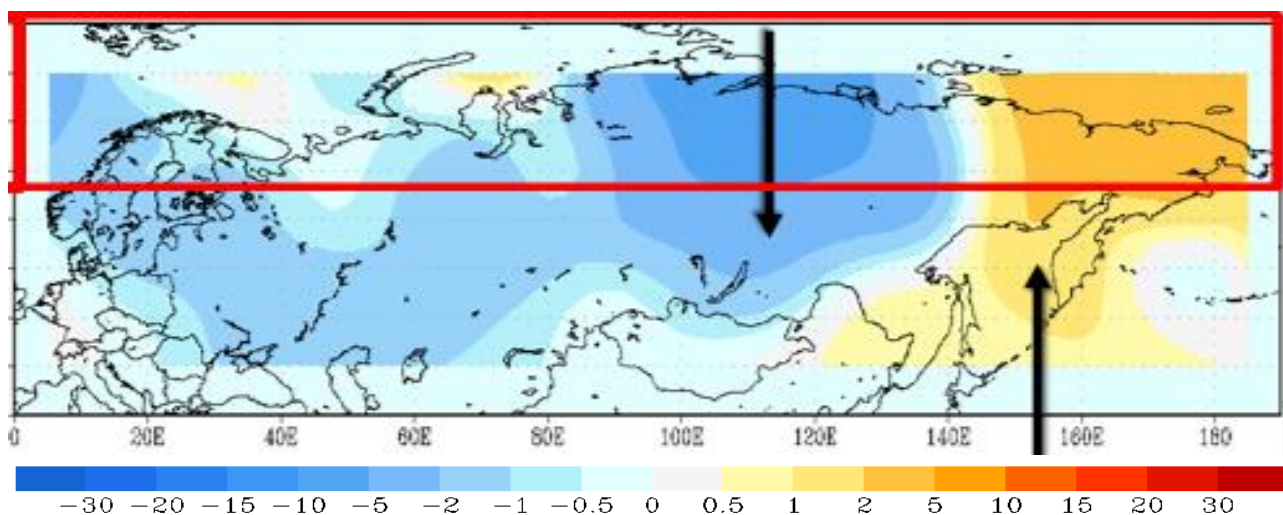


Рисунок 5.4 - Меридиональная форма циркуляции (декабрь) 2002-2011гг.

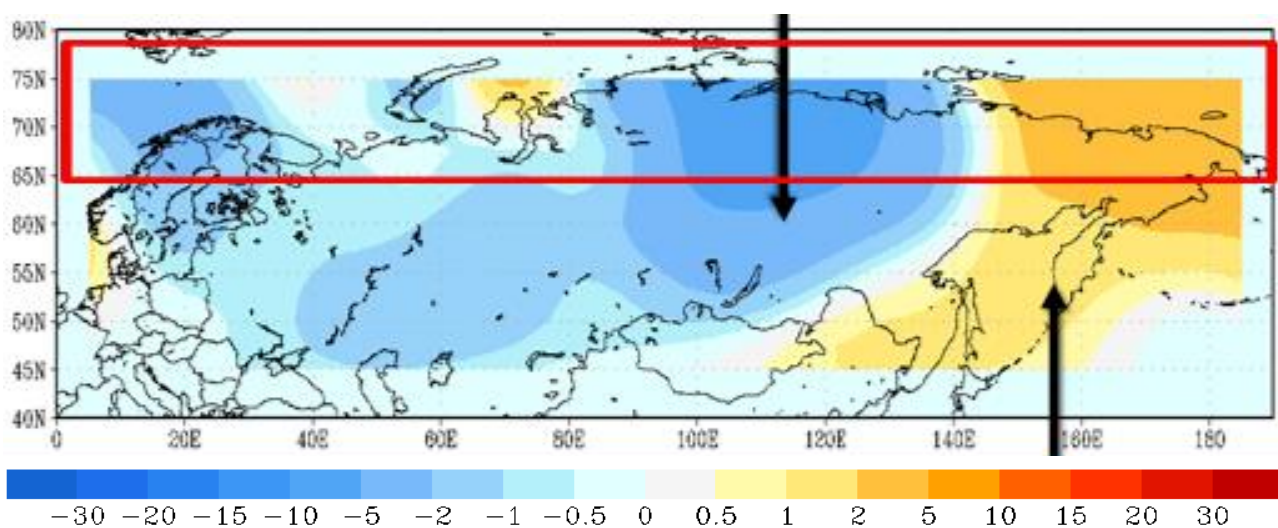


Рисунок 5.5 - Меридиональная форма циркуляции (декабрь) 2012-2021гг.

Рассмотрим меридиональные формы циркуляции для декабря (рисунок 5.3, 5.4 и 5.5). Видим, что изначально в первом десятилетии наблюдалось два очага с положительной и отрицательной интенсивностью индекса Каца. И лишь немного прослеживался отрицательный очаг в левом верхнем углу картинки в районе Норвежского моря. Далее смотрим на последующие два десятилетия и заметим, что отрицательный очаг у Норвежского моря увеличился по площади, но не по интенсивности. Положительный очаг на Дальнем востоке увеличился

по интенсивности и по площади. Отрицательный очаг над Сибирью практически не поменял своей интенсивности и площади за три периода.

Рассматриваются меридиональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с севера, а с юга – если очаг оранжевый.

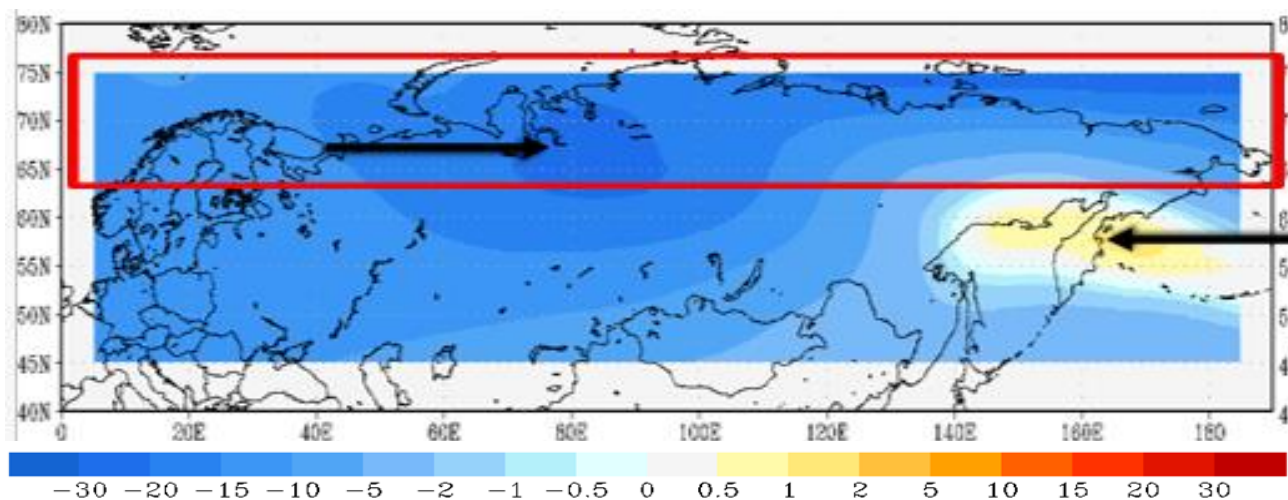


Рисунок 5.6 - Зональная форма циркуляции (декабрь) 1991-2001гг.

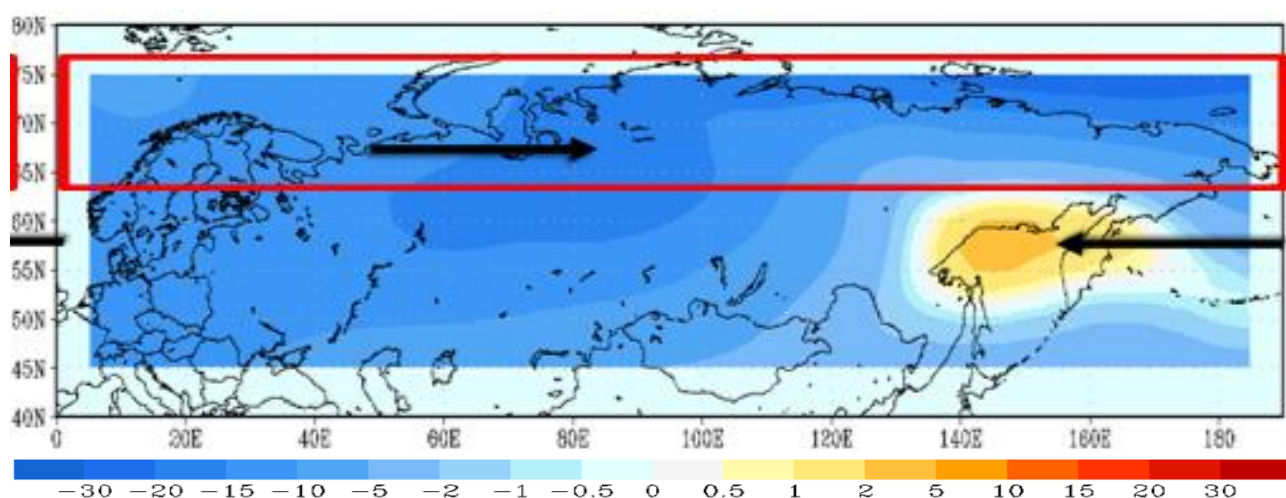
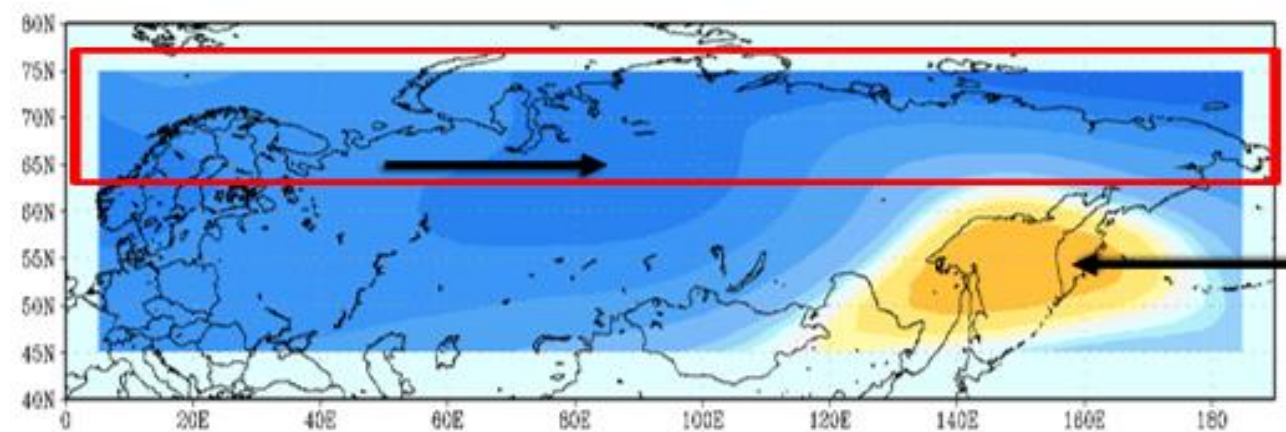


Рисунок 5.7 - Зональная форма циркуляции (декабрь) 2002-2011гг.



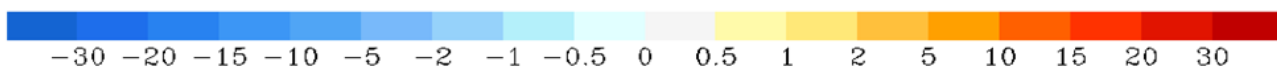


Рисунок 5.8 -Зональная форма циркуляции (декабрь) 2012-2021гг.

Рассмотрим индекс по широте (рисунок 5.6, 5.7 и 5.8). Видим, что два очага как было, так и есть. Смотрим за последние 10 лет, увеличилась интенсивность и увеличилась территория очага с положительной интенсивностью индекса Каца.

Уменьшение происходит отрицательного очага по интенсивности и по площади. Но всё равно происходит увеличение зонального переноса.

Рассматриваются зональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с запада, а с востока – если очаг оранжевый.

В декабре на всей исследуемой территории возросла зональность и меридиональность процессов.

Для того, чтобы проанализировать преобладание тех или иных форм циркуляции, был рассчитан, так называемый, общий индекс Каца. То есть по модулю делили зональный индекс циркуляции Каца на меридиональный (формула 5.3)

$$I_{\text{общ.}} = \frac{I_z}{I_M}, \quad (5.3)$$

где, I_M – меридиональный индекс циркуляции Каца, I_z – зональный индекс циркуляции Каца, $I_{\text{общ.}}$ – общий индекс циркуляции Каца.

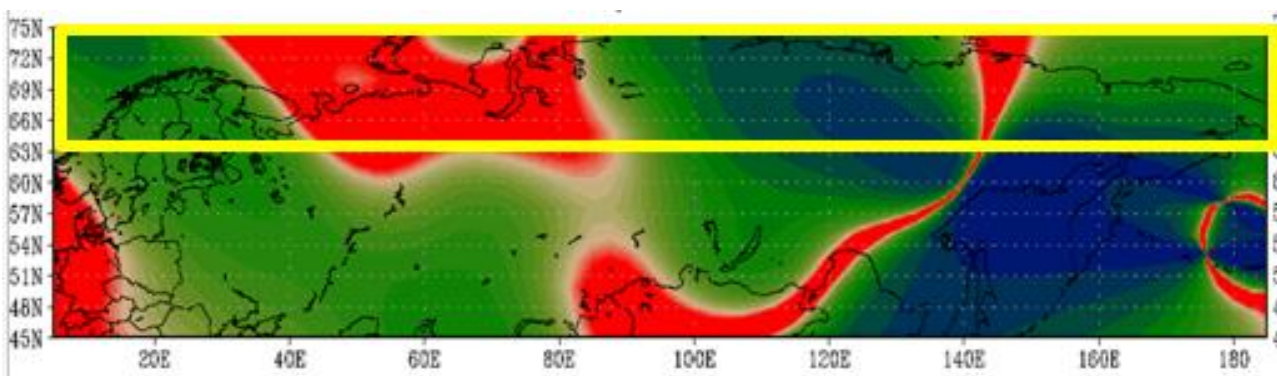




Рисунок 5.9 – Общий индекс циркуляции Каца (декабрь) 1991-2001 гг.

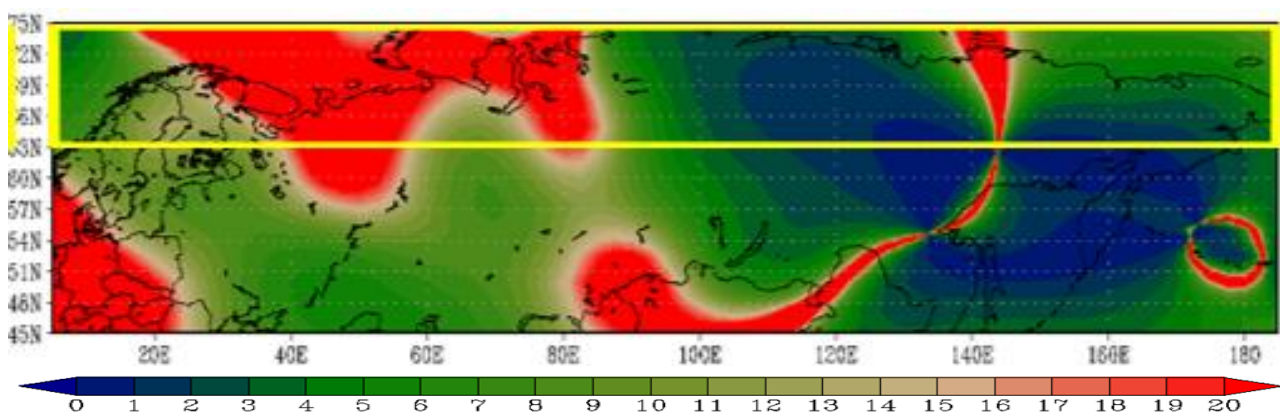


Рисунок 5.10 – Общий индекс циркуляции Каца (декабрь) 2002-2011 гг.

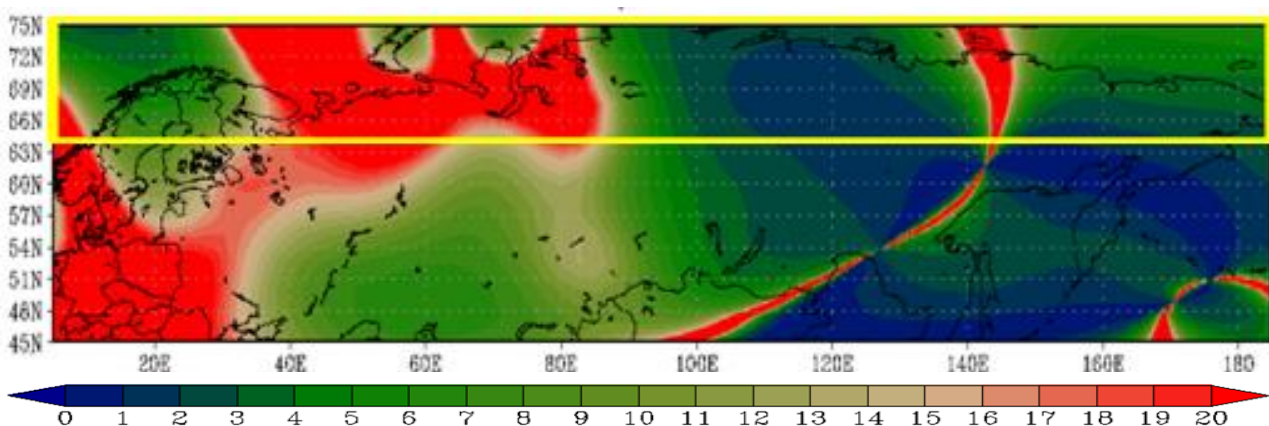


Рисунок 5.11 – Общий индекс циркуляции Каца (декабрь) 2012-2021 гг.

