

Оглавление

Сокращения	3
1. Физико-географические характеристики Арктического региона	7
1.1. Арктический регион и его особенности	7
1.2. Изменение климатической системы Арктики	10
1.3. Факторы и процессы влияющие на климатообразование	15
1.4. Взаимодействие океана и атмосферы(Атмосфера)	16
1.5. Взаимодействие атмосферы и океана(Океан)	18
1.6. Климатическая система Арктического региона	20
1.7. Влияние астрономических факторов на динамику климата	22
1.8. Радиационный баланс. Радиационный баланс Арктического региона.....	27
2. Течение Гольфстрим и Северо-Атлантическое колебание	30
2.1. Течение Гольфстрим	30
2.2. Исходные данные	32
2.3. Общие сведения об индексе Северо-Атлантического колебания NAO (North Atlantic Oscillation)	34
3. Исследование изменчивости динамики Гольфстрима.	36
3.1. Анализ изменения среднемесячных значений индекса GSNW	36
4. Связь индекса Гольфстрима и Северо-Атлантического колебания	50
4.1. Сравнение характеристик и анализ данных.....	50
Заключение.....	65
Список используемых источников:.....	66
Приложение 1	67
Приложение 2	68

Сокращения

АМОЦ – Атлантическая Меридиональная Опрокидывающая Циркуляция (Atlantic Meredional Overturning Circulation)

GSNW - индекс Гольфстрима «Северная стена» (Gulfstream North Wall)

МГЭИК – Межправительственная Группа Экспертов по Изменению Климата

NAO – индекс Северо-Атлантического колебания (North Atlantic Oscilation)

РФ - Российская Федерация

САК – Северо-Атлантическое колебание

Введение

XXI век смело можно называть веком глобальных вызовов. Одним из самых, пожалуй, ярких является вызов, связанный с глобальным потеплением. Вся мировая общественность, начиная от ученого сообщества и заканчивая сферам крупного бизнеса и экономики, крайне пристально следит за тенденциями климатических изменений. Действительно ли глобальное потепление — это “все уничтожающее зло” или это “вполне посильное зло”? То есть та опасность, к которой можно подготовиться или даже суметь смоделировать ее шаги. Изменение климата является делом всепланетного масштаба. Начиная от экваториальных регионов и заканчивая полюсами. Согласно оценочным данным Росгидромета, тенденция к потеплению климата, в частности над территорией Русской Арктики, имеет склонность к усугублению. Для России, большая часть территории которой покрыто “вечной мерзлотой”, проблематика потепления играет принципиальную роль. Около 65% территории Российской Федерации находится в зоне Арктики и вечной мерзлоты. Одна только эта цифра может сказать о том, что для России изучение и прогнозирование климатических процессов играет наиважнейшую роль в развитии и процветании государства. Не будем также и забывать об энергетической роли “Русской” Арктики. Большинство энергоресурсов добывается в зоне тундры и крайнего Севера. Для Российского экономического сообщества проникновение в глубь Арктики всегда играло важную роль. Речь идет не только о добыче углеводородов, но и само продвижение к побережью Северного Ледовитого океана. В современных геополитических реалиях, когда буквально идет борьба за ресурсы и торговые пути, роль Северного морского пути с каждым годом все больше возрастает. Длина Северного морского пути занимает около 14 тысяч километров, и большая часть этого пути пролегает через льды Русской Арктики, что заставляет России укреплять свои позиции в данном регионе. Подобные действия могут означать огромные инвестиционные вложения в данный

регион, что в дальнейшем очень серьёзно может повлиять на развитие инфраструктуры, строительство городов и предприятий.

Целью данной работы является исследование связи природных факторов на потепление в Арктическом регионе, и его особенности.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

- 1) Изучить элементы климатической системы Арктической зоны;
- 2) Выявить факторы, влияющие на потепление в Арктическом регионе;
- 3) Исследовать явление Гольфстрима и его индекс;
- 4) Изучить связь между индексом Гольфстрима и Северо-Атлантического колебания.

В связи с этим в данной выпускной квалификационной работе рассматриваются:

- Астрономические факторы
- Влияние неантропогенных факторов на потепление в Арктическом регионе
- Анализ теплового баланса
- Взаимосвязь процессов, происходящих в атмосфере и океане
- Течение Гольфстрим, индекс GSNW и его изменения
- Возможность взаимосвязи между индексом Гольфстрима и индексом Северо-Атлантического колебания.

В первой главе были рассмотрены общие сведения об Арктическом регионе, климате и климатообразующих факторах для данного региона, радиационный баланс, астрономические факторы, анализ парниковых газов в атмосфере.

Во второй главе рассматривается течение Гольфстрим, его динамика и гипотезы о его изменении. Анализируется динамика Гольфстрима за счет изменения индекса GSNW.

В третьей главе приводятся результаты характеристик течения Гольфстрим для периода с 1967 по 2021г., и его связь с Северо-Атлантическим колебанием.

Научная новизна данной работы заключается в том, что была проанализирована корреляционная связь между мощным теплым течением Гольфстрим и Северо-Атлантическим колебанием. Связь была как в среднегодовом, так и в среднемесячном временном интервале.

1. Физико-географические характеристики Арктического региона

1.1. Арктический регион и его особенности

Арктика – это географически очень большая часть земного шара, примыкающая к Северному полюсу. Данный регион охватывает полностью всю акваторию Северного Ледовитого океана, включая территории Российской Федерации, Соединенных Штатов Америки (США), Канады, Норвегии, Дании, Финляндии, Швеции. Ни одна из данных стран не находится полностью в Арктическом регионе, поэтому все эти страны имеют под собой название – приарктические. Говоря о территории Российской Федерации, то для нее регион Арктики и крайнего Севера имеет первостепенное значение. На пространство РФ приходится половина северных районов мира. В настоящее время на территории Севера расположено 26 субъектов РФ (рисунок 1.1.1), из которых 9 субъектов именуются арктическими.



Рисунок 1.1.1. Районы Севера России [1]

Общая протяженность Арктики простирается от Северного полюса до Северного Полярного круга – южной границы полярного дня, которая находится, примерно, на 66°33' параллели северной широты. Северный полярный круг является географически уникальным регионом, который ограничивает территорию, где Солнце не пересекает линию горизонта в дни

солнцестояния: летом 22 июня – Солнце не заходит, 21 декабря – в день зимнего солнцестояния – Солнце полностью не поднимается из-за горизонта. Необходимо учитывать факт наличия полярного дня и ночи в оценке климата всего Арктического региона. В полярную ночь, когда Солнце не поднимается из-за горизонта, поток прямой солнечной радиации является минимальным, что сказывается не только на формировании регионального климата, но и самочувствии людей, проживающих на данных территориях и оказывающих непомерный вклад в экономику и освоение северных земель.

Климат Арктики отличается своей суровостью и крайне низкими температурами. Как понятно из текста выше данное явление обусловлено широтным расположением региона. Солнечные лучи поступают на территорию региона под маленьким углом, и тем самым передают меньше тепловой энергии, чем в регионы центральных, более южных широт. Как результат такого малого притока солнечной радиации - огромные территории полностью покрытые льдом: океан – морским льдом, суша – материковым льдом. Наличие ледяного покрова является еще одной причин низких температур в регионе. Причиной этого явления является высокая отражательная способность(альbedo) снега и льда. Солнечные лучи практически полностью отражаются от морской или земной поверхности.

Альbedo – это отношение отраженного радиационного потока к приходящему. Альbedo зависит от свойств подстилающей поверхности. Во время аккумуляции ледового покрова альbedo принимают как альbedo свежеснежного покрова, которое достигает 90%, во время же абляции альbedo принимается как альbedo тающего снега, где достигает 70%, или тающего льда(порядка 40%). Если мы сложим фактор малого попадания потока солнечной радиации в северных широтах и высокое альbedo подстилающей поверхности, то получим низкие температуры над территорией Арктического региона.