Интересующий регион Арктики обозначен жёлтым цветом (рисунок 5.9, 5.10 и 5.11). Но расчёты проводились по всей территории. Там, где значения меньше единицы, выделены тёмным синим цветом: здесь преобладает меридиональная циркуляция. Во всех остальных случаях – это преобладание зональной циркуляции, но с различной интенсивностью. Наиболее интенсивна она при красном цвете.

В общем, зональная циркуляция преобладает, что подтверждает достоверность наших исследований. Меридиональная циркуляция прослеживается только на востоке территории и можем увидеть её усиление от десятилетия к десятилетию. Это говорит о том, что перестройка форм

циркуляции происходит на востоке территории. Если говорить о севере и западе территории, то усиливаются зональные потоки. То есть на этих территориях усиливается влияние Атлантики, а именно за счёт влияния Северо-Атлантического колебания.

Таким образом, можно предположить, что изменение температуры на ЕТР вплоть до Уральских гор связано с Северо-Атлантическим колебанием, а восток территории подвержен влиянию Тихого океана и меридиональных форм переноса, а также затоков с юга. Центральная часть меняется достаточно слабо. Здесь изменения в циркуляции практически отсутствуют.

На рисунке 5.12 представлен коэффициент линейного тренда для января. Значимые коэффициенты тренда обозначены розовым и красным цветами. Тренд на увеличение температуры выше всего в Дальневосточном регионе. В западной Сибири тренд на увеличение температуры не наблюдается.

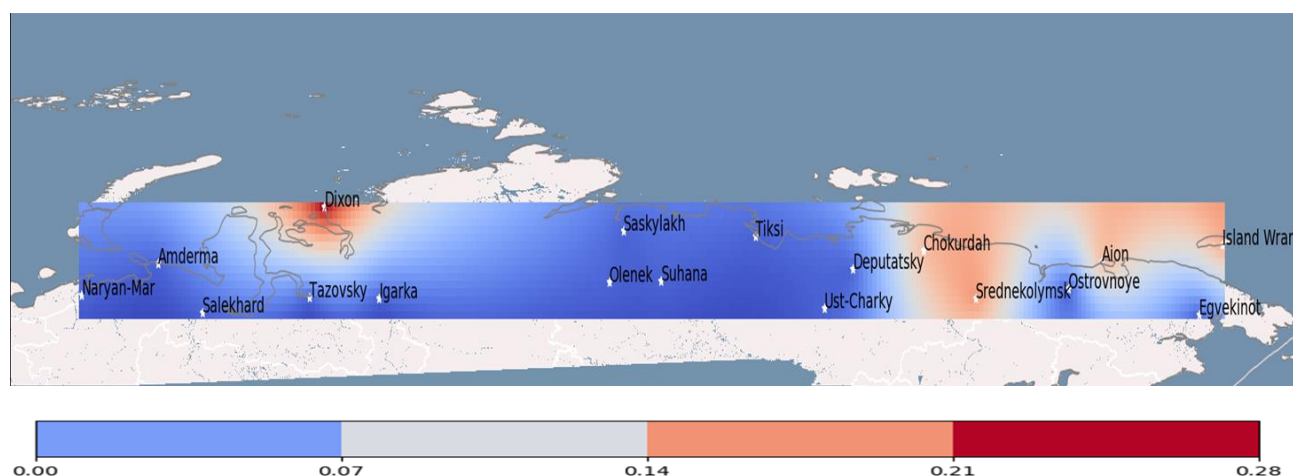
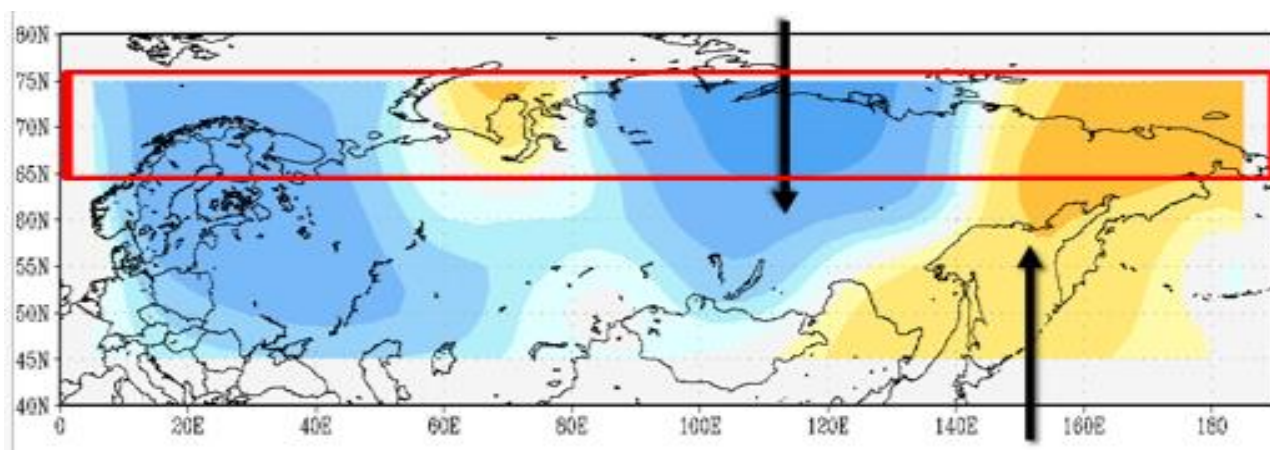


Рисунок 5.12 - Коэффициент линейного тренда температуры в январе



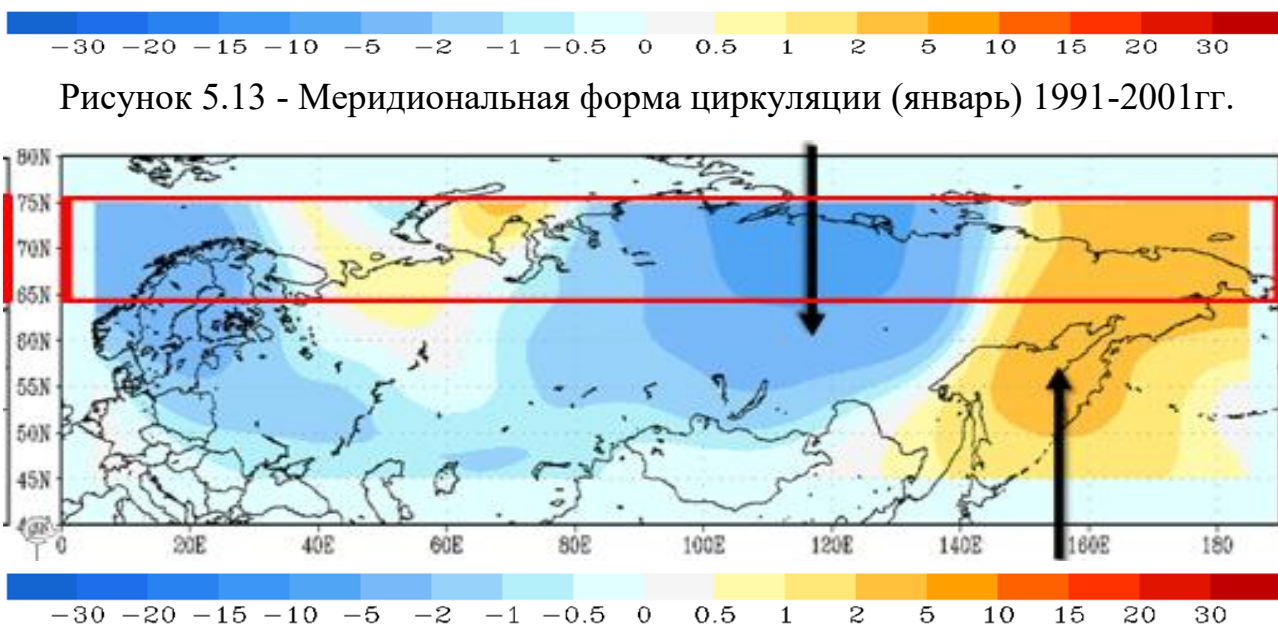


Рисунок 5.13 - Меридиональная форма циркуляции (январь) 1991-2001гг.

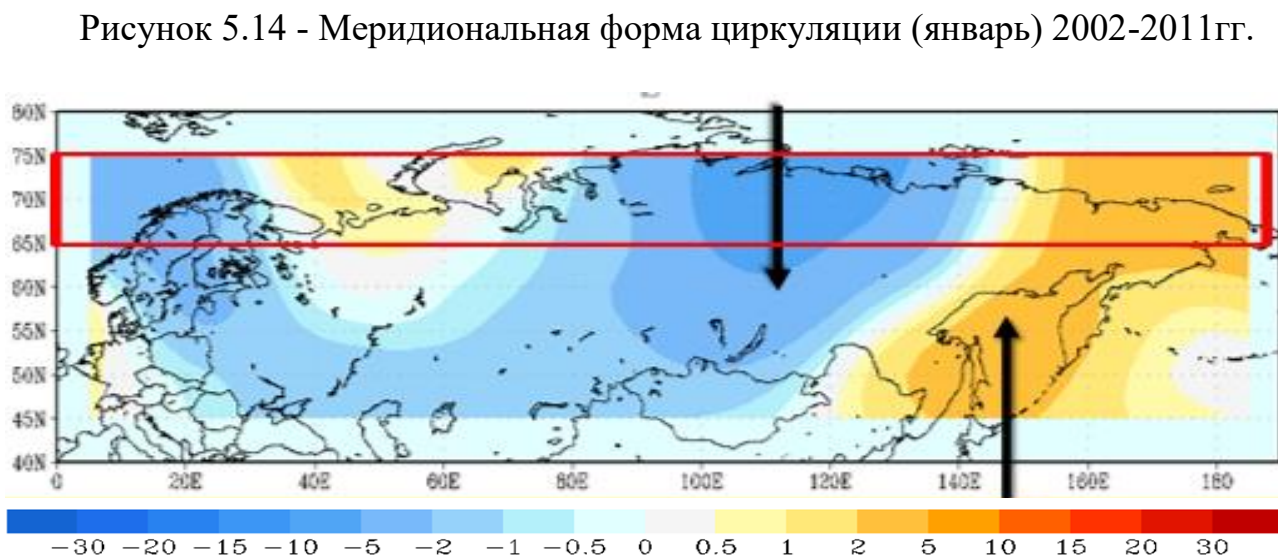


Рисунок 5.14 - Меридиональная форма циркуляции (январь) 2002-2011гг.

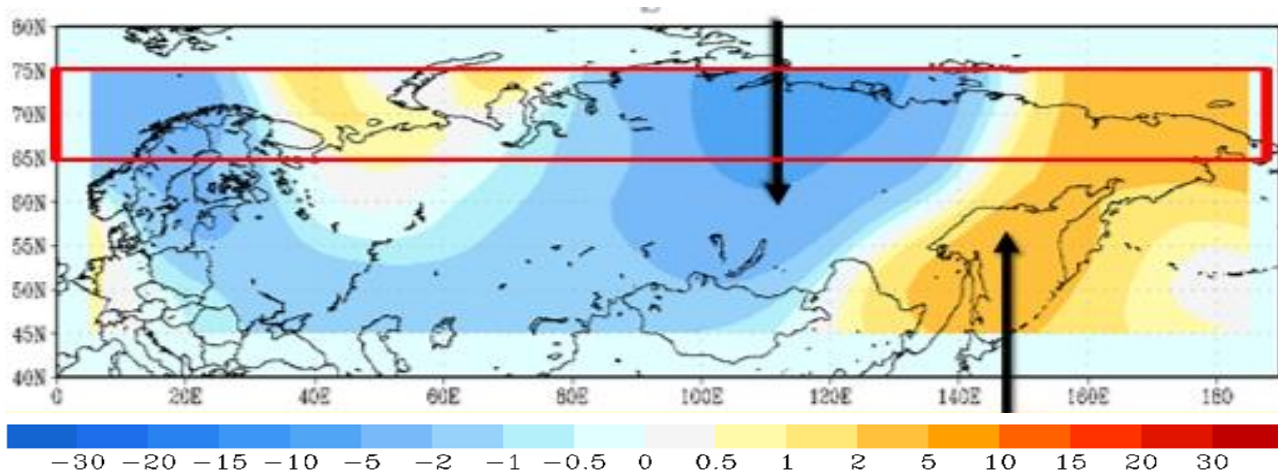


Рисунок 5.15 - Меридиональная форма циркуляции (январь) 2012-2021гг

Рассмотрим меридиональные формы циркуляции для января (рисунок 5.13, 5.14 и 5.15). Видим, что изначально в первом десятилетии наблюдалось два очага с положительной и отрицательной интенсивностью индекса Каца. Далее на последующих двух десятилетиях видно, что отрицательный очаг у Норвежского моря увеличился по площади, но не по интенсивности. Положительный очаг на Дальнем востоке увеличился по интенсивности и по площади. Отрицательный очаг над Сибирью практически не поменял своей интенсивности и площади за три периода.

Рассматриваются меридиональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с севера, а с юга – если очаг оранжевый.

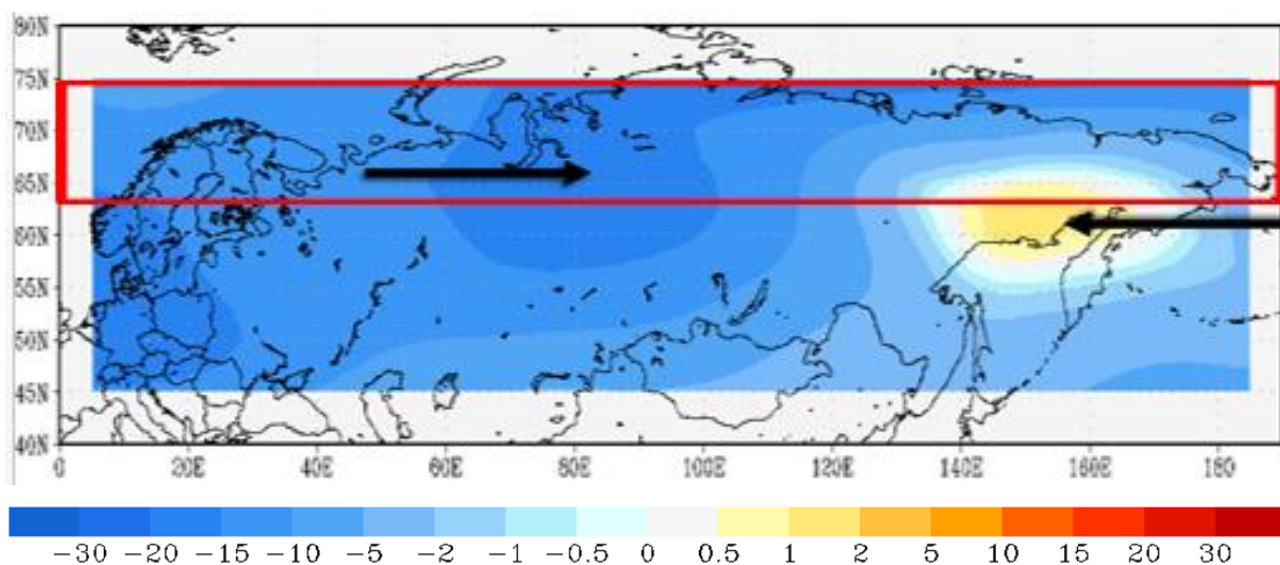


Рисунок 5.16 - Зональная форма циркуляции (январь) 1991-2001гг.

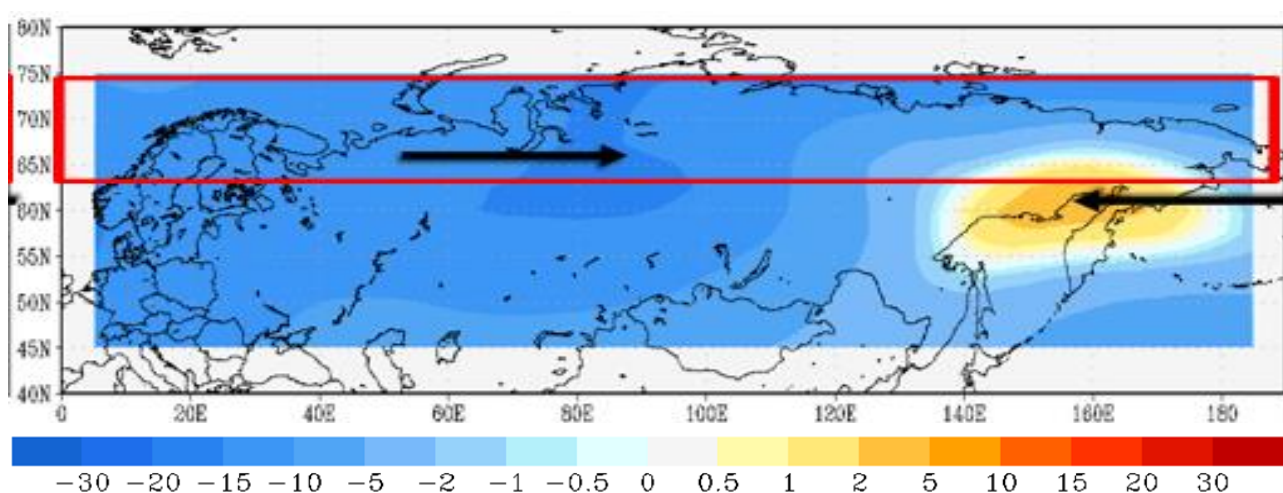
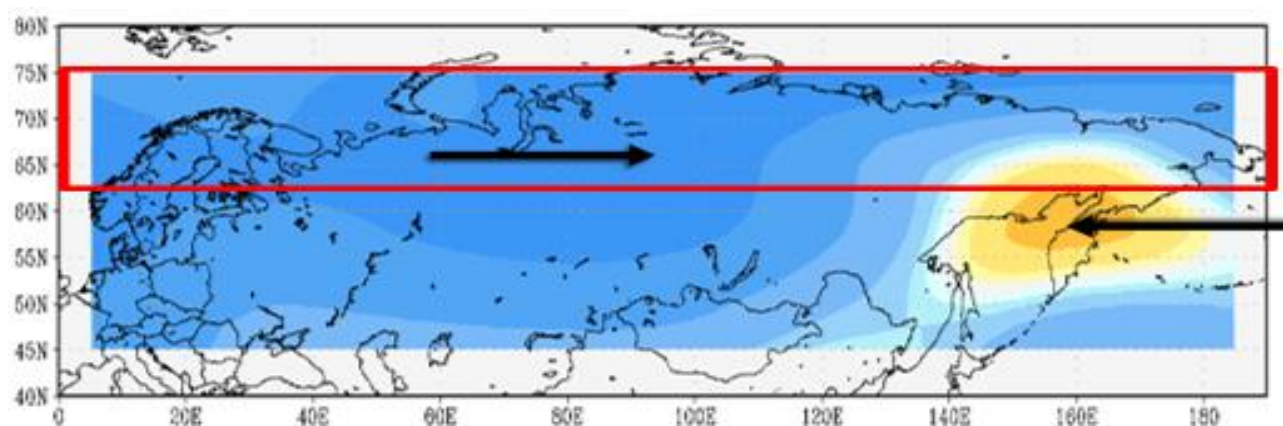


Рисунок 5.17 - Зональная форма циркуляции (январь) 2002-2011гг.



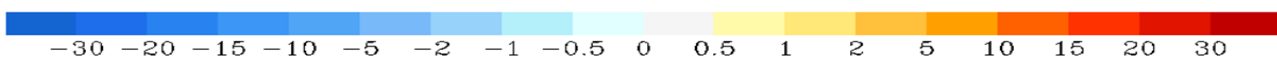


Рисунок 5.18 - Зональная форма циркуляции (январь) 2012-2021гг.

Рассмотрим индекс по широте (рисунок 5.16, 5.17 и 5.18). Видим, что два очага как было, так и есть. При этом за последние 10 лет, увеличилась интенсивность и увеличилась территория очага с положительной интенсивностью индекса Каца. Уменьшение происходит отрицательного очага по интенсивности и по площади. Однако при этом всё равно происходит увеличение зонального переноса.

Рассматриваются зональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с запада, а с востока – если очаг оранжевый.

В январе на всей исследуемой территории возросла зональность и меридиональность процессов.

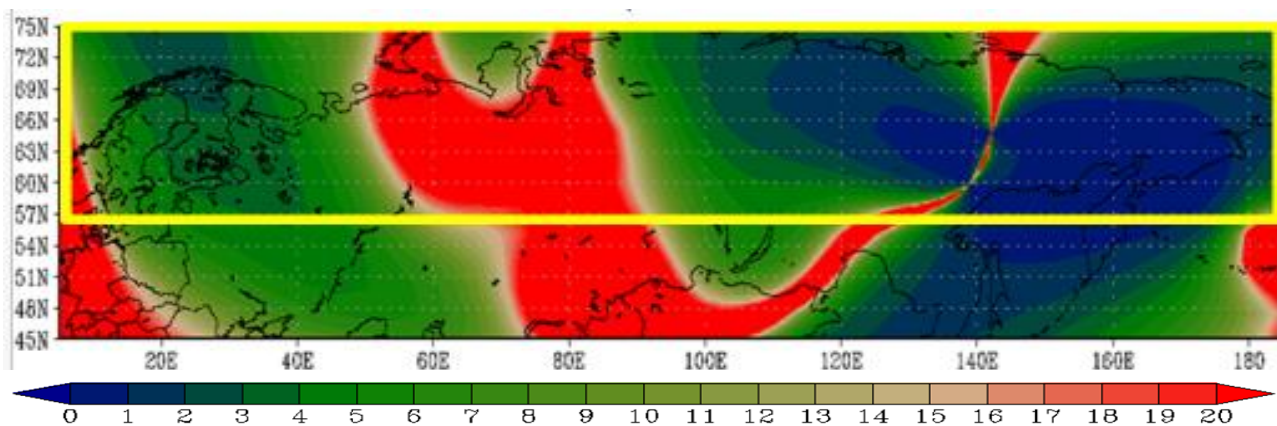


Рисунок 5.19 – Общий индекс циркуляции Каца (январь) 1991-2001 гг.

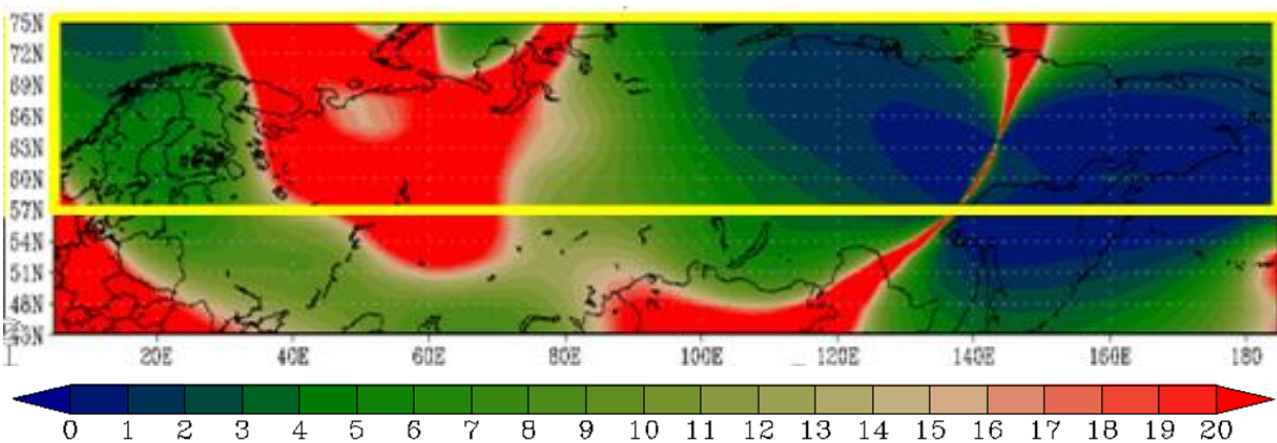


Рисунок 5.20 – Общий индекс циркуляции Каца (январь) 2002-2011 гг.

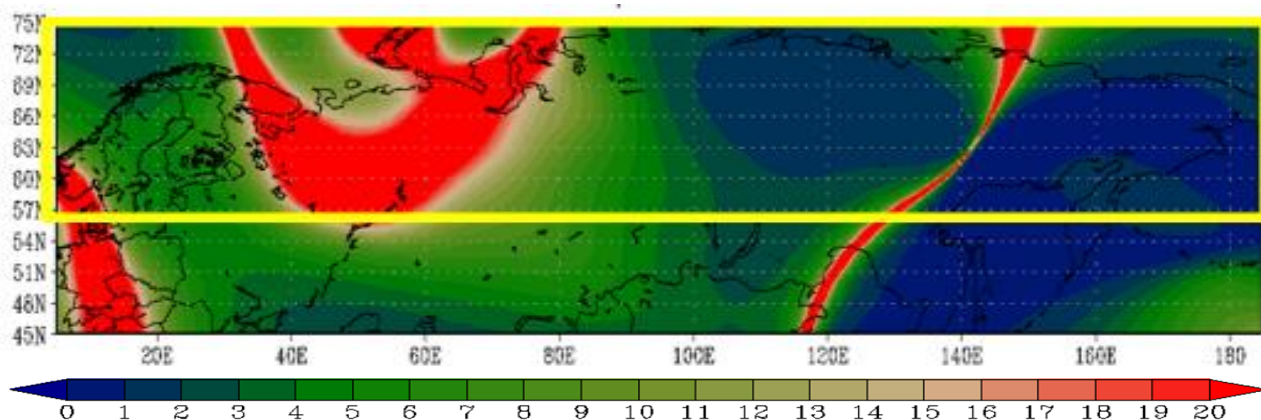


Рисунок 5.21 – Общий индекс циркуляции Каца (январь) 2012-2021 гг.

Интересующий регион обозначен жёлтым цветом (рисунок 5.19, 5.20 и 5.21). Там, где значения меньше единицы, выделены тёмным синим цветом, здесь преобладает меридиональная циркуляция. Во всех остальных случаях – это преобладание зональной циркуляции, но с различной интенсивностью. Наиболее интенсивно при красном цвете.

В общем, зональная циркуляция преобладает, что подтверждает достоверность наших исследований. Меридиональная циркуляция прослеживается только на востоке территории, можно увидеть усиление её интенсивности и площади от десятилетия к десятилетию. Это говорит о том, что перестройка форм циркуляции происходит на востоке территории. Если говорить о севере и западе территории, то усиливаются зональные потоки по площади, а по интенсивности – уменьшаются. То есть на этих территориях усиливается влияние Атлантики, а именно за счёт влияния Северо-Атлантического колебания.

Таким образом, можно заключить, что изменение температуры территории на западе и севере до Уральских гор связано с Северо-Атлантическим колебанием, а восток территории подвержен влиянию Тихого океана и меридиональных форм переноса, затоков с юга. Центральная часть меняется достаточно слабо. Здесь изменения в циркуляции практически отсутствуют.

Следующим рассмотрим февраль.

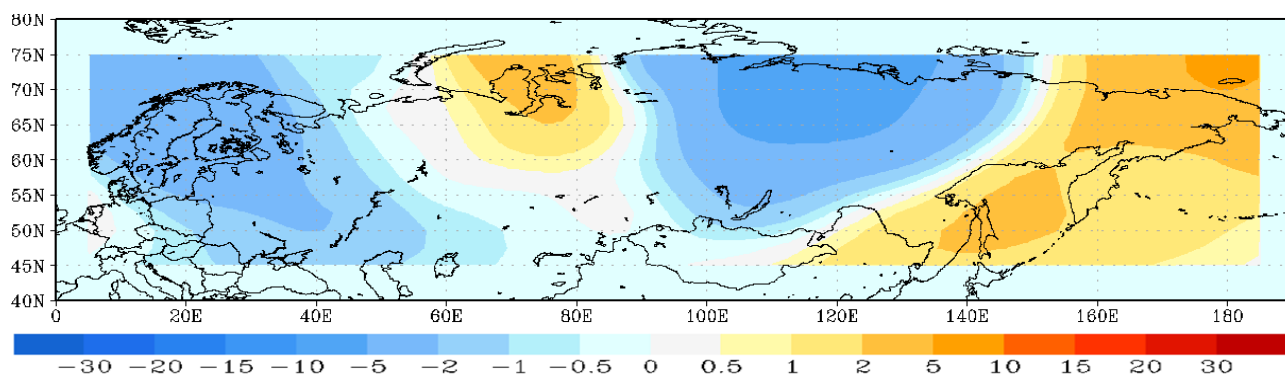


Рисунок 5.22 - Меридиональная форма циркуляции (февраль) 1991-2001 гг.

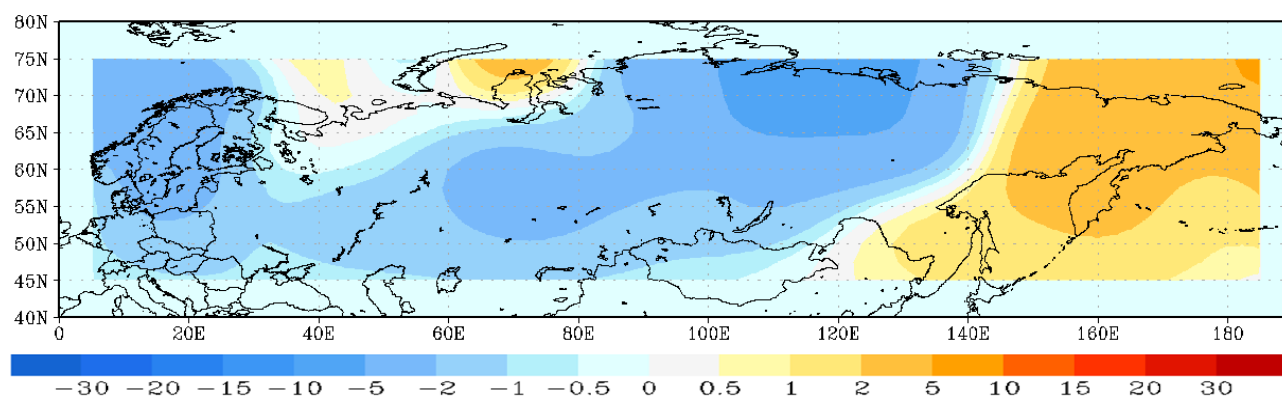


Рисунок 5.23 - Меридиональная форма циркуляции (февраль) 2002-2011 гг.

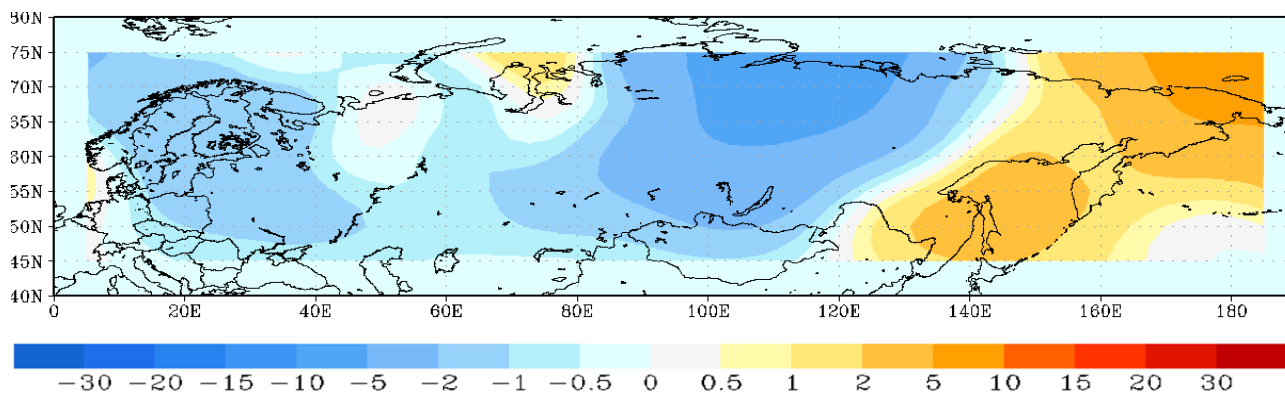


Рисунок 5.24 - Меридиональная форма циркуляции (февраль) 2012-2021 гг.

Рассмотрим меридиональные формы циркуляции для февраля (рисунок 5.22, 5.23 и 5.24). Видим, что изначально в первом десятилетии наблюдалось два очага с положительной и отрицательной интенсивностью индекса Каца. Далее смотрим на последующие два десятилетия и заметим отрицательный очаг над Сибирью уменьшился по площади и по интенсивности. Положительный очаг на Дальнем востоке уменьшился по интенсивности и по площади.

Отрицательный очаг над Скандинавией уменьшился по интенсивности за три периода.

Рассматриваются меридиональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с севера, а с юга – если очаг оранжевый.

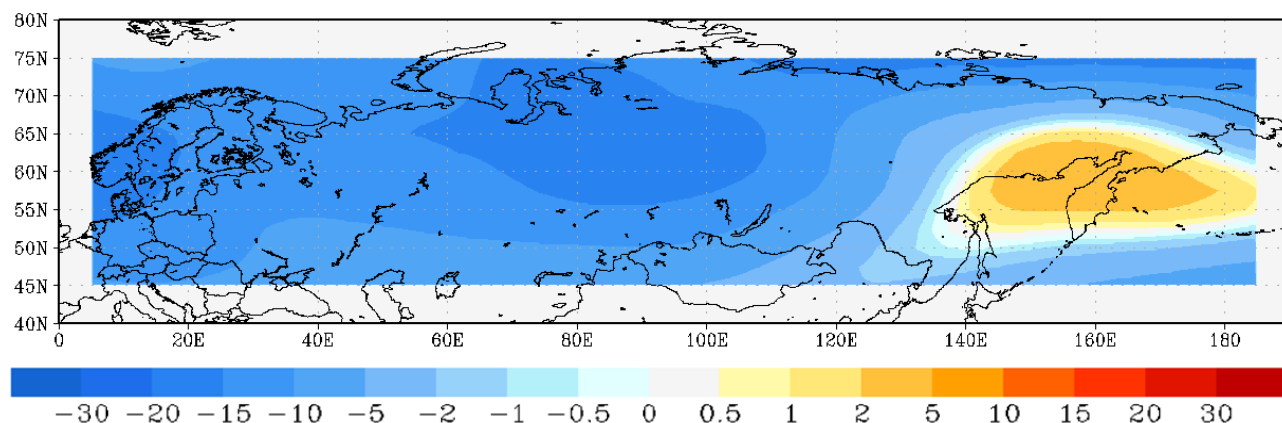


Рисунок 5.25 - Зональная форма циркуляции (февраль) 1991-2001гг.