Как следствием наличия преобладающих низких температур над Арктикой является постоянная холодная плотная воздушная масса, которая

создает зону высокого давления, называемую шапкой холода. Под влиянием высокого давления холодная воздушная масса имеет тенденцию двигаться в южном направлении. Однако из-за того, что наша планета не является статичной и находится в постоянном движении возникает динамическая сила Кориолиса, которая заставляет воздушную массу немного менять свою траекторию. Из-за наличия температурной инверсии температура у самой поверхности земли ниже, чем в высоких слоях атмосферы. В высоких широтах преобладают северо-восточные и восточные ветры. Сила Кориолиса зависит от широты, и при достижении частицей воздуха места, где сила Кориолиса максимальна, она становится отличной от силы давления, которая обычно уравнивает силу Кориолиса, после чего частица вынуждена двигаться в обратном направлении, а достигнув широты, где сила Кориолиса становится равной силе давления, возвращается к своему первоначальному движению.

Для исследования морской территории Арктики с учётом характеристик воды, таких как температура воды, её солёность, температура поверхности океана, определена океаническая граница региона Арктики, которая включает Северный Ледовитый океан и его моря.

Самой точной границей для определения района погодных условий на территории Арктики является климатологическая граница. Данная граница рассчитана по изотерме июля. Если исходить из данного критерия, то вся территория, расположенная севернее июльской изотермы 10 градусов Цельсия относится к Арктической зоне.

Все критерии по определению границ Арктического региона систематизированы и определены Комиссией Арктического Совета. Для различных целей и задач выделяют следующие границы: океаническая граница, биологическая граница (граница тундры) и климатическая граница (изотерма июля).

1.2. Изменение климатической системы Арктики

Климат (от греч. *Klima* – наклон) – это долговременное состояние погоды, характерное для данной местности. Климатическое состояние характеризуется влиянием солнечной радиации, циркуляцией атмосферы и океана, подстилающей поверхности. Задачами климатологии являются изучение климата прошлого, его связь и зависимость от тех или иных факторов, после чего прогнозирование климата будущего.

Для детальной характеристики климата используется ряд показателей, которые имеют свойство испытывать пространственно-временную изменчивость. К числу наиболее известных изученных климатических колебаний относятся: 1) мелкомасштабные колебания, с периодом действия от доли секунд до минуты; 2) мезомасштабные, с временным периодом от нескольких минут до нескольких часов; 3) синоптические колебания, с периодом от нескольких часов до нескольких суток; 4) глобальные колебания, с периодом до нескольких суток; 5) сезонные колебания, с периодом год; 6) междугодичные колебания с периодом в несколько лет; 7) внутривековые колебания с периодом в десятки лет; 8) межвековые колебания с периодом в несколько веков; 9) долгопериодные колебания; 10) изменение геологических эпох с порядком до миллиона лет (движение литосферных плит)

Изменение климата для любой заданной области характеризуется разностью между климатологическими переменными для двух заданных интервалов времени.

Климат Арктики формируется в условиях значительно меньшего притока солнечной радиации, чем регионы более южных широт. В большей степени данный дефицит восполняется внутренними термодинамическими процессами, протекающими как в климатической системе в целом, так и в условиях морской Арктики (рисунок 1.2.1).

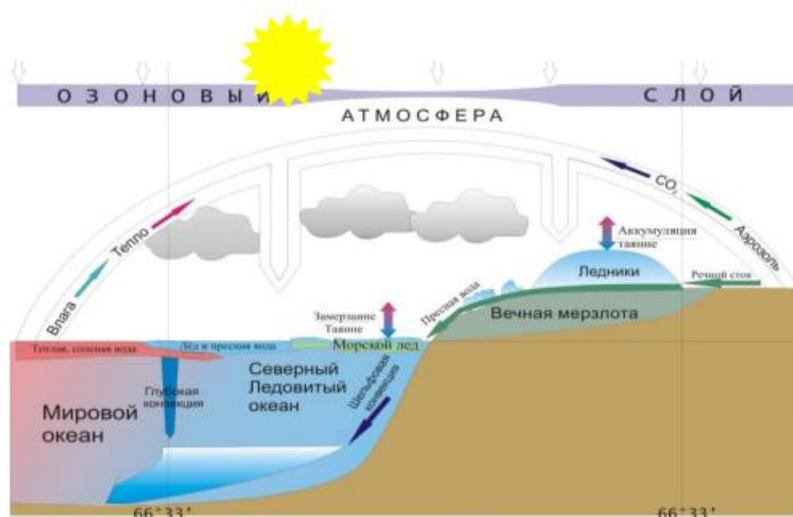


Рисунок 1.2.1. Арктическая часть глобальной климатической системы [2].

По сравнению с теоретическим климатом, с неподвижной и прозрачной атмосферой, значительный вклад в потепление арктического климата вносит направленная к полюсу адвекция тепла. В морской Арктике данный процесс усиливается обратными связями, особым компонентом которых является таяние морских льдов в Северном Ледовитом океане.

Потепление в Арктике впервые было зафиксировано в начале XX века. С 1910 по 1940гг. было зафиксировано потепление воздуха в среднем до -14.7°C зимой и 11.5°C летом. После чего началось плавное падение значений до -15.6°C зимой и 11°C летом. Понижение приповерхностной температуры воздуха наблюдалось до 1970 года. После 1970 года начинается стадия “современного” потепления климата (рисунок 1.2.2).

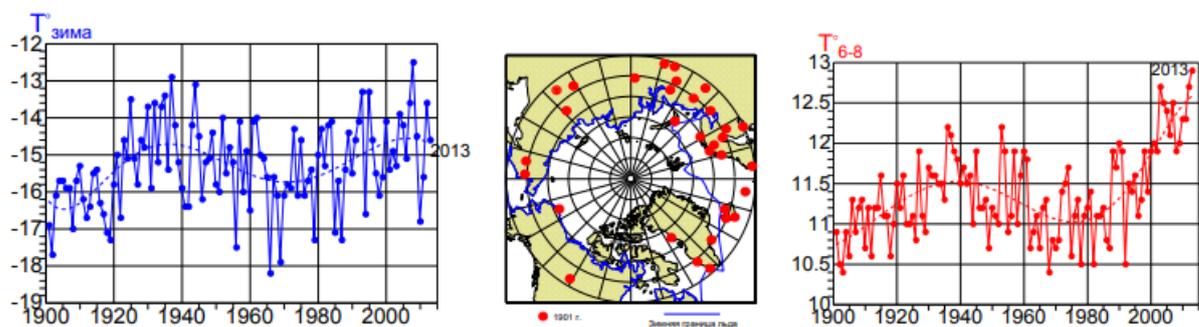


Рисунок 1.2.2. Средняя температура по 32 станциям к северу от 60° с.ш. ПТВ зимой и летом. В центре – положение станций. [2]

Три стадии, описанные выше образуют колебание с периодом 60-70 лет, наиболее заметное в Северной Атлантике. По этой причине это колебание называется Атлантической междесятилетней осцилляцией.

Изменение температуры воздуха над территорией морской Арктики представляет большой интерес, поскольку это в первую очередь влияет на таяние в летнее время и зимнее разрастание ледяного покрова в Северном Ледовитом океане.