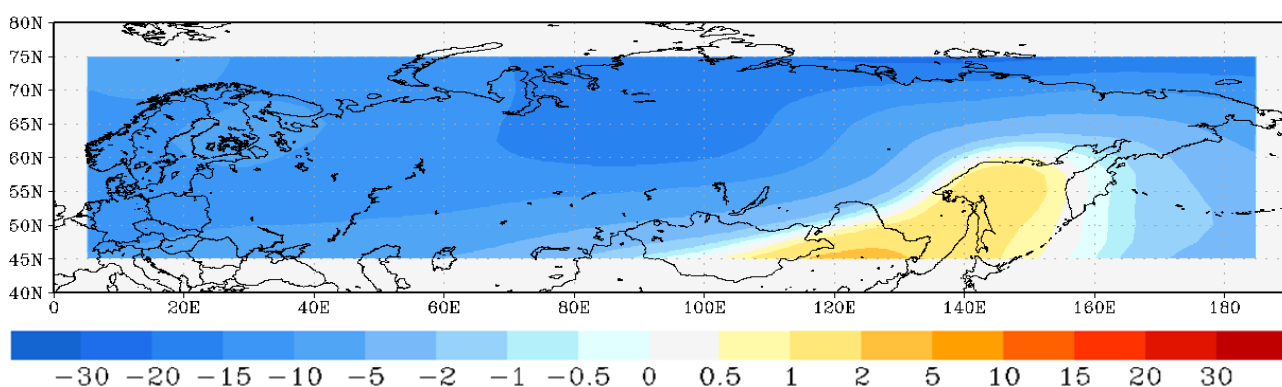


Рисунок 5.26 - Зональная форма циркуляции (февраль) 2002-2011гг.

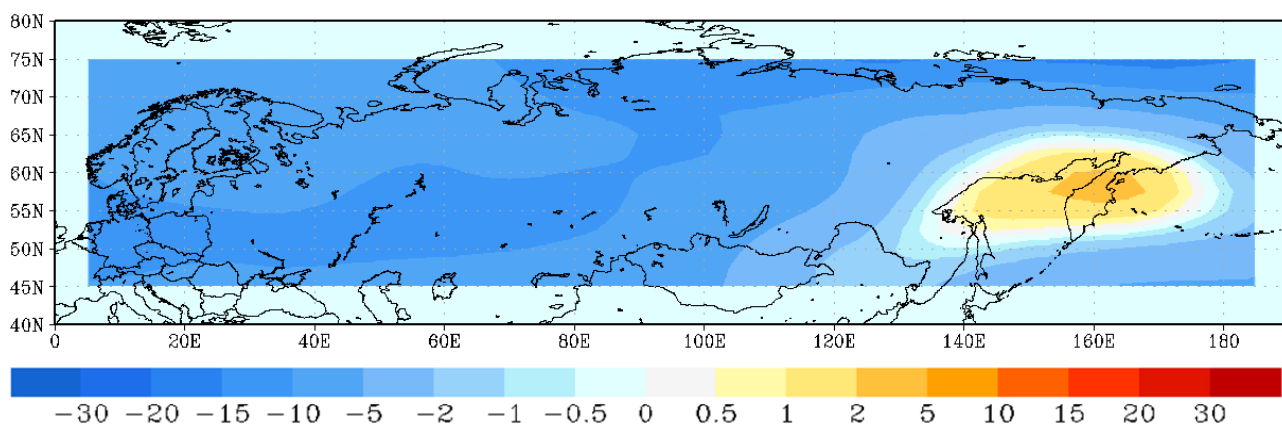


Рисунок 5.27 - Зональная форма циркуляции (февраль) 2012-2021гг.

Рассмотрим индекс по широте (рисунок 5.25, 5.26 и 5.27). Видим, что два очага как было, так и есть. При этом за последние 10 лет, уменьшилась интенсивность и территория очага с положительным значением интенсивности индекса Каца. Уменьшение происходит отрицательного очага по интенсивности и по площади. Но всё равно происходит увеличение зонального переноса.

Рассматриваются зональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с запада, а с востока – если очаг оранжевый.

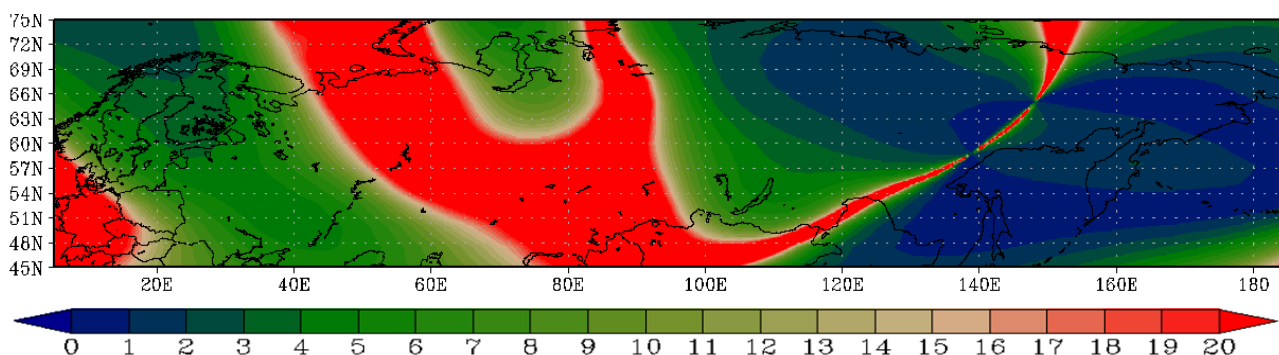


Рисунок 5.28 – Общий индекс циркуляции Каца (февраль) 1991-2001 гг.

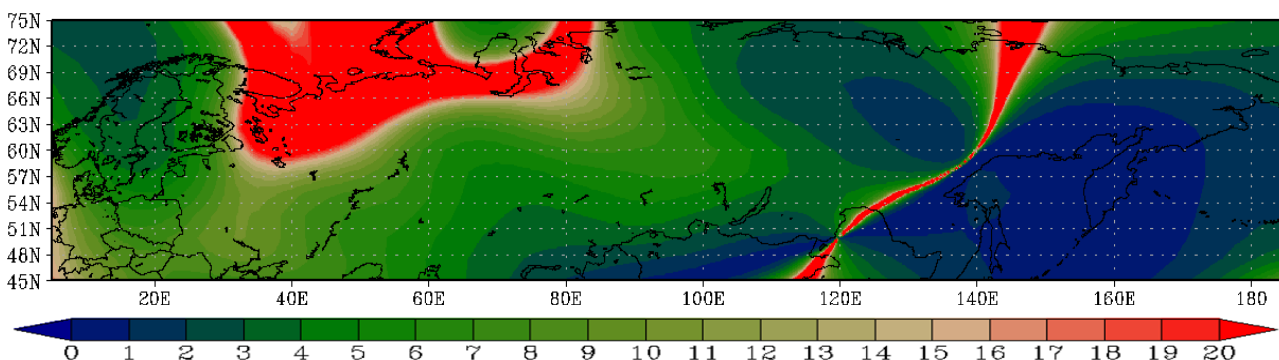


Рисунок 5.29 – Общий индекс циркуляции Каца (февраль) 2002-2011 гг.

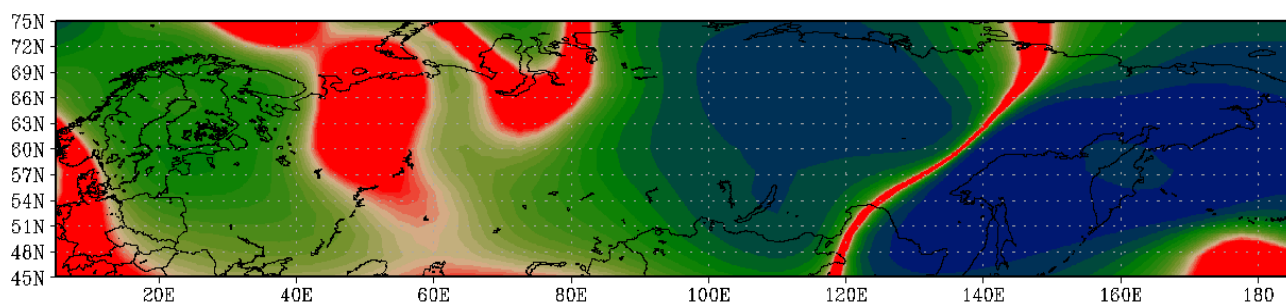




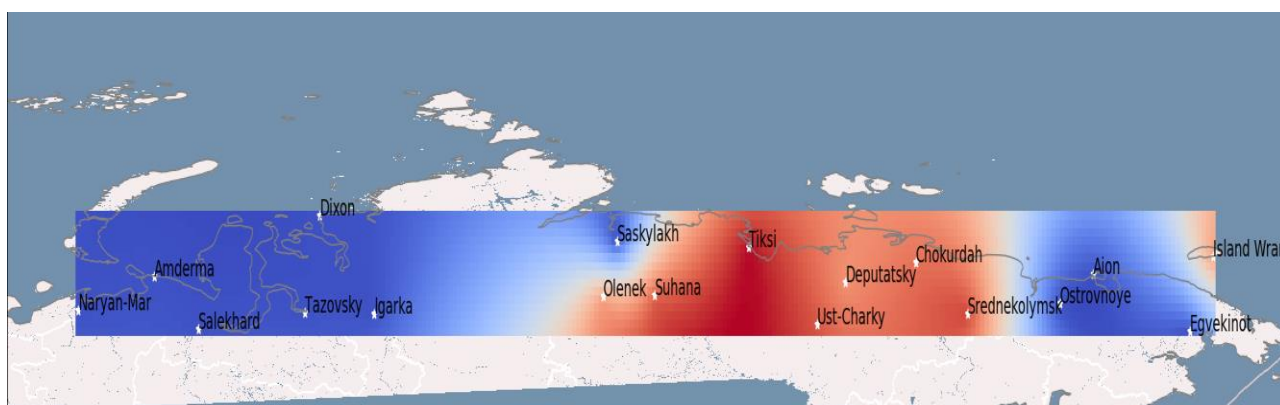
Рисунок 5.30 – Общий индекс циркуляции Каца (февраль) 2012-2021 гг.

Там, где значения меньше единицы, выделены тёмным синим цветом (рисунок 5.28, 5.29 и 5.30). Преобладает меридиональная циркуляция. Во всех остальных случаях – это преобладание зональной циркуляции, но с различной интенсивностью. Наиболее интенсивно при красном цвете.

В общем, зональная циркуляция преобладает, что подтверждает достоверность наших исследований. Меридиональная циркуляция прослеживается только на востоке территории и можем увидеть усиление её интенсивности и площади от десятилетия к десятилетию. Это говорит о том, что перестройка форм циркуляции происходит на востоке территории. Если говорить о севере и западе территории, то усиливаются зональные потоки по площади, а по интенсивности – уменьшаются. То есть на этих территориях усиливается влияние Атлантики, а именно за счёт влияния Северо-Атлантического колебания.

Таким образом, можно заключить, что изменение температуры территории на западе и севере до Уральских гор связано с Северо-Атлантическим колебанием, а восток территории подвержен влиянию Тихого океана и меридиональных форм переноса, затоков с юга. Центральная часть меняется достаточно слабо. Здесь изменения в циркуляции практически отсутствуют.

Далее рассмотрим март.



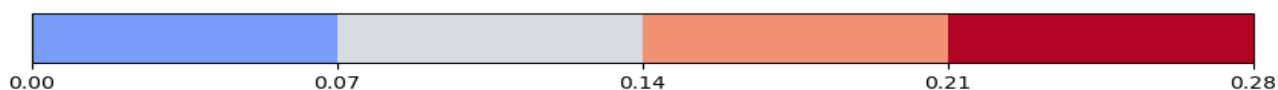


Рисунок 5.31 – Коэффициент линейного тренда температуры в марте

На рисунке 5.31 представлен коэффициент линейного тренда для марта. Значимые коэффициенты тренда обозначены розовым и красным цветами. Тренд на увеличение температуры выше всего над Сибирью.

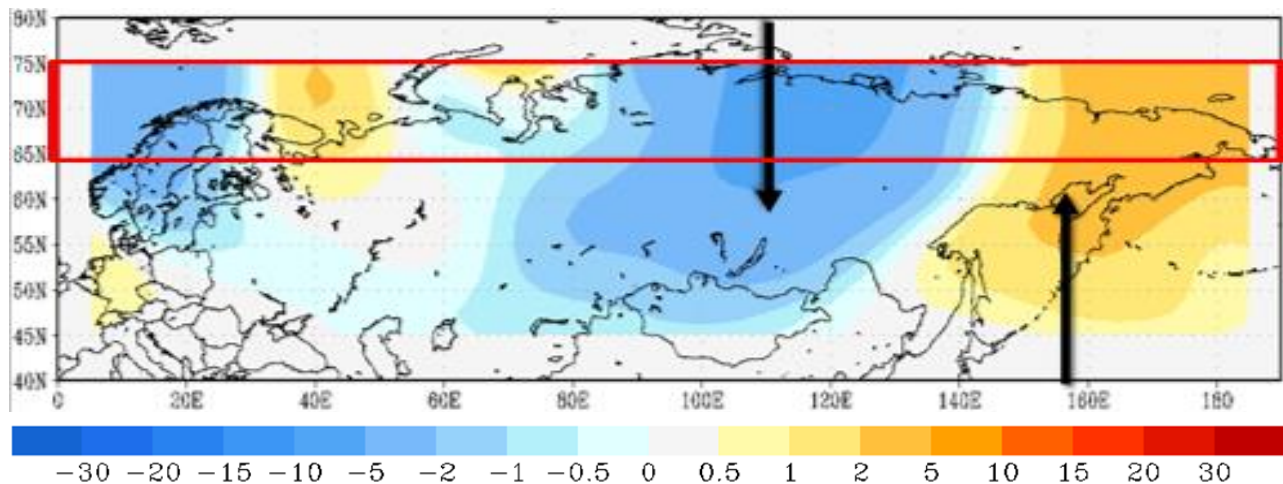


Рисунок 5.32 - Меридиональная форма циркуляции (март) 1991-2001 гг.

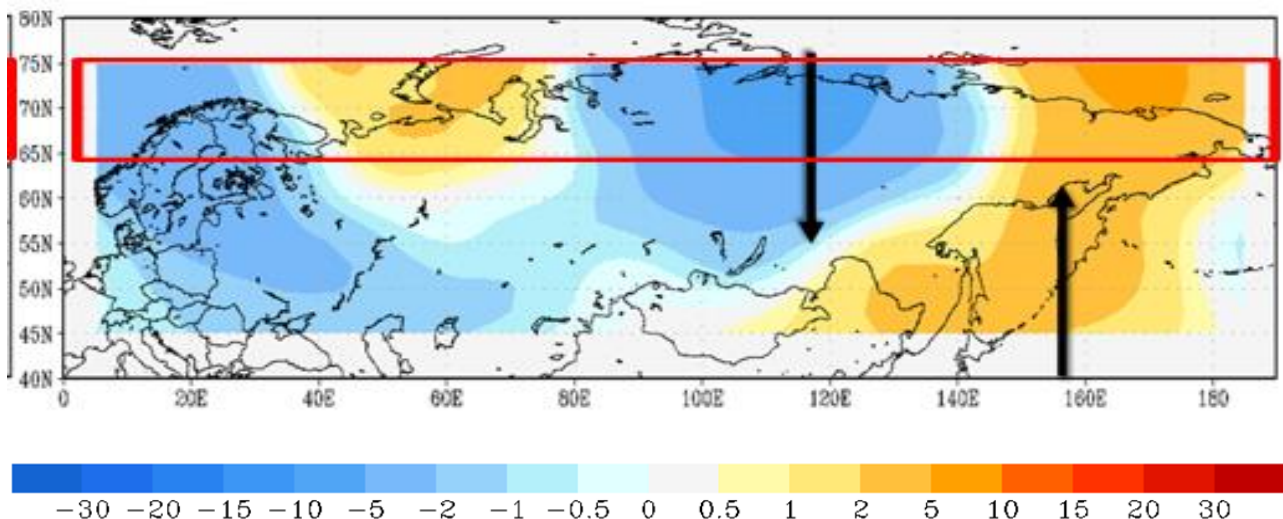


Рисунок 5.33 - Меридиональная форма циркуляции (март) 2002-2011 гг.

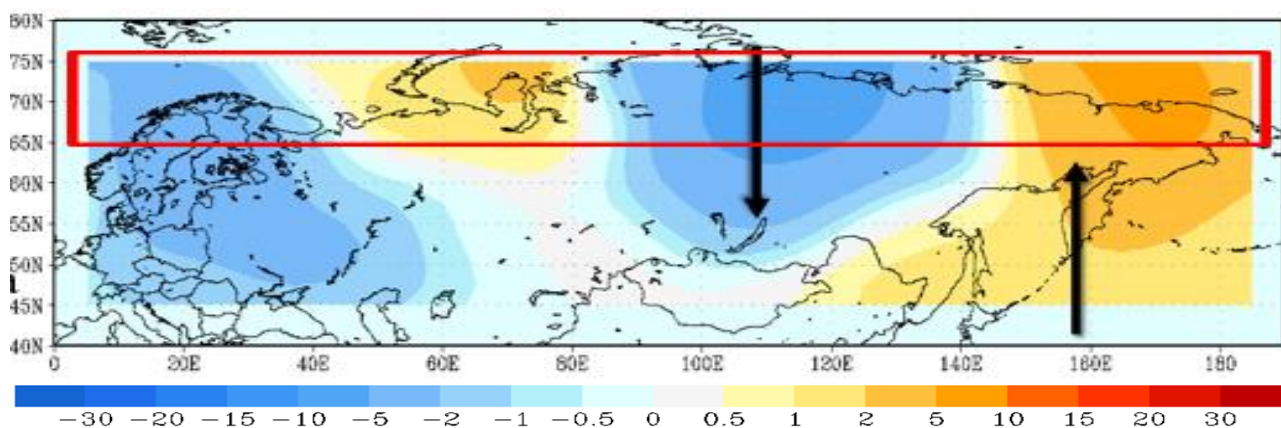


Рисунок 5.34 - Меридиональная форма циркуляции (март) 2012-2021гг.

Рассмотрим меридиональные формы циркуляции для марта (рисунок 5.32, 5.33 и 5.34). Видим, что изначально в первом десятилетии наблюдалось два очага с положительной и отрицательной интенсивностью индекса Каца. Далее смотрим на последующие два десятилетия и заметим отрицательный очаг над Сибирью уменьшился по площади, но не по интенсивности. Положительный очаг на Дальнем востоке уменьшился по интенсивности, но не по площади. Отрицательный очаг над Скандинавией увеличился по площади и по интенсивности за три периода.

Рассматриваются меридиональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с севера, а с юга – если очаг оранжевый.

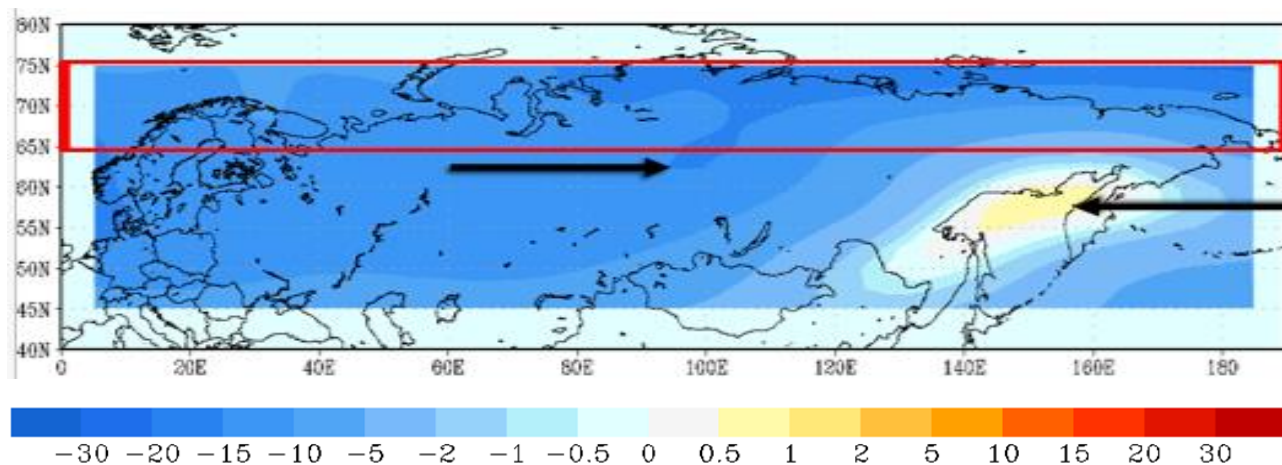


Рисунок 5.35 - Зональная форма циркуляции (март) 1991-2001гг.

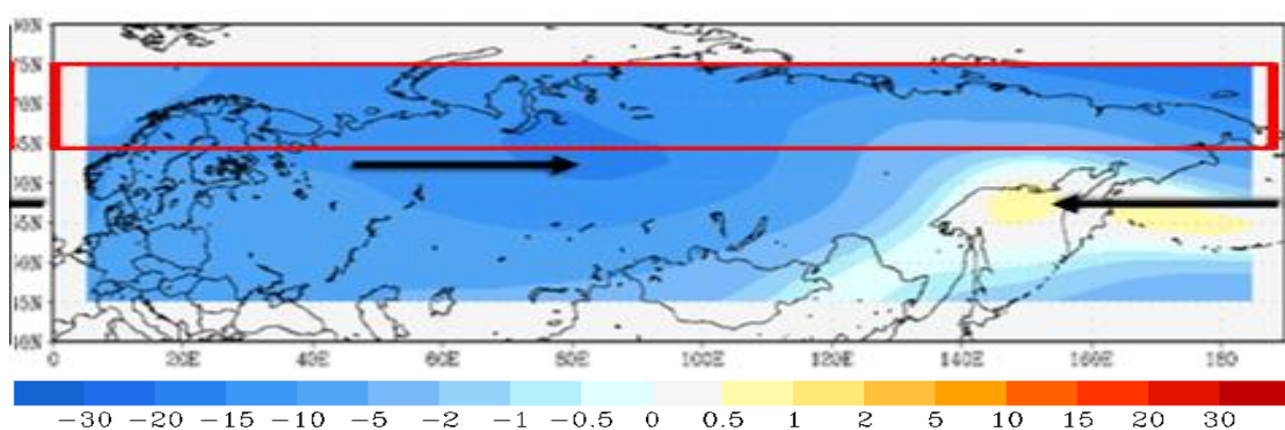


Рисунок 5.36 - Зональная форма циркуляции (март) 2002-2011гг.

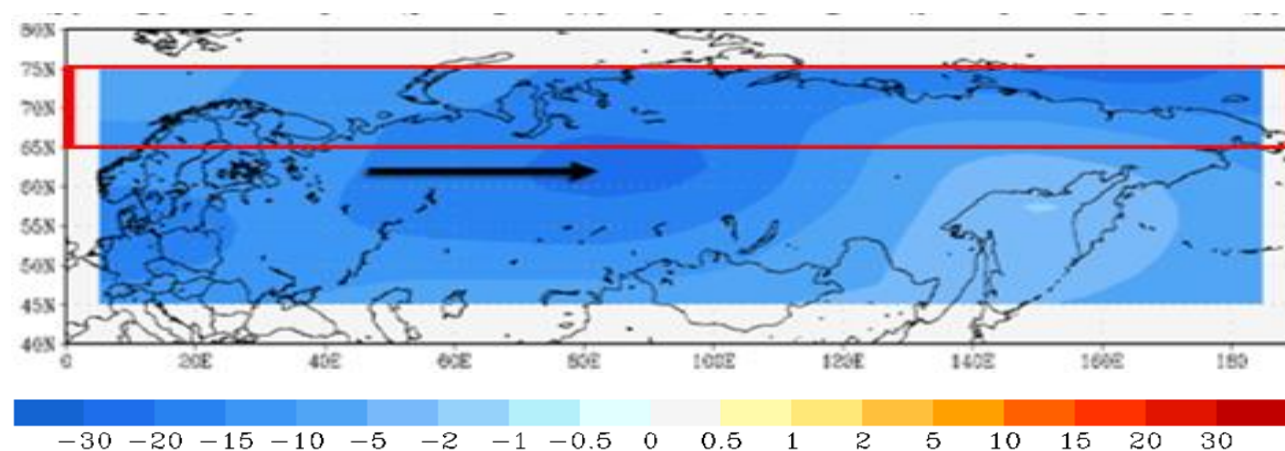


Рисунок 5.37 - Зональная форма циркуляции (март) 2012-2021гг.

Рассмотрим по широте (рисунок 5.35, 5.36 и 5.37). Видим, что было два очага в первом десятилетии. За последние 10 лет, уменьшилась интенсивность и территория очага с положительным значением интенсивности индекса Каца. Происходит увеличение отрицательного очага по интенсивности и по площади. Но всё равно происходит увеличение зонального переноса.

Рассматриваются зональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с запада, а с востока – если очаг оранжевый.

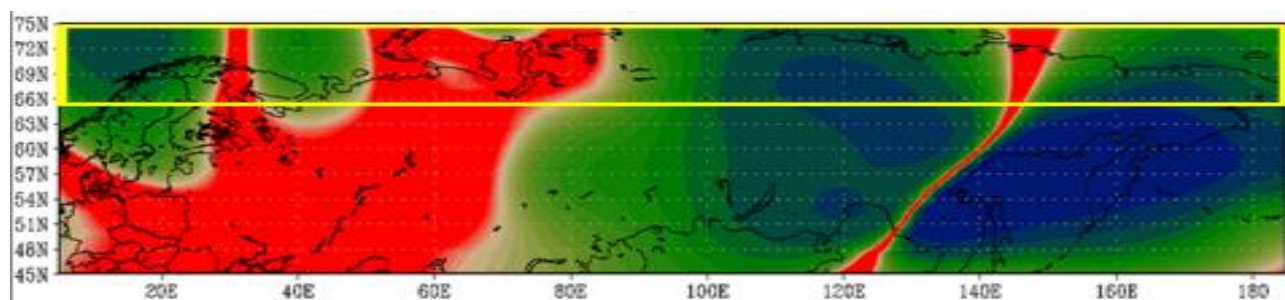




Рисунок 5.38 – Общий индекс циркуляции Каца (март) 1991-2001 гг.

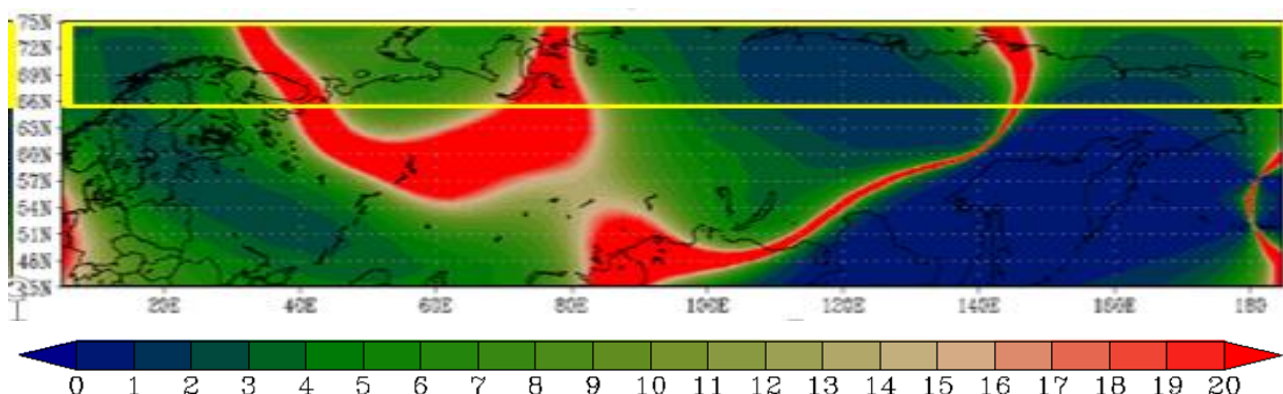


Рисунок 5.39 – Общий индекс циркуляции Каца (март) 2002-2011 гг.

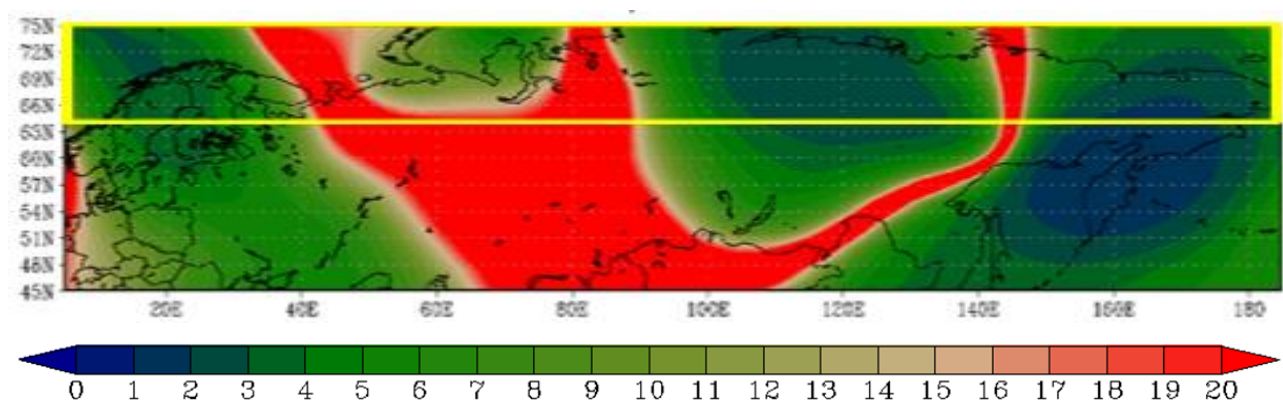


Рисунок 5.40 – Общий индекс циркуляции Каца (март) 2012-2012 гг.

Интересующий регион обозначен жёлтым цветом (рисунок 5.38, 5.39 и 5.40). Там, где значения меньше единицы, выделены тёмным синим цветом, преобладает меридиональная циркуляция. Во всех остальных случаях – это преобладание зональной циркуляции, но с различной интенсивностью. Наиболее интенсивно при красном цвете.

Как видно, зональная циркуляция действительно преобладает, что подтверждает достоверность наших исследований. Меридиональная циркуляция прослеживается только на востоке территории, причем можно увидеть уменьшение её интенсивности и площади от десятилетия к десятилетию. Если говорить о севере и западе территории, то усиливаются зональные потоки по площади, а по интенсивности – уменьшаются за второй

период и снова усиливаются к третьему периоду. То есть на этих территориях усиливается влияние Атлантики, а именно за счёт влияния Северо-Атлантического колебания.

Таким образом, можно заключить, что изменение температуры территории на западе и севере до Уральских гор связано с Северо-Атлантическим колебанием, а восток территории подвержен влиянию Тихого океана и меридиональных форм переноса, затоков с юга. Центральная часть меняется достаточно слабо. Здесь изменения в циркуляции практически отсутствуют.

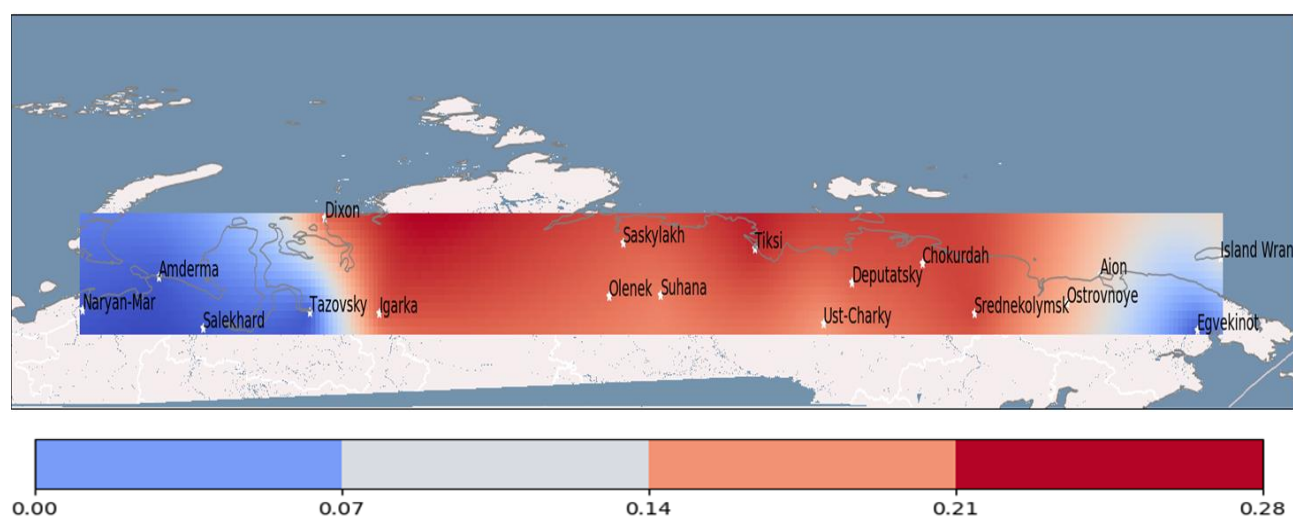


Рисунок 5.41 – Коэффициент линейного тренда температуры в апреле

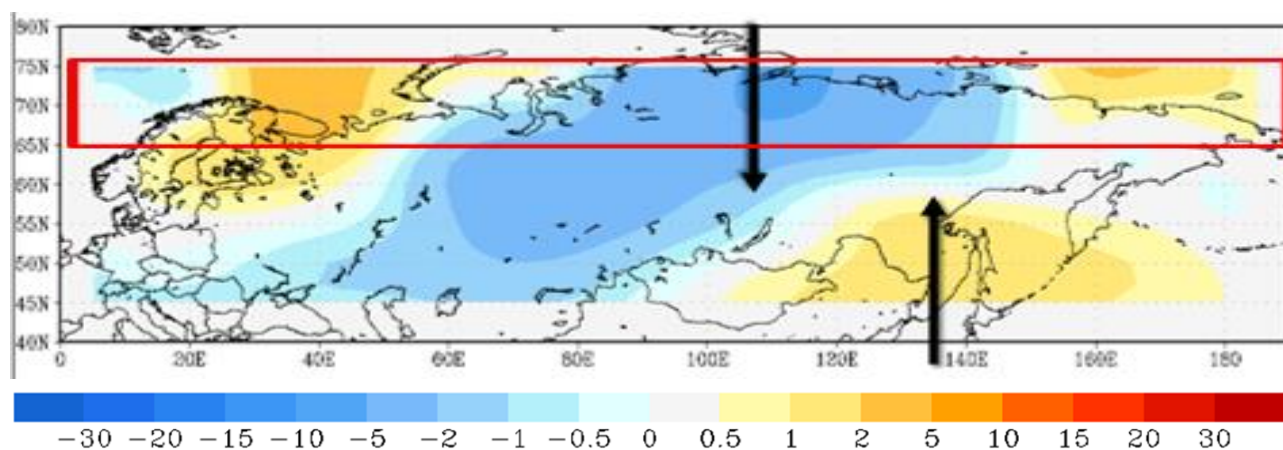


Рисунок 5.42 - Меридиональная форма циркуляции (апрель) 1991-2001гг.