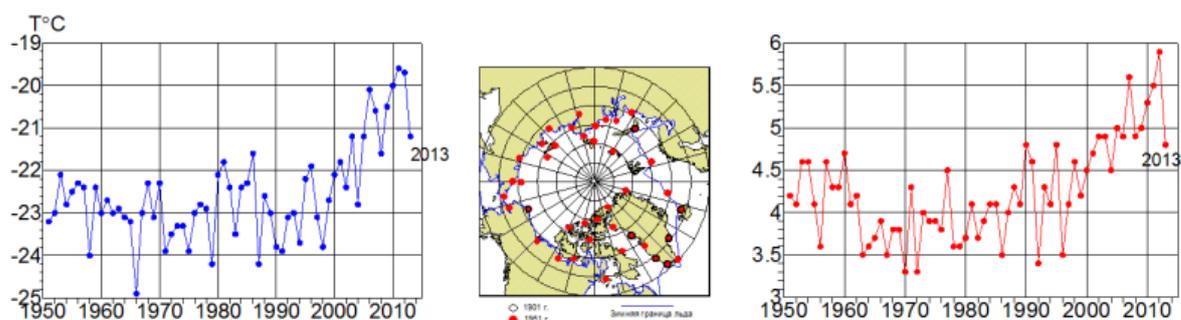


Рисунок 1.2.3. Изменения средней температуры воздуха в морской Арктике за 1951-2013 гг. Слева – зимой, справа – летом. В центре – положение станций. [2]

На рисунке 1.2.3 заметно убывание отрицательных температур после 1991 года и быстрый рост положительных температур после 1996 года, где достигает рекорда в 2012 году.

Изменение температуры для конкретных станций представлены на рисунке 1.2.4 – 1.2.7. Данные представлены для станций в городах Тромсё(Норвегия) и Рейкьявик(Исландия).



Рисунок 1.2.4. Изменение температуры воздуха в городе Рейкьявик для января в период с 1967 – 2021гг.

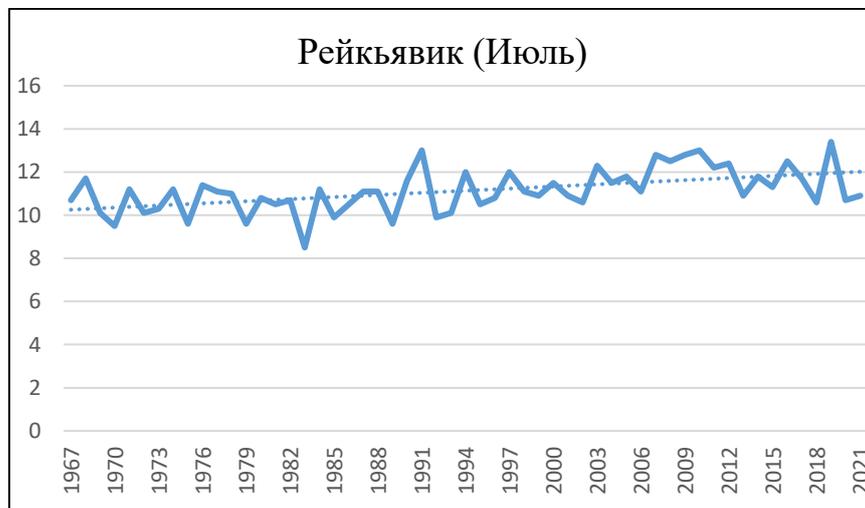


Рисунок 1.2.5. Изменение температуры воздуха в городе Рейкьявик для июля в период с 1967 – 2021гг.

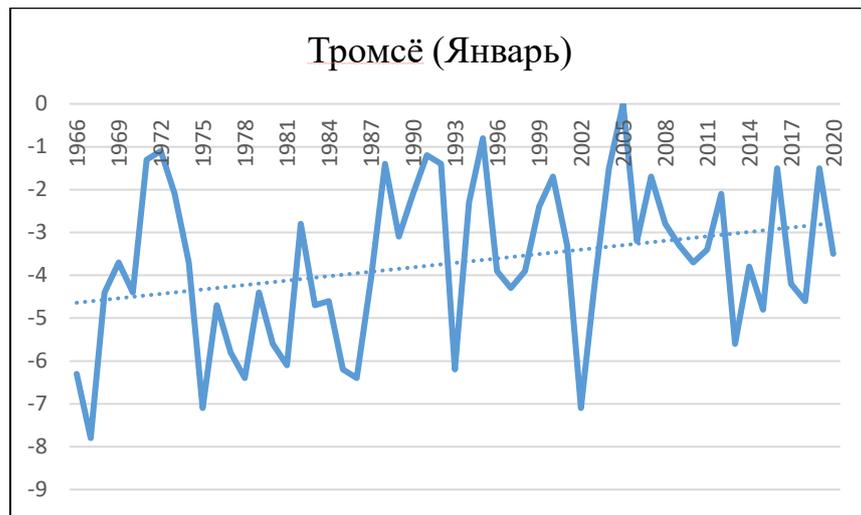


Рисунок 1.2.6. Изменение температуры воздуха в городе Тромсё для января в период с 1967 – 2021гг.

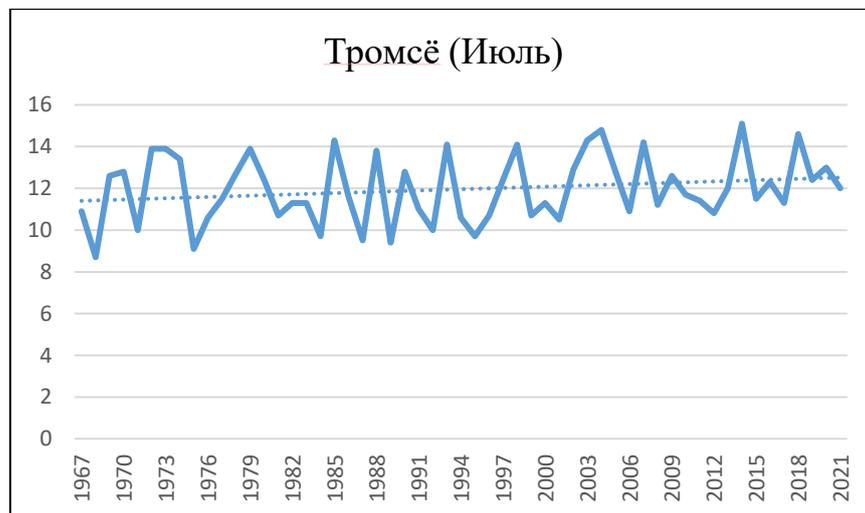


Рисунок 1.2.7. Изменение температуры воздуха в городе Тромсё для июля в период с 1967 – 2021гг.

Остановимся на факторе ледового покрова. Протяженность арктического морского льда для периода с сентября 1979 по 2019 гг. сократилась на 43%(рисунок 1.2.8). Ледовый покров всех арктических регионов постоянно имел тенденцию к уменьшению ежемесячно, за исключением Берингово моря. За последние 30 лет высота и снежного покрова на морском льду в Западной Арктике сократилась более чем на 33%.

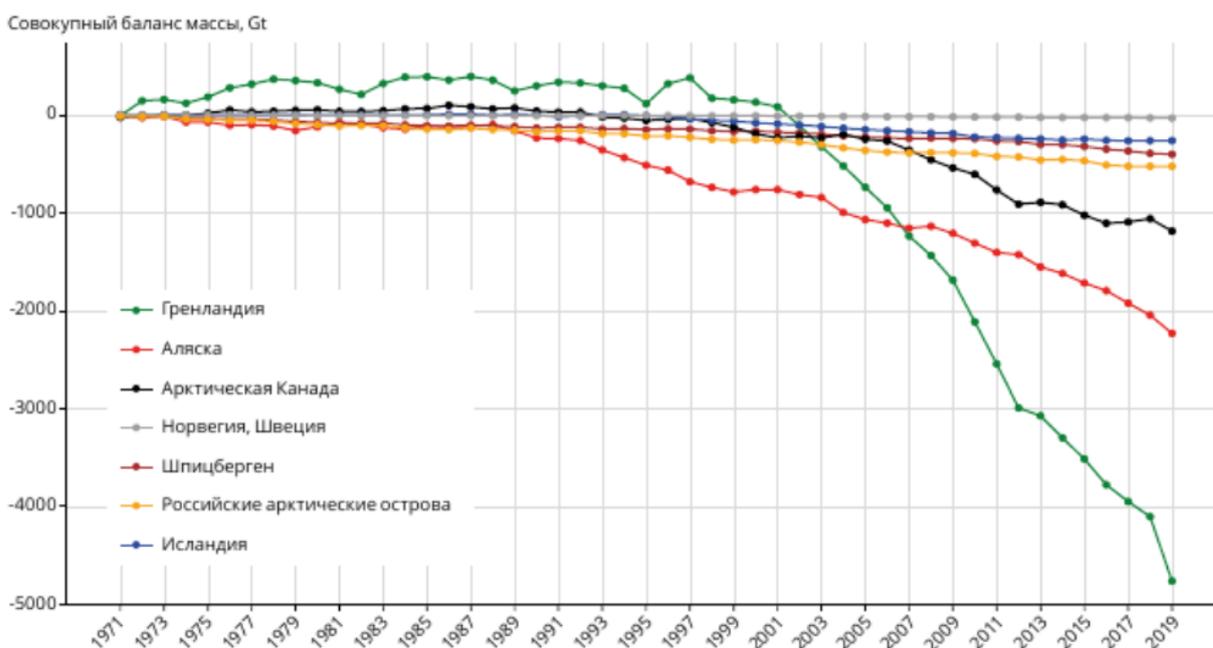


Рисунок 1.2.8. Изменение массы материкового льда в Арктике за 1971-2019гг. [11]