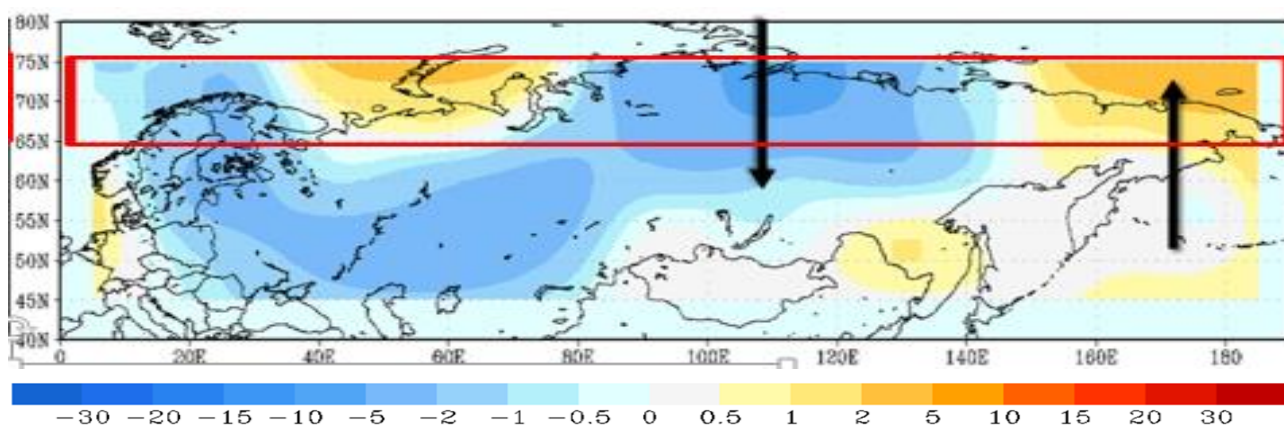


Рисунок 5.43 - Меридиональная форма циркуляции (апрель) 2002-2011 гг.

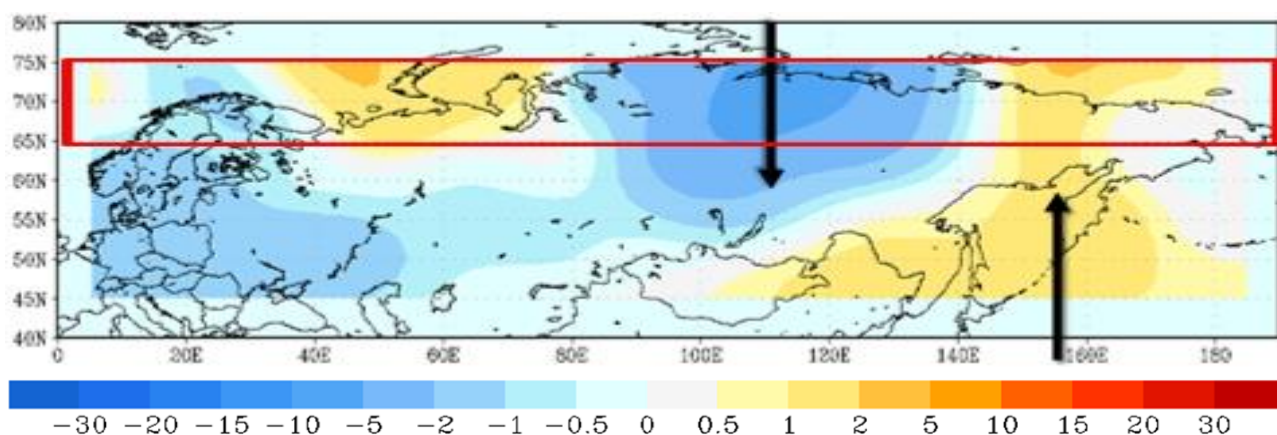


Рисунок 5.44 - Меридиональная форма циркуляции (апрель) 2012-2021 гг.

Рассмотрим меридиональные формы циркуляции для апреля (рисунок 5.42, 5.43 и 5.44). Видим, что изначально в первом десятилетии наблюдалось три очага с положительной и отрицательной интенсивностью индекса Каца. Далее смотрим на последующие два десятилетия и заметим отрицательный очаг над Сибирью уменьшился по интенсивности, но не по площади. Положительный очаг на Дальнем востоке уменьшился по интенсивности, но увеличился по площади. Положительный очаг над Скандинавией уменьшился по площади и по интенсивности за три периода.

Рассматриваются меридиональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с севера, а с юга – если очаг оранжевый.

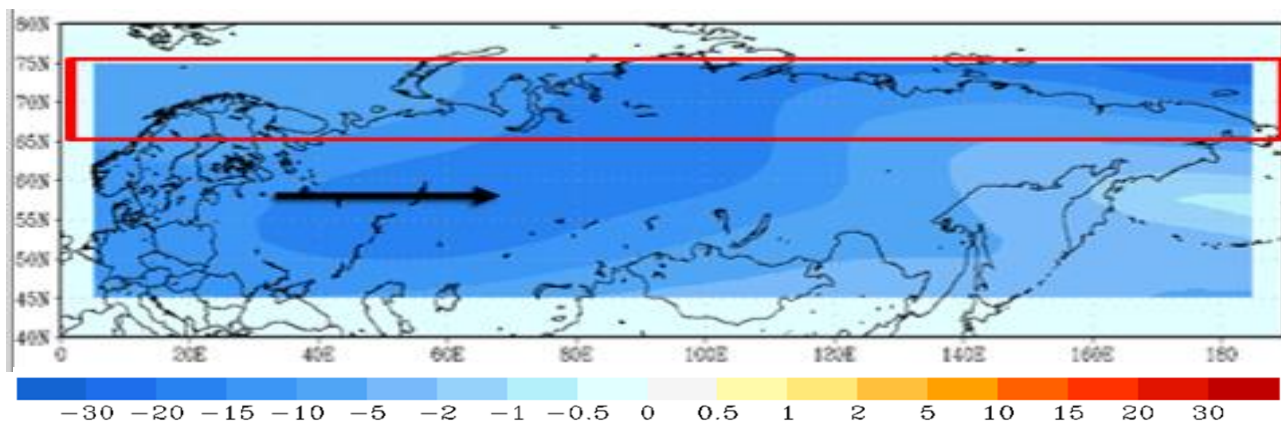


Рисунок 5.45 - Зональная форма циркуляции (апрель) 1991-2001гг.

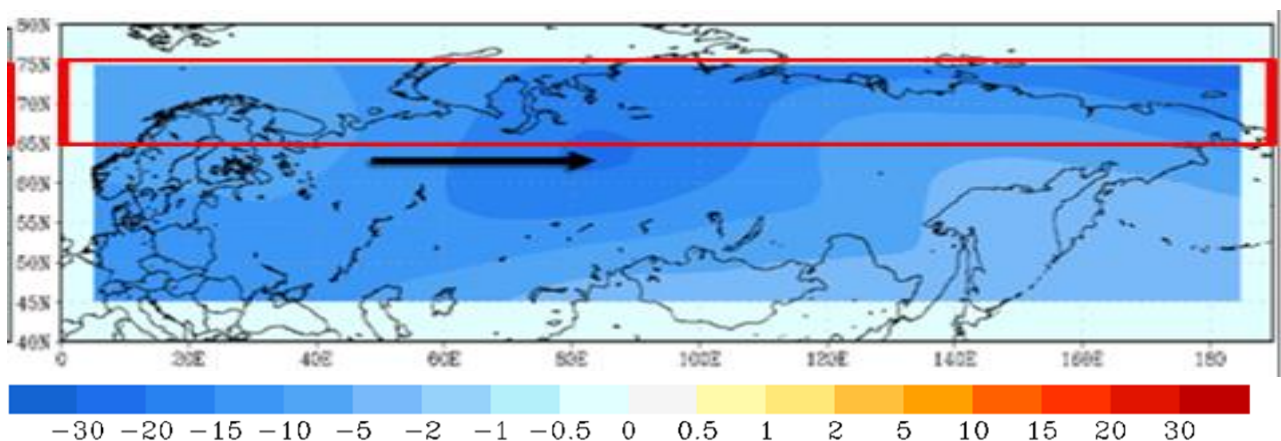


Рисунок 5.46 - Зональная форма циркуляции (апрель) 2002-2011гг.

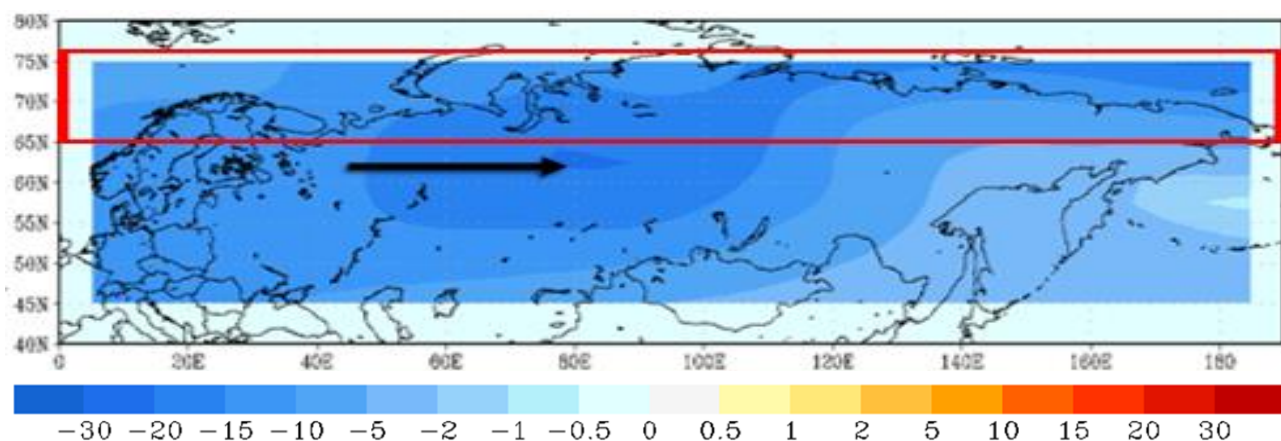


Рисунок 5.47 - Зональная форма циркуляции (апрель) 2012-2021гг.

Рассмотрим индекс по широте (рисунок 5.45, 5.46 и 5.47). Видим, что был один очаг с отрицательной интенсивностью индекса Каца, на протяжении всех трёх периодов, за последние 10 лет, значительно уменьшилась интенсивность

очага с отрицательным значением интенсивности индекса Каца, но всё равно происходит увеличение зонального переноса.

Рассматриваются зональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с запада, а с востока – если очаг оранжевый.

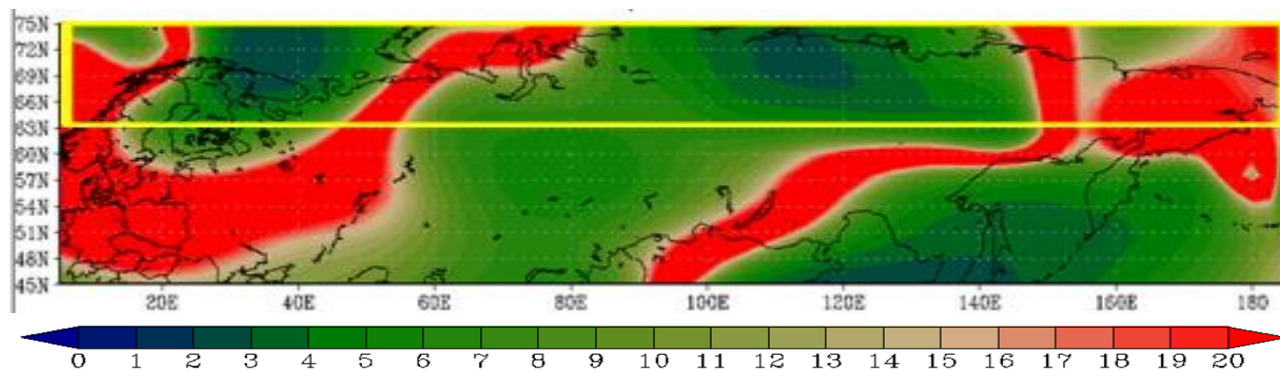


Рисунок 5.48 – Общий индекс циркуляции Каца (апрель) 1991-2002 гг.

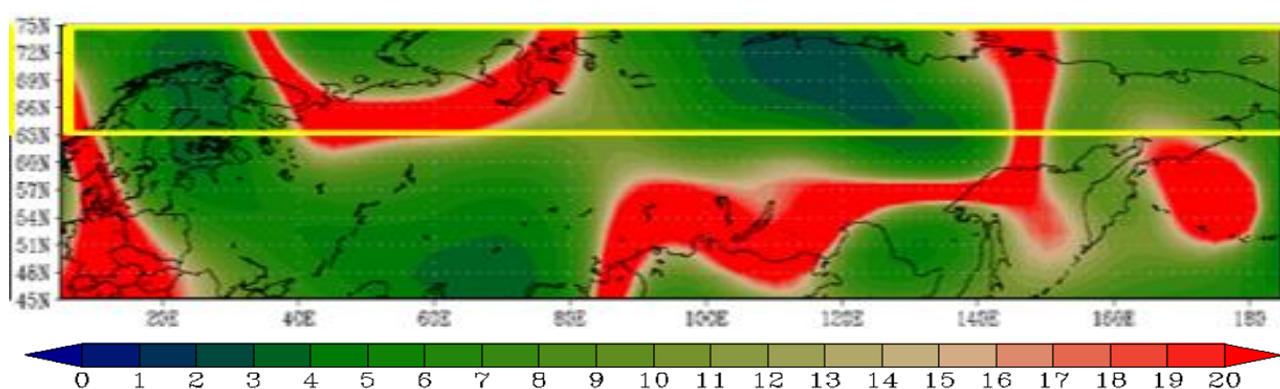


Рисунок 5.49 – Общий индекс циркуляции Каца (апрель) 2002-2011 гг.

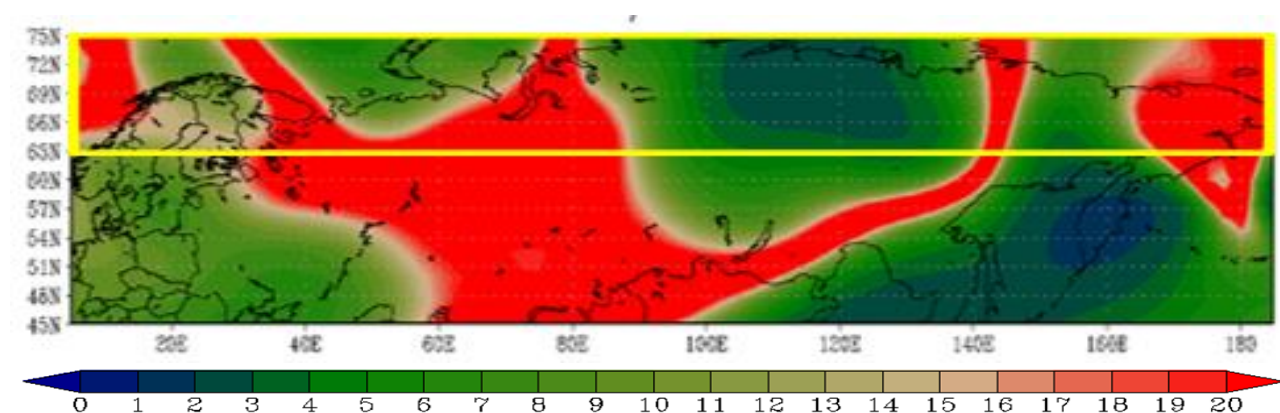


Рисунок 5.50 – Общий индекс циркуляции Каца (апрель) 2012-2021 гг.

Интересующий регион обозначен жёлтым цветом (рисунок 5.48, 5.49 и 5.50). Там, где значения меньше единицы, выделены тёмным синим цветом. Преобладает меридиональная циркуляция. Во всех остальных случаях – это преобладание зональной циркуляции, но с различной интенсивностью. Наиболее интенсивно при красном цвете.

В общем, зональная циркуляция преобладает, что подтверждает достоверность наших исследований. Меридиональная циркуляция практически не прослеживается, только лишь немного над Сибирью и на востоке. Если говорить о севере и западе территории, то усиливаются зональные потоки по площади, а по интенсивности.

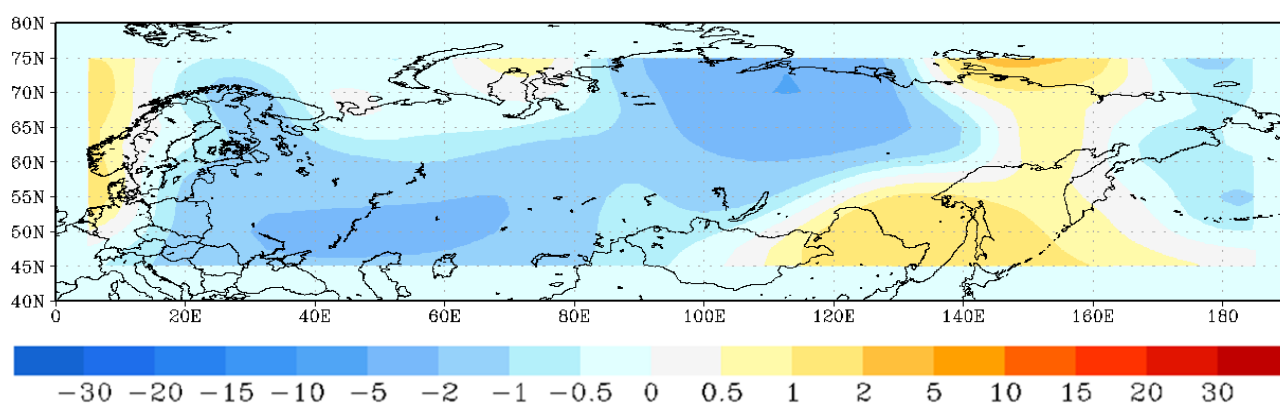


Рисунок 5.51 - Меридиональная форма циркуляции (октябрь) 1991-2001гг.