1.3. Факторы и процессы, влияющие на климатообразование

Факторы климатообразования – это силы, действующие в зависимости от условий климата данного региона. Одними из важнейших климатообразующих процессов являются влагооборот, теплооборот и атмосферная циркуляция. Все эти три процесса имеют в природе своего происхождения приходящую солнечную радиацию. Теплооборот способствует созданию теплового режима поверхности и атмосферы. При конденсации водяного пара в атмосфере выделяется тепло. Температура же потом меняет сезонный и годовой ход. Влагооборот совмещает в себе все виды вод и физико-химические процессы, связанные с их трансформацией: испарение, конденсация, выделение осадков.

Атмосферная циркуляция является следствием неравномерного нагрева земной поверхности. Из-за неравномерного нагрева поверхности происходит неравномерное распределение давления, которое формирует воздушные потоки – местную и общую циркуляции атмосферы. Все климатообразующие

процессы имеют между собой тесную связь. Наравне с вышеперечисленными процессами необходимо выделить солнечную радиацию (географическая широта), подстилающую поверхность. Важную роль в формировании климата играет система океанических течений. Они способствуют резким различиям в температурном режиме поверхности океана, что само влияет на атмосферную циркуляцию. По температурному режиму океанические течения делятся на теплые, холодные и нейтральные. (рисунок 1.3.1)

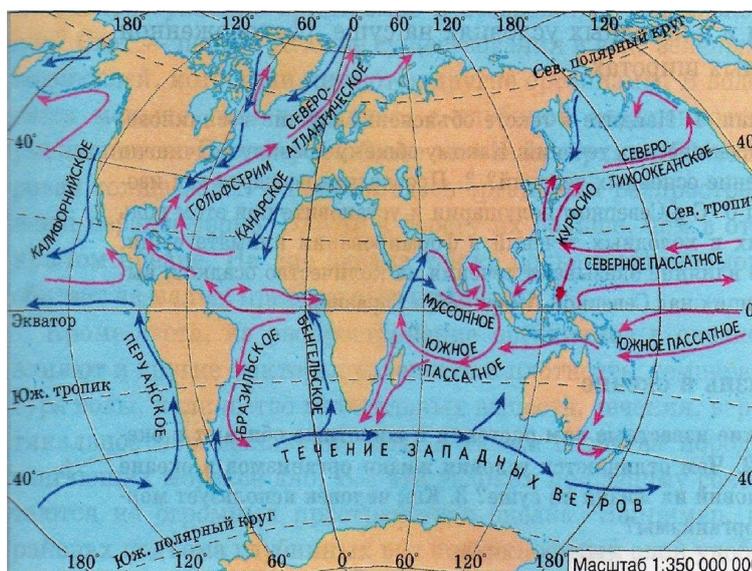


Рисунок 1.3.1. Направления теплых и холодных океанических течений

1.4. Взаимовлияние океана и атмосферы (Атмосфера)

Взаимодействие атмосферы и океана представляет невероятно сложный процесс, а форма и содержание внутренних физических взаимодействий крайне многообразны (рисунок 1.4.1). Для детального изучения данного взаимодействия все процессы классифицируются по определенным масштабам.

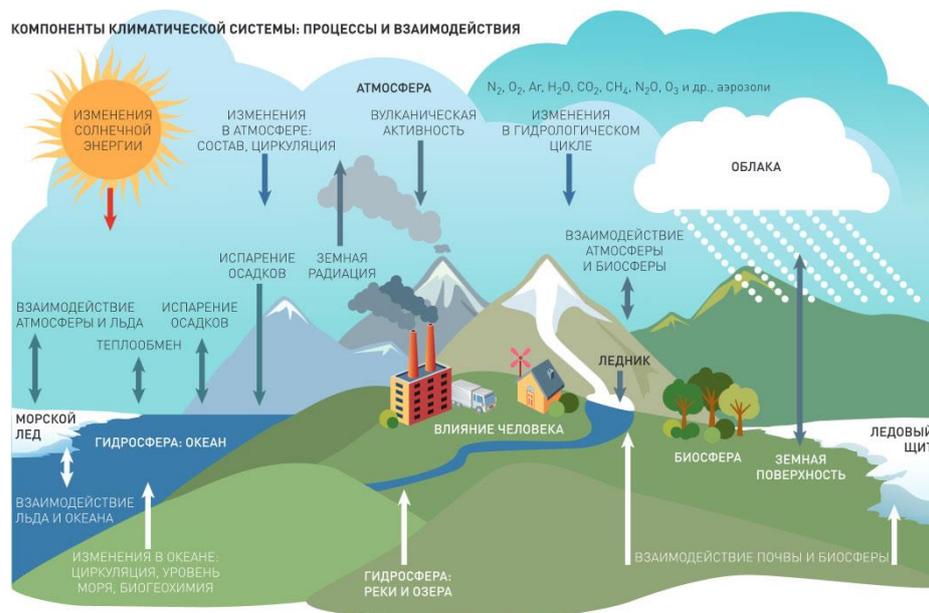


Рисунок 1.4.1. Взаимодействия атмосферы и океана [8]

Процессы, происходящие в атмосфере, возникают посредством влияния приходящей энергии, поступающей на Землю от Солнца. Так как атмосфера постоянно находится в постоянном контакте с литосферой, изучение процессов, происходящих в ней, учитывается влияние географических факторов – орография.

Водяной пар путем испарения с водных поверхностей постоянно поступает в приземный слой атмосферы (500-1000 м). Между подстилающей поверхностью и атмосферой постоянно происходит круговорот воды. В атмосфере водяной пар конденсируется после чего возникают облака, осадки.

Выделяются отдельные процессы, определяющие взаимодействие атмосферы и океана:

1) Процессы атмосферной циркуляции.

От земной поверхности водяной пар движется с потоками вверх, после чего происходит его перемещение в другие регионы. Из-за общей циркуляции между географическими происходит обмен воздушных масс. Она проявляется в виде барических образований – циклонов и антициклонов. Под воздействием циклонической деятельности и радиационного режима происходит разделение воздушных масс в тропосфере на отдельные воздушные массы с резко

разграничивающимися зонами – атмосферными фронтами. Образование же фронтов способствует поддержанию циклональной и антициклональной деятельности.

2) Взаимодействие теплового режима атмосферы с влагооборотом.

При понижении температура воздуха происходит процесс насыщения атмосферы влагой. Тогда водяной пар начинает менять свое агрегатное состояние, образуя облака. Облака же могут снова испаряться или из них могут выделяться осадки. Влажный воздух способствует уменьшению ночного охлаждения земной поверхности и тем самым нижних слоев воздуха. Этот процесс объясняется следующим образом. Водяной пар поглощает длинноволновую инфракрасную радиацию, которую излучает земная поверхность, а также излучает инфракрасную радиацию, большая часть которой идет в сторону земной поверхности.

3) Обладание атмосферы электрическим полем

В верхних слоях атмосферы(стратосфера) происходят постоянные фотохимические реакции, приводящие к образованию молекул озона, разделение молекул кислорода и других газов и к ионизации атмосферы. Вследствие этого атмосфера обладает электропроводимостью, которая влияет на образование облаков и грозовую деятельность, чем самым влияя на влагооборот и тем самым на распространение радиации в атмосфере.

4) В воздухе концентрируются естественные аэрозольные примеси: пыль почвенного происхождения, дым от лесных пожаров, частицы морской соли, бактерии. Крупные аэрозольные частицы выполняют функцию ядер конденсации, что приводит к образованию облаков и туманов.

1.5. Взаимодействие атмосферы и океана (Океан)

Мировой океан оказывает неопределимое влияние на жизнедеятельность планеты. Огромная масса вод всех морей и океанов формирует климат планеты и служит источником атмосферных осадков. Мировой океан способен поглощать избыток углекислого газа в атмосфере, тем самым регулируя его

содержание (рисунок 1.5.1). На глубине морского дна происходит накопление минерального сырья и органических веществ, поэтому геологические и геохимические процессы оказывают существенное влияние на всю земную кору. Океан является, что очень важно, “колыбелью” жизни на Земле. Сейчас в глубинах океана обитают порядка четырех пятых всех живых существ планеты.



Рисунок 1.5.1. Процессы, происходящие в мировом океане [8]

Одним из важнейших процессов в Мировом океане является аккумуляция донных осадков. Этот процесс называется седиментацией. Изучение донных осадков является одним из важных источников получения данных в палеогеографии.

Процесс осадкообразования начинается с подготовки осадочного материала на материках. Такая подготовка осуществляется в процессе выветривания, деятельности рек, ледников. Вторым этапом является перенос материала, частичное отложение на путях переноса поставка основной массы в океаны и моря.

Экзогенные гравитационные процессы. Сезонные изменения плотности, солености, температуры происходят лишь в верхнем слое и не отражаются на геологических процессах на подавляющей части дна Мирового океана.

1.6. Климатическая система Арктического региона

Формирование климата Арктики неразрывно связано с изменениями и формированием климата всего остального земного шара. Хотя оно и имеет свои серьезные особенности. Основной причиной такого отличия является широтное уменьшение притока тепла в полярных регионах, влияние которого уменьшается внутренними термодинамическими процессами.

Если бы мы сравнили динамическую энергетическую модель с моделью, где бы представили океан и атмосферу в неподвижном состоянии, то адвекция тепла, действующая за счет циркуляции атмосферы, вносила бы наибольший вклад в потеплении климата Арктики. При данном процессе климат Арктического региона “согревается” по сравнению со всемирным климатом при отсутствии адвекции, что значительно превышает влияние парникового эффекта в формировании климата Арктики.

Основная адвекция тепла в Арктику происходит в верхних слоях атмосферы. Так же доля океанического переноса в среднем за год оценивается в 3-5% от общей доли в системе атмосфера-океан. Океанические термодинамические процессы оказывают существенное влияние на формирование климата Арктического региона, которое не ограничивается прямым вкладом океанического тепла в тепловой баланс Арктики.

Согласно научным данным Всемирной метеорологической организации (ВМО) 2016 год является самым теплым годом за весь период измерений. Среднеглобальная температура, в сравнении с доиндустриальным периодом, выросла примерно на 1,1°C. С помощью косвенных климатических измерений было вынесено решение, что период с 1983 по 2012 годов был самым теплым тридцатилетием за последние 1400 лет.

Одним из значимых факторов, вносящих большой вклад в глобальное потепление без преувеличения является резкое увеличение концентраций главных парниковых газов (метан, углекислый газ, закиси азота), которые по данным косвенных измерений достигли максимального уровня за последние 800 тысяч лет. По данным ВМО в 2016 год было зафиксировано беспрецедентная концентрация CO₂ – 403,3 частиц на миллион. Согласно выводам МГЭИК данное увеличение концентраций углекислого газа в атмосфере связано с выбросами, связанных с постоянным сжиганием ископаемых ресурсов, которые с началом индустриальной эпохи стали основным источником энергии всех индустриально развитых стран. Также выделяются изменения в рабочей обработке землепользования.

Говоря о влиянии парниковых газов на изменение глобального климата, и, в частности, климата Арктического региона, необходимо сказать о важном вкладе Мирового океана в поглощение антропогенных выбросов углекислого газа и метана. На него приходится порядка 30% поглощения антропогенных выбросов. Увеличение выбросов основных парниковых газов, в большей степени углекислого газа и метана, приведёт в таком же соотношении к увеличению поглощения выбросов океаном, что в дальнейшем приведёт к большему закислению морской воды. Для подтверждения факта увеличения концентрации метана в океане Всемирной метеорологической организацией приводится цифра в 157%. Данные получены в 2017 году.

Влияние Мирового океана на климат Арктики так же происходит посредством влияния изменчивости скорости меридиональной циркуляции. Полное название данного процесса – Атлантическая меридиональная опрокидывающая циркуляция (АМОС) и именно она является главным источником переноса тепловой энергии через водную поверхность.

Климат Арктического региона в большей степени формируется под влиянием более меньшего количества солнечного тепла, чем регионы экваториального пояса и средних широт.

1.7. Влияние астрономических факторов на динамику климата

Изменчивость климатической системы, конечно, обусловлена и влиянием антропогенных факторов, и факторов, зависящих от экологических проблем, и океанических факторов. Но это все является следствием изменения климатической системы. При рассмотрении и анализе климатической изменчивости необходимо рассматривать не только итоги произошедших событий, но и глубинные причины данных изменений. Под одним взглядом основной причиной изменений является таяние ледников, из-за чего может произойти замедление мощных океанических течений. Данное же таяние объясняется резким увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере. Значит, чтобы ликвидировать данный процесс или хотя бы его замедлить необходимо уменьшить концентрацию CO₂, а для этого, как минимум, нужно снизить промышленное производство. Но вопрос – является ли данный ряд причин основополагающим в динамике климата? Для полноценной картины изменения климата нашей планеты необходимо понять, что Земля является одной из планет полностью зависящей от Солнца. Именно положение Земли относительно Солнца говорит о том в какую сторону будет меняться климатическая система – в сторону потепления или холода.

Под внешними процессами, формирующими климат, в основном именуют изменения солнечной радиации и параметров орбиты относительно Солнца.

Астрономическая гипотеза изменения климата заключается в том, что климат планеты в прошлом обуславливался влиянием колебаний притока солнечной радиации к земной поверхности.

Подробное описание влияния астрономических циклов на земной климат было предложено сербским геофизиком Милутином Миланковичем в XXв. Согласно гипотезе М.Миланковича циклические изменения эксцентриситета орбиты, колебания угла наклона оси вращения планеты и прецессия этой оси могут вызывать глобальные изменения климата на Земле.

Для характерного примера можно сказать, что около 23 млн. лет назад совпали периоды минимального значения эксцентриситета земной орбиты и минимального изменения оси вращения Земли. В течении 200 тыс. лет сезонные изменения климата были минимальны, так как орбита вращения Земли была практически круговой. Как итог можно сказать, что разница между летними и зимними температурами на полюсах составляли всего несколько градусов, а льды на полюсах не успевали таять за летний период, чем объяснялось увеличение ледяной шапки.

По теории М. Миланковича, увеличение эксцентриситета орбиты(ϵ) приводит к увеличению разности между количеством солнечной радиации в зимнее и летнее калорические полугодия, что является главным фактором потепления климата. При уменьшении ϵ происходит уменьшение между зимними и летними притоками тепла, при этом лето становится холоднее, а зима теплее.

Уменьшение ϵ приводит к росту ледников и оледенению.

К основным характеристикам земной орбиты относятся прецессия, угол наклона и эксцентриситет (рисунок 1.7.1).