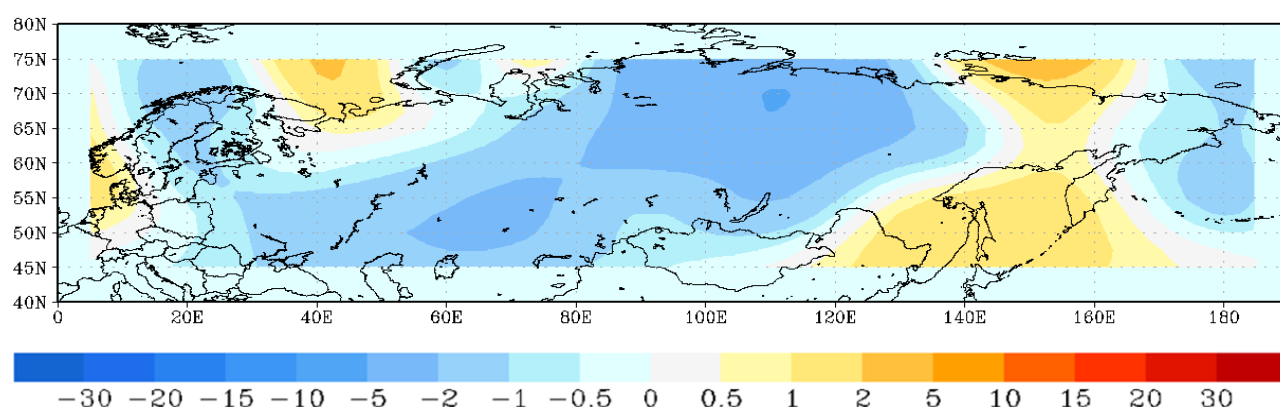


Рисунок 5.52 - Меридиональная форма циркуляции (октябрь) 2002-2011гг.

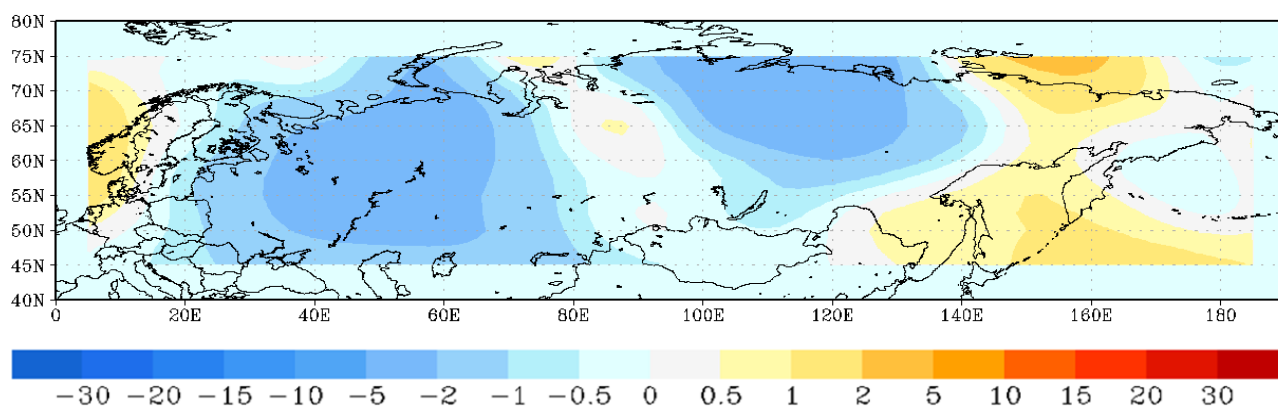


Рисунок 5.53 - Меридиональная форма циркуляции (октябрь) 2012-2021гг.

Рассмотрим меридиональные формы циркуляции для октября (рисунок 5.51, 5.52 и 5.53). Видим, что изначально в первом десятилетии наблюдалось три очага с положительной и отрицательной интенсивностью индекса Каца. Далее смотрим на последующие два десятилетия и заметим отрицательный очаг над Сибирью уменьшился по интенсивности, но не по площади. Положительный очаг на Дальнем востоке уменьшился по интенсивности, но увеличился по площади. Положительный очаг над Скандинавией уменьшился по площади и по интенсивности за три периода.

Рассматриваются меридиональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с севера, а с юга – если очаг оранжевый.

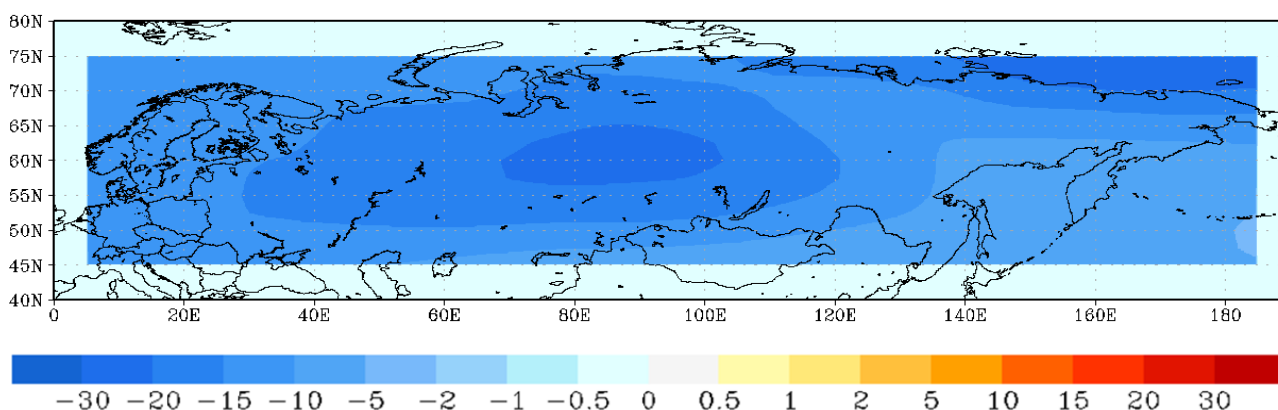


Рисунок 5.54 - Зональная форма циркуляции (октябрь) 1991-2001гг.

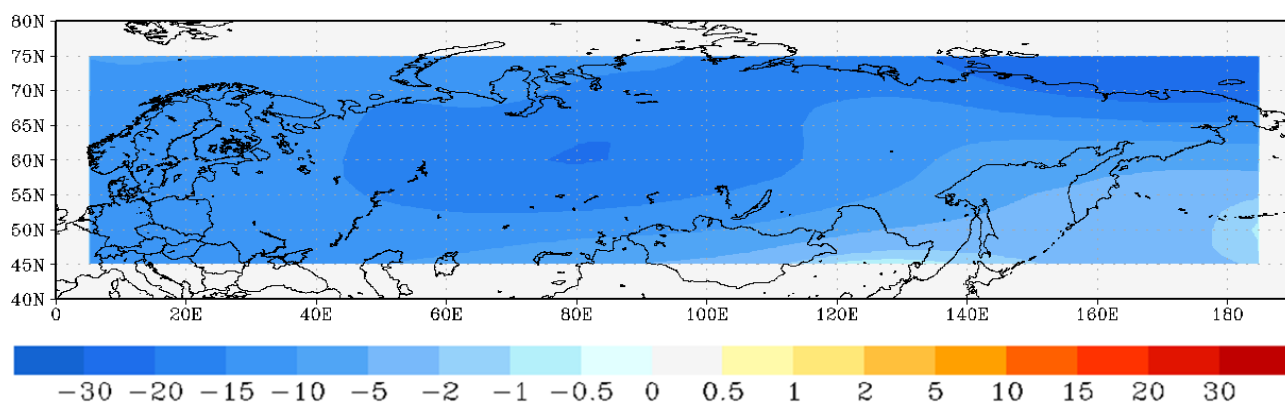


Рисунок 5.55 - Зональная форма циркуляции (октябрь) 2002-2011 гг.

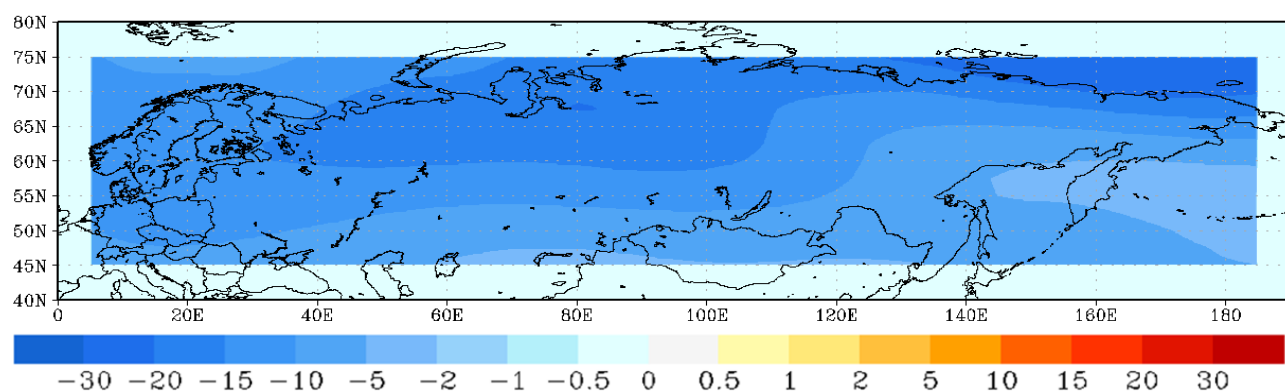
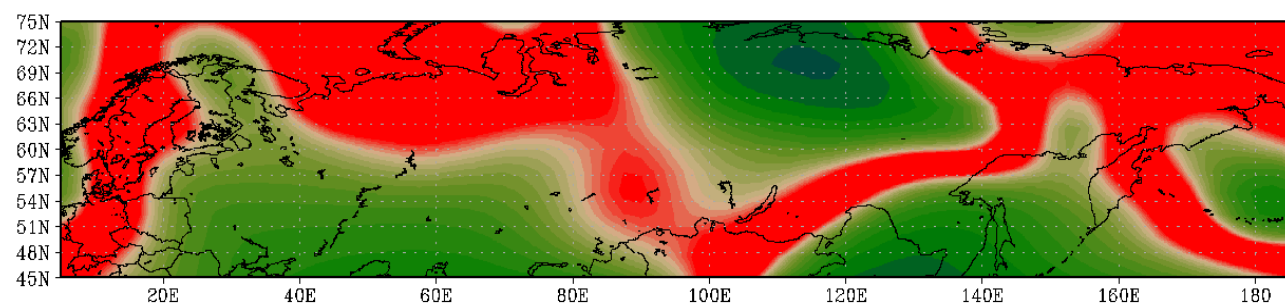


Рисунок 5.56 - Зональная форма циркуляции (октябрь) 2012-2021 гг.

Рассмотрим по широте (рисунок 5.54, 5.55 и 5.56). Видим, что был один очаг с отрицательной интенсивностью индекса Каца, на протяжении всех трёх периодов. Смотрим за последние 10 лет, значительно уменьшилась интенсивность очага с отрицательным значением интенсивности индекса Каца. Но всё равно происходит увеличение зонального переноса.

Рассматриваются зональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с запада, а с востока – если очаг оранжевый.



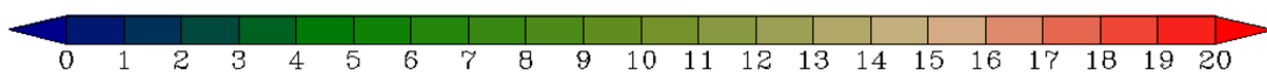


Рисунок 5.57 – Общий индекс циркуляции Каца (октябрь) 1991-2001 гг.

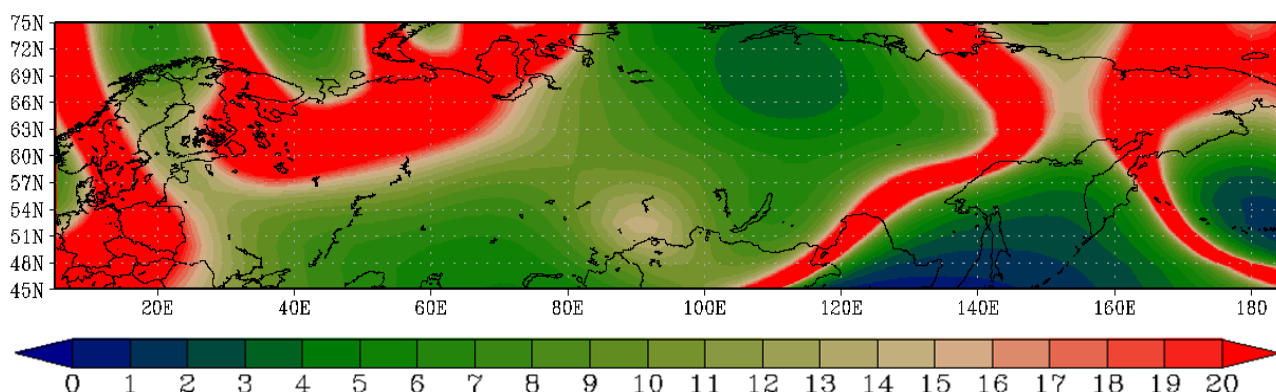


Рисунок 5.58 – Общий индекс циркуляции Каца (октябрь) 2002-2011 гг.

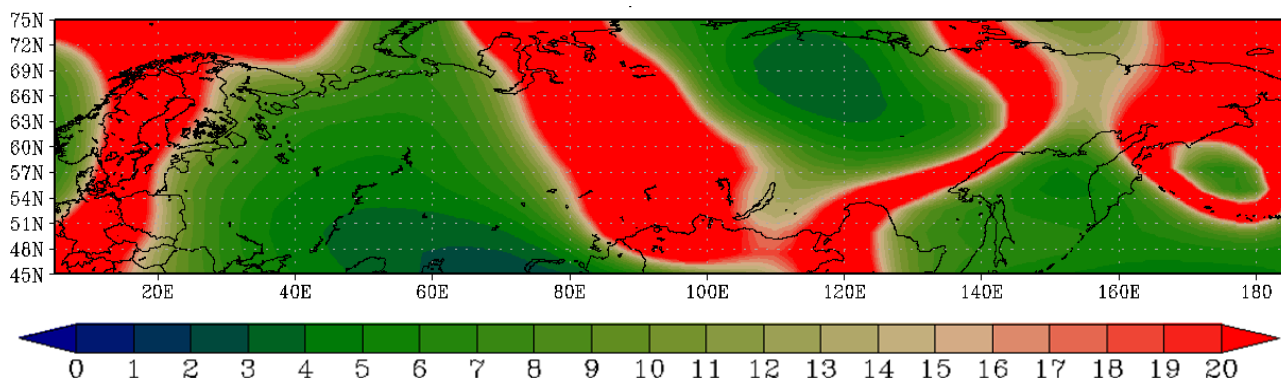


Рисунок 5.59 – Общий индекс циркуляции Каца (октябрь) 2012-2021 гг.

Там, где значения меньше единицы, выделены тёмным синим цветом (рисунок 5.57, 5.58 и 5.59). Преобладает меридиональная циркуляция. Во всех остальных случаях – это преобладание зональной циркуляции, но с различной интенсивностью. Наиболее интенсивно при красном цвете.

В целом, здесь зональная циркуляция также преобладает, что подтверждает достоверность наших исследований. Меридиональная циркуляция практически не прослеживается. Таким образом, можно заключить, что изменение температуры территории на западе и севере до Уральских гор связано с зональными процессами, а восток территории подвержен влиянию Тихого океана и меридиональных форм переноса, затоков с юга. Центральная

часть меняется достаточно слабо. Здесь изменения в циркуляции практически отсутствуют.

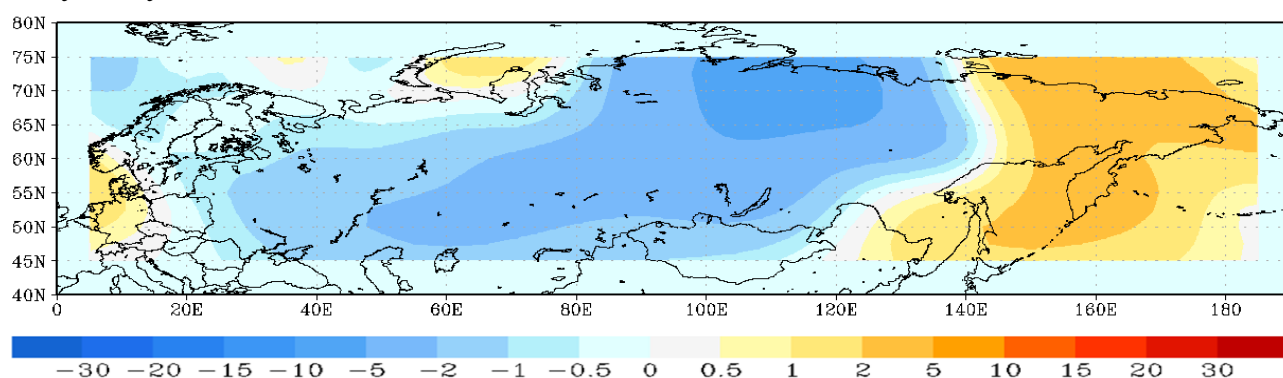


Рисунок 5.60 - Меридиональная форма циркуляции (ноябрь) 1991-2001гг.