Прецессия земли – медленное движение оси вращения по круговому конусу с осью, перпендикулярной области эклиптики. Благодаря прецессии расстояние между Землей и Солнцем постоянно меняется в пределах от 147,3 – 152,1 млн.км. Соответственно из-за разности расстояний различается и приток прямой солнечной радиации.

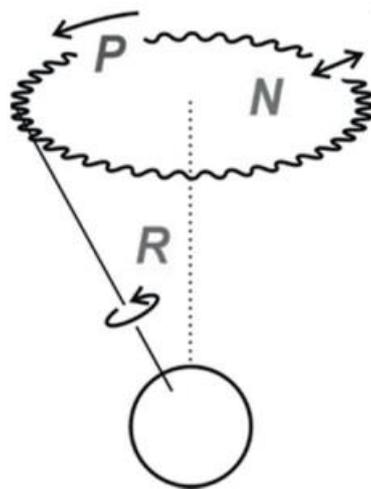


Рисунок 1.7.1. Р-прецессия, N-нутаии, R- вращение Земли вокруг своей оси [4]

Учет влияния прецессии за период циклов Миланковича(40000 лет) показывает температурные колебания варьируются $+2...+3^{\circ}\text{C}$.

Особенность положения прецессии в современное время влияет на то, что сумма годовой приходящей радиации в декабре-феврале в Южном полушарии выше, чем в Северном полушарии в летний период. Причиной данного неравномерного распределения солнечной приходящей радиации обуславливается тем, что в январе Земля находится в перигелии(ближайшая расстояние от Солнца), а в июне в афелии(максимальное удаление от Солнца). Необходимо понимать, что данные положения постоянно меняются.

На рисунке 1.7.2. проиллюстрированы колебания прецессии в диапазоне нескольких сотен тысяч лет.

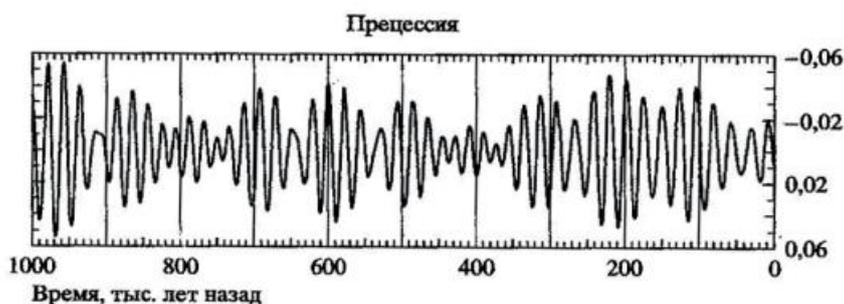


Рисунок 1.7.2. Колебания прецессии в диапазоне сотен тысяч лет [4]

По причине движения земной по конусу происходят процессы глобального характера:

- изменение положения небесного экватора;
- полюс мира перемещается между звездами;
- точки весеннего и осеннего равноденствия медленно перемещаются по эклиптике навстречу видимому движению Солнца на 50,24с в год;
- экваториальные координаты космических объектов(звезд) постоянно меняется;

Подводя небольшой итог в описании прецессии можно сделать вывод: если угол наклона близок к нулю, то на планете будет происходить сглаживание времен года и температурный фон становится более равномерным и стабильным. Когда угол наклона начинает увеличиваться, то происходит увеличение амплитуды годового хода и разность всемирного температурного фона. Также происходит увеличение прихода солнечной радиации в полярные районы, наблюдается сглаживание широтных контрастов в полушариях и усиление сезонных различий. При уменьшении угла наклона происходит увеличение притока солнечной радиации в районе экватора и уменьшение в полярных широтах, сглаживание широтных различий и усиление широтных контрастов. При уменьшении угла наклона происходит уменьшение амплитуды годового хода, что обуславливается потеплением зимы и похолоданием лета, а это, в свою очередь приводит к оледенению. В нынешний момент времени наблюдается тенденция к уменьшению угла наклона, что говорит о предстоящем похолодании.

Говоря о наклонении земной оси, то спектр колебаний, так же, как и прецессии, постоянно варьируется и в нем можно выделить примерные циклы с периодами 29,41 и 54 тыс.лет.

Следующей важной астрономической характеристикой, вносящей вклад в динамику климата, является эксцентриситет орбиты(ϵ). (рисунок 1.7.3) Уже кратко говорилось об ϵ и его вкладе на планетарный климат, сейчас же

остановимся на нем подробнее. Основной функцией эксцентриситета является определение формы орбиты планеты. В зависимости от эксцентриситета орбита имеет следующие формы:

- 1) $\epsilon < 1$ – эллипс
- 2) $\epsilon = 1$ – парабола
- 3) $\epsilon > 1$ – гипербола
- 4) $\epsilon = 0$ – окружность

Зафиксированный эксцентриситет Земли составляет 0,0167, и под влиянием притяжения других планет он испытывает квазипериодические колебания с периодом около 100 тыс.лет. Примерная разница между максимальным и минимальным расстоянием Земли от Солнца порядка 5 млн.км, но благодаря колебаниям эксцентриситета он может достигать 19,7 млн.км. Как можно заметить разница значений очевидна. На ниже приведенном рисунке представлен график колебаний эксцентриситета за последний миллион лет.

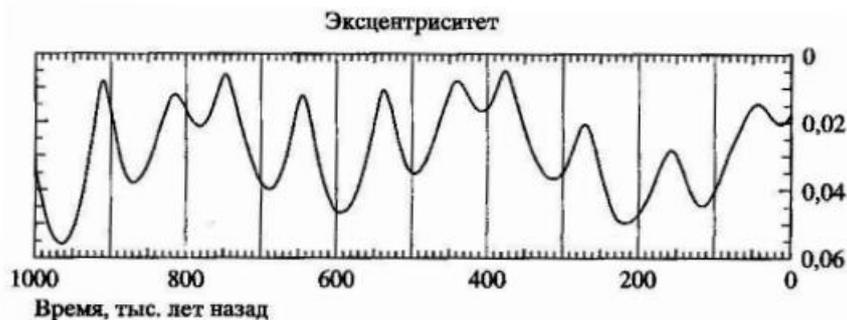


Рисунок 1.7.3. Эксцентриситет земной орбиты в диапазоне нескольких тысяч лет [4]

На рисунке можно видеть разные амплитуды с характерными периодами примерно в 92-93 тыс.лет.

Изменчивость эксцентриситета оказывает существенное влияние на количество приходящей солнечной радиации. Так, например, при приближении значения эксцентриситета к нулю расстояние между Землей и Солнцем будет достигать максимальных значений, и таким образом будет

наименьший приток солнечной радиации к земной поверхности. При увеличении же эксцентриситета расстояние между Землей и Солнцем будет уменьшаться, и солнечная радиация будет доходить быстрее и в большем количестве. Формула, показывающая связь между эксцентриситетом и получаемой солнечной радиацией записывается следующим образом:

$$I = \frac{I_0 T_0}{4\sqrt{1-\varepsilon^2}}, \quad [4]$$

где I_0 – солнечная постоянная, T_0 – продолжительность года, ε – эксцентриситет;

Исходя из современных данных эксцентриситет планетарной орбиты имеет тенденцию к уменьшению, что как следствие может привести к похолоданию.

Анализируя данные прецессии и эксцентриситета для нашего времени (начало XXI века) можно увидеть обоюдные тенденции к похолоданию. Эти выводы идут вразрез с современным устоявшимся взглядом на потепление климата.

1.8. Радиационный баланс. Радиационный баланс Арктического региона.

Исследуя потепление в Арктическом регионе и факторы, влияющие на него, необходимо дать описание теплового баланса Земли и Арктики, в частности. Это нужно для понимания и видения полной картины физических процессов, происходящих в изучаемом регионе, но также и для должной оценки влияния компонентов теплового баланса на климатообразующие процессы.

Арктика очень интересна с точки зрения энергетического баланса. Энергетический баланс столба воздуха от поверхности земной поверхности до верхних слоев атмосферы можно выразить через четыре компоненты:

- 1) Поток тепла с поверхности земли

2) Чистый перенос энергии атмосферы к полюсам земли за счет атмосферной циркуляции

3) Суммарный радиационный баланс в верхних слоях атмосферы

4) Изменение запаса энергии атмосферы (потенциальная и кинетическая энергии, внутренняя энергия и скрытая энергия)

Данная модель ограничена землей и атмосферой. Если выяснится, что столб воздуха ограничен верхним слоем атмосферы и поверхностью океана, то энергетический баланс океан-атмосфера будет представлена из:

1) Изменение запаса энергии океана через скрытое тепло

2) Горизонтальная конвергенция потока явного тепла и горизонтальная дивергенция потока скрытого тепла в виде морского льда

3) Чистый приземный поток тепла, посредством которого взаимодействует атмосфера и океан

Рассматривая годовое исчисление чистой солнечной радиации то заметно, что в Арктике ее количество намного меньше, чем в экваториальном регионе.

Вследствие малого прихода солнечной радиации, высокого значения отражательной способности и отсутствия притока коротковолновой радиации в период полярной ночи значения радиационного баланса для Арктического региона для большей части года отрицательна. Так, например, в районе Центрального полярного бассейна отрицательные значения сохраняются на протяжении восьми месяцев, а на островах и побережье в течение семи месяцев.

Радиационный баланс Арктики положителен лишь в течение 4-5 месяцев. Наибольшие средние многолетние суммы за месяц(июнь) равны в Центральном бассейне $4-6 \text{ ккал/см}^2$. Значения радиационного баланса в июле примерно такие же, как и в умеренных широтах, что связано с большим поступлением лучистой энергии в это время года для высоких широт.

Максимальные значения суммарной радиации для большей части Арктики максимальны в июне. Для более южных пунктов характерны более

высокие значения эффективного излучения. Максимум поглощенной радиации для континентальной Арктики, так же как и суммарной радиации приходится на июнь, для более северных пунктов данные значения имеют тенденцию к смещению на июль. В наиболее северных частях Арктики доля поглощенной радиации в первое полугодие достаточно мало и составляет порядка 20-25%(май) суммарной радиации, а в континентальной части Арктики составляет порядка 40-45% суммарной радиации.

Годовой ход радиационного баланса в месяцы отсутствия солнечного влияния определяется ходом эффективного излучения, а в другие месяцы ходом поглощенной радиации.

2. Течение Гольфстрим и Северо-Атлантическое колебание

2.1. Течение Гольфстрим

Гольфстрим представляет из себя теплое атлантическое течение. Географически оно начинается в Мексиканском заливе, после чего продолжает движение через Флоридский залив, где достигает в широту около 100 км, вдоль Восточного побережья США и Канады. Северо-Экваториальное течение, протекающее от Северной Африки до Вест-Индии, обогащает течение Гольфстрим. Расход воды в течении Гольфстрим составляет порядка 50 млн.м³/с, что примерно в 20 раз больше, чем сток всех рек мира вместе взятых. Гольфстрим является частью североатлантического субтропического круговорота. Он переносит теплую воду из Мексиканского залива до границ Норвежского моря. Когда поступает теплая вода, холодная, более плотная, опускается и начинает двигаться на юг по дну океана практически до Антарктиды. Путь движения Гольфстрим постоянно искажается в следствии перемещения огромных масс теплой воды. Большая часть Гольфстрима движется в северном направлении, где все больше поворачивает на восток доходя до острова Ньюфаундленд. Двигаясь к северу, сила течения начинает увеличиваться, параллельно с чем увеличивается и его расход, и в своем центре течение начинает разгоняться до скорости 2,5 м/с, что характерно для скорости горных рек. Такие относительные скорости наблюдаются вплоть до района большой Ньюфаундлендской банки. После течения разделяется на закрученные течения, называемые вихрями, многие из которых движутся вдоль Британских островов вплоть до Норвежского моря, достигая в широту порядка 500 км, формируя Северо-Атлантическое течение. На юг и восток Атлантического океана текут другие течения, становясь частью протекающих на запад противотоков или присоединяясь к холодному Канарскому течению.

Течение Гольфстрим является системой нескольких крупных течений – Флоридского, Антильского и, собственно, Гольфстрим. (рисунки.2.1.1).

Течение Гольфстрим играет очень важную роль в термическом регулировании океанической системы Атлантики. Главная роль заключается в переносе теплых водных масс из низких широт в северные широты, таким образом оказывая существенное влияние на климат Северной, Западной Европы и для Арктического региона. Район протекания Гольфстрима является сложным и энергозатратным объектом для исследования, так как широта, на которой движется течение, имеет сильную межсезонную изменчивость. Из-за существенных межгодовых мезомасштабных флуктуаций путь и интенсивность Гольфстрима очень трудно предсказывать даже с помощью самых современных моделей циркуляции.

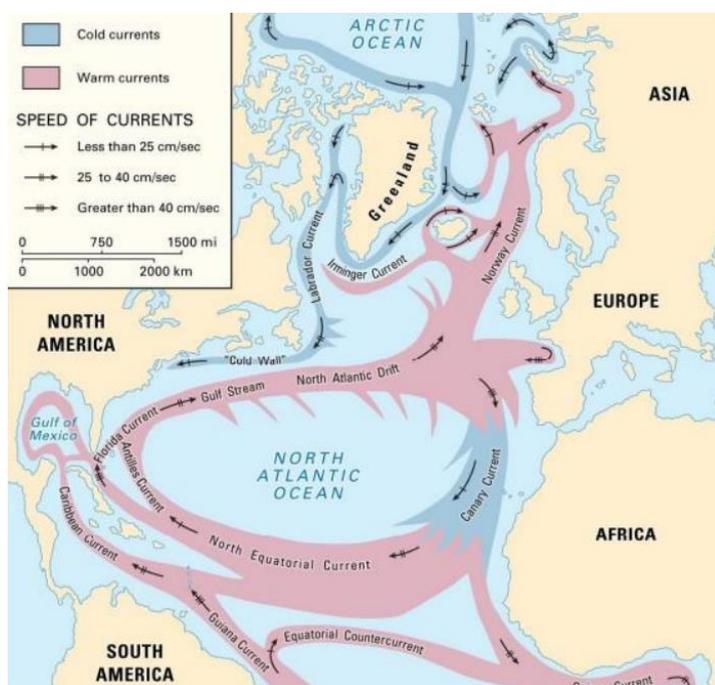


Рисунок.2.1.1. Система океанических течений в Северной Атлантике

Система течений имеет северную и восточную часть в Атлантическом океане. Общая длина системы течений составляет порядка 10 тыс.км, направленная от Флоридского полуострова до Северного полярного бассейна. Вся полная система течений включает в себя теплое течение Гольфстрим, Канарское, Северо-Атлантическое, Флоридское и Норвежское течения. Основным отличием, выделяющим данную систему течений от других,

является резкий гидрологический фронт, высокая температура морской воды, максимальные скорости морских течений.

Еще в середине XIX века учёными было замечено, что Гольфстрим имеет склонность к замедлению. А в середине прошлого века было установлено, что скорость Гольфстрима имеет наименьшие значения за последние полтора тысячелетия. Подобные данные были получены на основе анализа косвенных измерений. Необходимо проследить взаимосвязь в системе океан – атмосфера с целью понять, как изменения климата взаимосвязано с изменениями динамики и широтного расположения течения Гольфстрим. Важность подобных исследований поможет сделать эти природные явления более предсказуемыми и, учитывая хозяйственно-экономическое влияние течения Гольфстрим в Западной и Восточной Европе и Северной Америке, просто необходимыми для дальнейшего обитания человечества на данной территории.

Для более полной оценки изменчивости течения Гольфстрим необходимо брать за основу планомерное исследование индекса широтного смещения GSNW. В нынешнее время есть серьезные данные предполагать, что севернее мыса Хаттерас (Восточное побережье США) течение начинает терять свою устойчивость. Начинают проявляться изменения, связанные с широтным смещением течения.