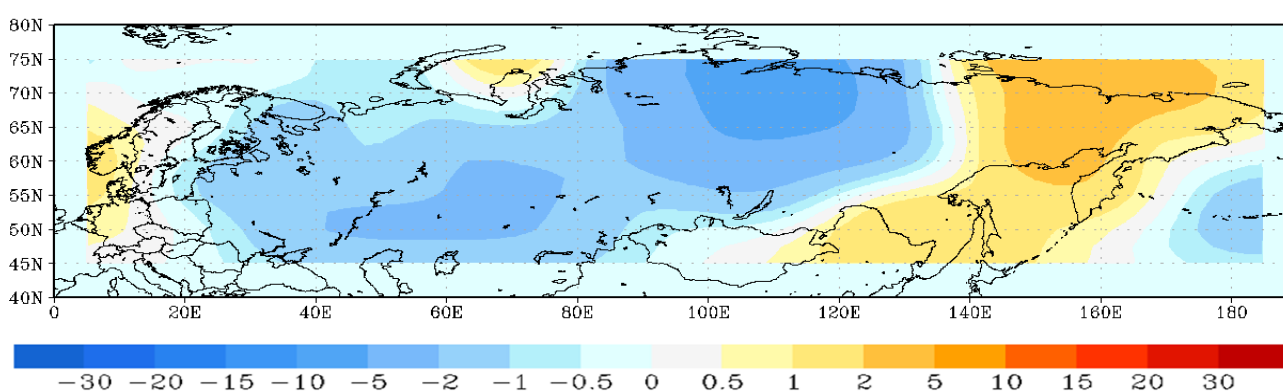


Рисунок 5.61 - Меридиональная форма циркуляции (ноябрь) 2002-2011гг.

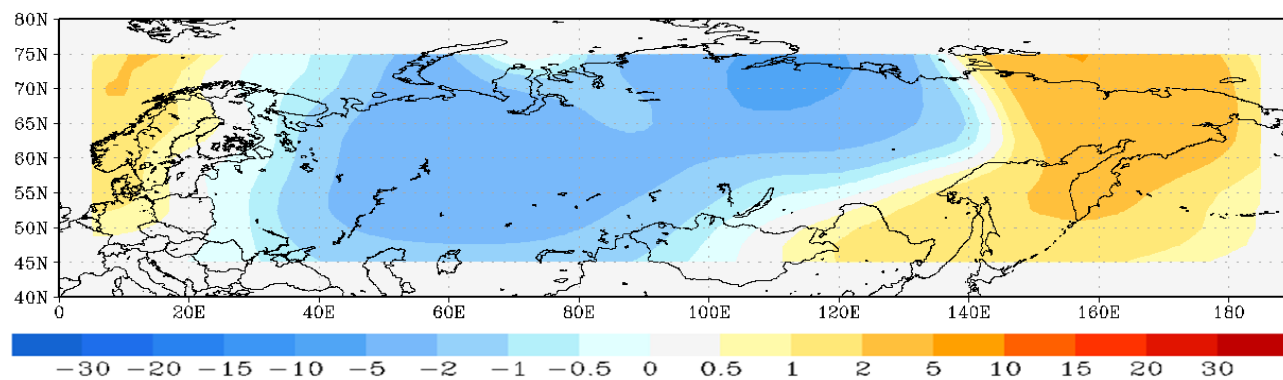


Рисунок 5.62 - Меридиональная форма циркуляции (ноябрь) 2012-2021гг.

Рассмотрим меридиональные формы циркуляции для ноября (рисунок 5.60, 5.61 и 5.62). Видим, что изначально в первом десятилетии наблюдалось три очага с положительной и отрицательной интенсивностью индекса Каца. Далее смотрим на последующие два десятилетия и заметим отрицательный очаг над Сибирью уменьшился по интенсивности, но не по площади.

Положительный очаг на Дальнем востоке уменьшился по интенсивности, но увеличился по площади. Положительный очаг над Скандинавией увеличился по площади и по интенсивности за три периода.

Рассматриваются меридиональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с севера, а с юга – если очаг оранжевый.

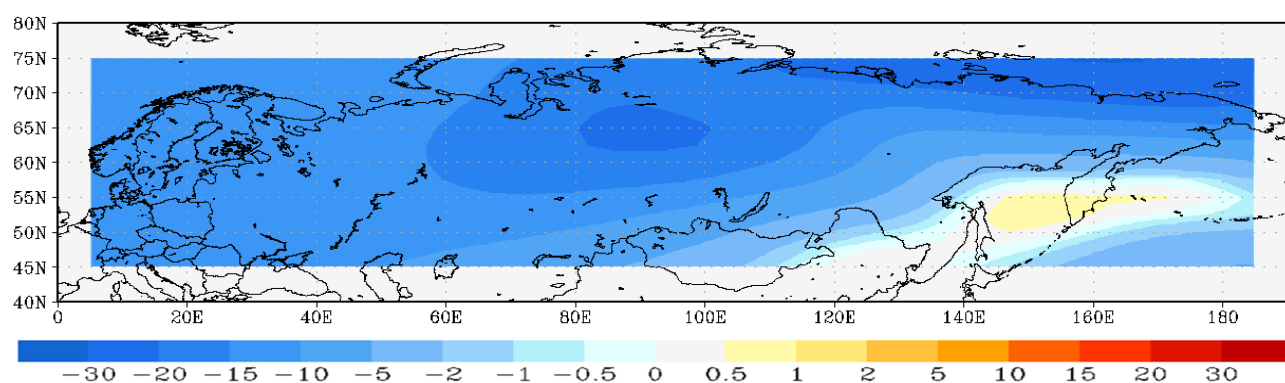


Рисунок 5.63 - Зональная форма циркуляции (ноябрь) 1991-2001гг.

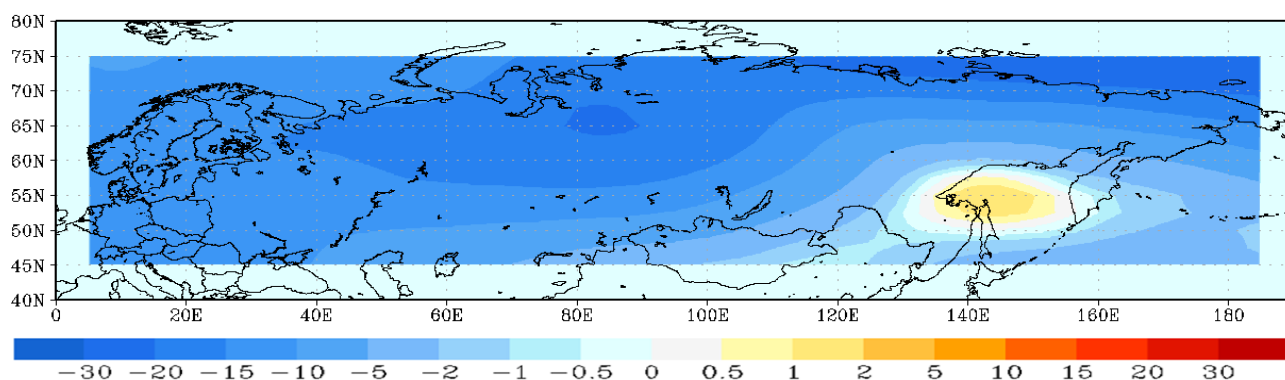


Рисунок 5.64 - Зональная форма циркуляции (ноябрь) 2002-2011гг.

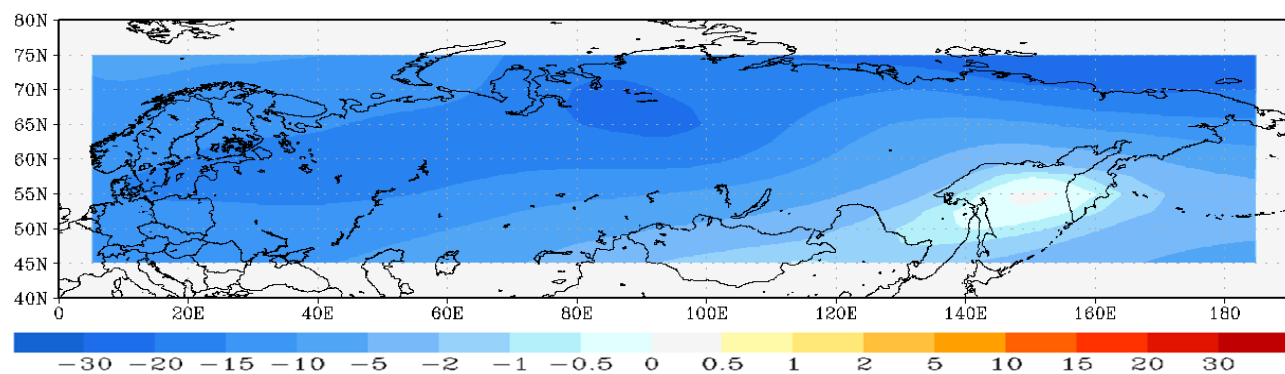


Рисунок 5.65 - Зональная форма циркуляции (ноябрь) 2012-2021гг.

Рассмотрим перенос по широте (рисунок 5.63, 5.64 и 5.65). Видим, что было два очага с отрицательной и положительной интенсивностью индекса Каца, на протяжении первых двух периодов. За последние 10 лет значительно уменьшилась интенсивность очага с отрицательным значением интенсивности индекса Каца, что практически исчез. Но всё равно происходит увеличение зонального переноса.

Рассматриваются зональные переносы. Если очаг интенсивности индекса Каца синего цвета, то перенос происходит с запада, а с востока – если очаг оранжевый.

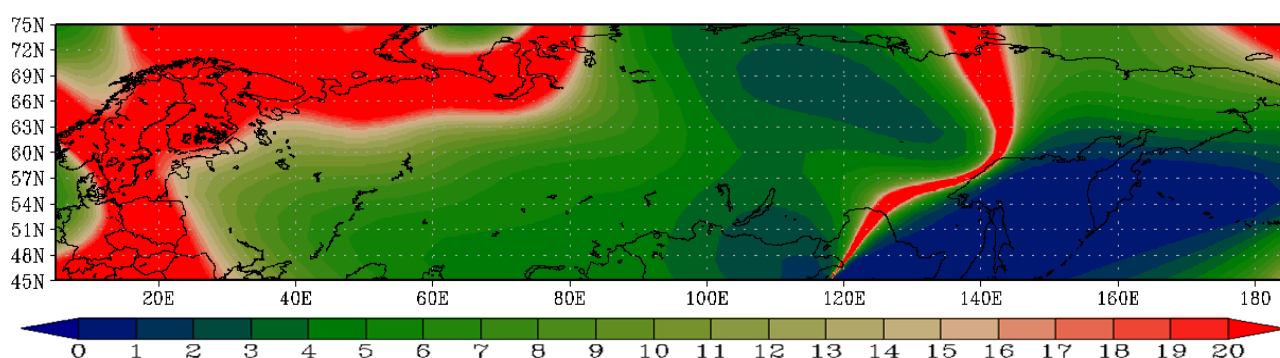


Рисунок 5.66 – Общий индекс циркуляции Каца (ноябрь) 1991-2001 гг.

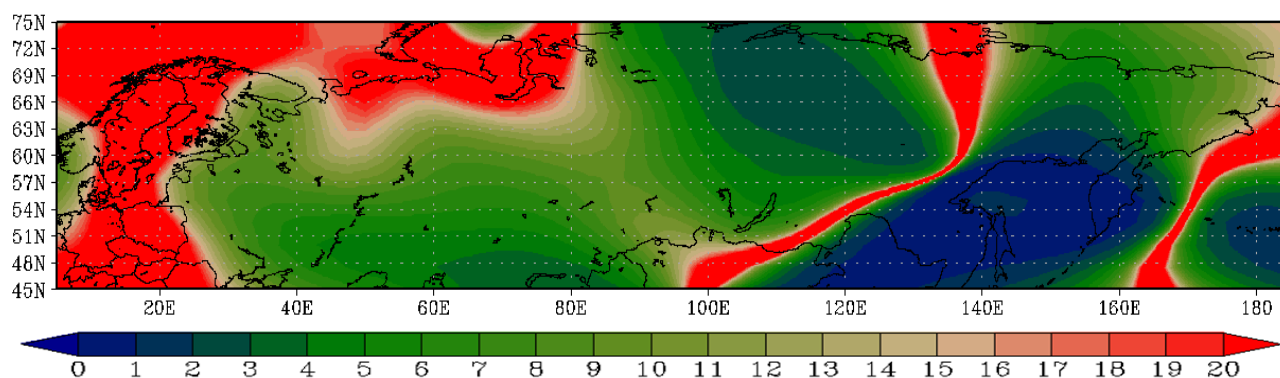
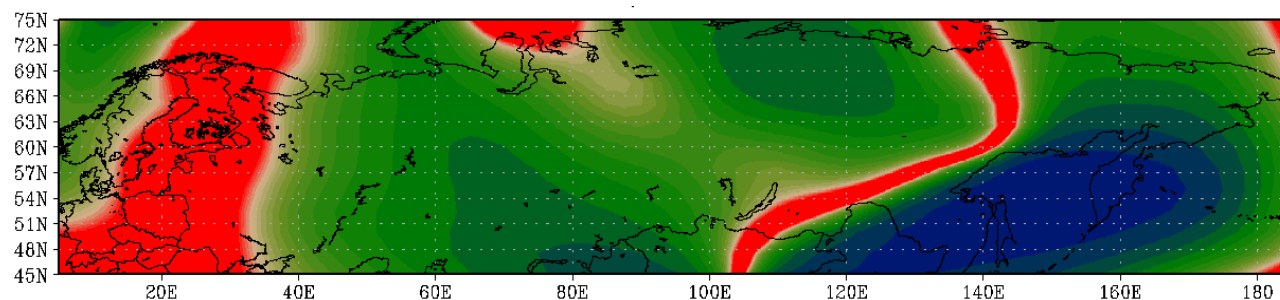


Рисунок 5.67 – Общий индекс циркуляции Каца (ноябрь) 2002-2011 гг.



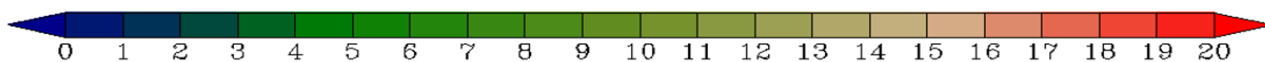


Рисунок 5.68 – Общий индекс циркуляции Каца (ноябрь) 2012-2021 гг.

Там, где значения меньше единицы, выделены тёмным синим цветом (рисунок 5.66, 5.67 и 5.68). Преобладает меридиональная циркуляция. Во всех остальных случаях – это преобладание зональной циркуляции, но с различной интенсивностью. Наиболее интенсивно при красном цвете.

В общем, зональная циркуляция здесь также преобладает, что подтверждает достоверность наших исследований. Меридиональная циркуляция отслеживается над восточной Сибирью. Если говорить о севере и западе территории, то усиливаются зональные потоки по площади, а по интенсивности нет.

Таким образом, можно заключить, что изменение температуры территории на западе и севере до Уральских гор связано с интенсификацией зонального переноса, а восток территории подвержен влиянию Тихого океана и меридиональных форм переноса, затоков с юга. Центральная часть меняется достаточно слабо. Здесь изменения в циркуляции практически отсутствуют.

В ходе исследования выяснилось, что в переходные месяцы – март, апрель наблюдаются наиболее сильные изменения температуры. В переходные месяцы, когда температура растет сильнее всего, причина этих изменений не так очевидна, но меридиональность процессов усиливается и здесь. Таким образом, в результате проделанной работы можно заключить, что действительно имеет место быть усиление меридиональности процессов.

Заключение

- Практически на всей территории преобладает интенсивный зональный перенос (за исключением Дальнего Востока)
- В последние три десятилетия в зимние время во втором ЕСР увеличился меридиональный перенос. Изменения в поверхностной температуре для зимних месяцев достаточно хорошо могут объясняться именно чередованием преобладания зонального и меридионального ведущего потока на 500 гПа. В первом ЕСР усилился зональный перенос, но не так значительно.
- В переходные месяцы, когда температура растет сильнее всего, причина этих изменений не так очевидна, но меридиональность процессов усиливается и здесь.

Список литературы

1. Гирс А.А. Основы долгосрочных прогнозов погоды / Гидрометеоиздат. 1960. 560 с.
2. Переведенцев Ю.П., Мохов И.И., Елисеев А.В. Теория общей циркуляции атмосферы / Казанский университет, 2013. 224с.
3. Семёнов Е.К., Зайцева Н.А., Стерин А.М., Прохоров Б.Б., Ревич Б.А. Климат. Большая российская энциклопедия / Министерство культуры РФ. 2004
4. Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М. Элементы циркуляции и распределение влагозапаса Земли / Российская академия наук. 2008. 64 с.
5. Сидорова Л.П. Метеорология и климатология / Уральский федеральный университет. 2005. 198 с.
6. Погосян Х. П. Общая циркуляция атмосферы / Ленинград. 1972. 394 с.
7. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли/ Ленинград гидрометеоиздат. 1991. 294 с.
8. Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы / Санкт-Петербург. 2006. 84 с.
9. Барашкова Н.К., Кужевская И.В., Поляков Д.В. Классификация форм атмосферной циркуляции / Издательство Томского университета. 2015. 124 с.
10. Кац А.Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы погоды / А.Л. Кац: Гидрометеоиздат, 1960. 270 с.
11. Багров Н.А. Долгосрочные метеорологические прогнозы / Гидрометеоиздат. 1985. 248 с.
12. Гандин Л.С. Основы динамической метеорологии / Гидрометеоиздат. 1955. 346 с.

13. Вительс Л.А. Синоптическая метеорология и гелиофизика / Гидрометеоиздат. 1977. 245 с.
14. Белинский Н.А. Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов погоды / Гидрометеоиздат. 1967. 202 с.