2.2. Исходные данные

Для выявления динамики Гольфстрима был проведён анализ средних значений и дисперсии индекса Гольфстрима. Для более детального изучения динамики выбран метод аппроксимации изменения индекса за каждый месяц и за год в целом.

Анализ среднемесячных значений индекса позволяет говорить о том, что динамика индекса сильно зависит не только от времени года (например зима или лето), но и имеет сильную чувствительность к месячному ходу.

В нашем исследовании для характеристики течения Гольфстрим используется индекс Гольфстрима GSNW, который описывает положение северной границы Гольфстрима («северной стены») в северной части Атлантического океана на шести долготах: 79°, 75°, 72°, 70°, 67° и 65°з.д.(рис.2). Индекс GSNW есть результат анализа северной границы Гольфстрима в регионе между 79 °з.д. и 65 ° з.д. Положительное значение индекса означает смещение течения на север, а отрицательные – на юг. Для анализа использовались данные, охватывающие период продолжительностью 27 лет – с 1966 по 1993г. Индекс Гольфстрима является мерой изменения в крупномасштабных океанических течениях и был получен на основании данных Плимутской лаборатории [5] (рисунок 2.2.1). Для выявления динамики Гольфстрима был проведён анализ средних значений (среднемесячных и среднегодовых) и дисперсии индекса GSNW.

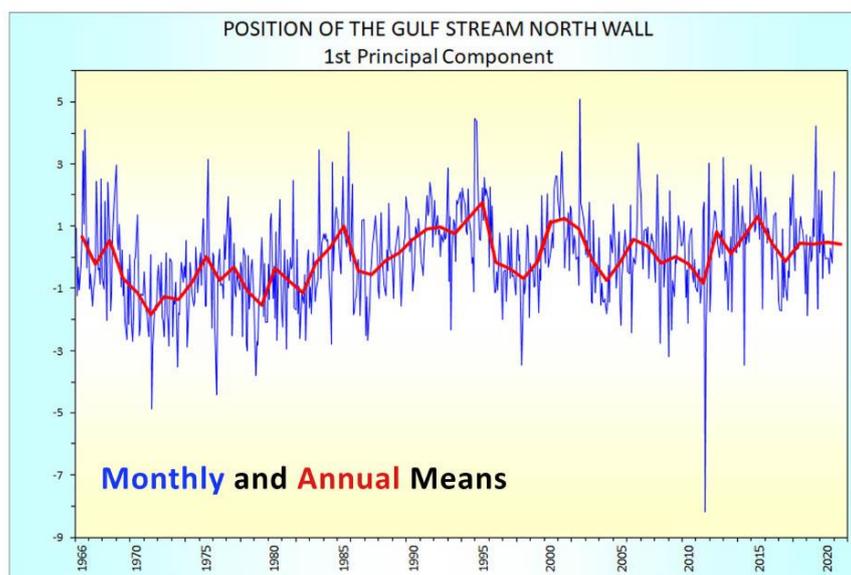


Рисунок 2.2.1. Межгодовые изменения индекса GSNW, полученные на основании данных Плимутской лаборатории. [5]

Существует научная гипотеза, что широта “северной стены” является запоздалой реакцией на атмосферные изменения в северной части Атлантического океана. Особенно отмечается реакция на Северо-

Атлантическое колебание. В результате измерений было выявлено, что индекс GSNW следует за колебаниями с отставанием в два года. Эта модель так же была протестирована на общей модели океан-атмосфера. На широту Гольфстрима так же влияет колебание Эль-Ниньо в экваториальной части Тихого океана.

Из определения индекса Гольфстрима(GSNW) мы знаем, что положительное значение индекса означает смещение течения на север по широте, а отрицательные значения его смещения на юг.

2.3. Общие сведения об индексе Северо-Атлантического колебания NAO (North Atlantic Oscillation)

Для проецирования влияния течения Гольфстрим на климат Арктического региона необходимо анализировать какую связь имеет океаническая характеристика с атмосферной. Для примера было выбрано Северо-Атлантическое колебание и Арктическое колебание.

Индекс NAO получен путем проецирования структуры нагрузки САК на поле суточной аномалии высотой 500 миллибар при 0-90° северной широты.

Положительные фазы NAO, когда Азорский антициклон и Исландский циклон усиливаются, отражает высоты и давление ниже нормы в высоких широтах Северной Атлантики и высоты, и давление выше нормы в центральной части Северной Атлантики, на востоке Соединенных Штатов и в Западной Европе. Характерной синоптической особенностью положительной фазы индекса САК (Северо-Атлантическое колебание) является прохладное лето и мягкая дождливая зима в регионе Северо-Центральной Европы и малым количеством осадков в районе Средиземного моря. Отрицательная фаза иллюстрирует противоположную картину аномалий высоты и давления над этими регионами. Наглядным примером могут служить холодные, дождливые зимы в Северной Европе.

Сильные положительные фазы индекса NAO, как правило, связаны с температурами выше нормы на востоке США и над территорией Северной Европы и температурами ниже нормы над Гренландией и Южной Европе, иногда доходя до Ближнего Востока.

3. Исследование изменчивости динамики Гольфстрима.

3.1. Анализ изменения среднемесячных значений индекса GSNW

В работе были рассмотрены изменения индекса Гольфстрима в период с 1966 по 1993 года и исследован его временной ход и дисперсия значений (рисунки 3.1.1. - 3.1.13).

1) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в январе

Первый скачок повышение индекса Гольфстрима наблюдался в 1967 году, тогда его значение составляло примерно $-0,16$. После этого индекс до 1973 года находилась на точке примерно $-0,5$, после чего началось плавное ежегодное повышение индекса вплоть до $0,2$ в 1977 году. Это был второй скачок повышения индекса. В 1978 году происходит резкое понижение значений индекса вплоть до $-0,27$, что продолжалось до 1979 года. В 1980 году происходит увеличение значений, растягивающиеся на 11 лет, до $1,4$. Третий скачок индекса является максимальным за весь период исследования.

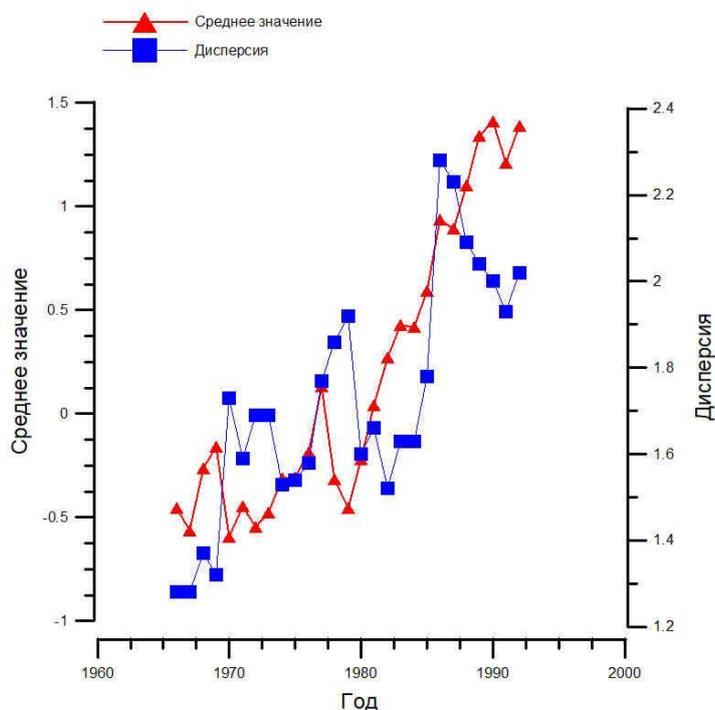


Рисунок 3.1.1. Ход индекса GSNW в январе в период 1966 – 1993 гг.

2) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в феврале

С момента начала измерений динамики индекса Гольфстрима его значения находились на уровне $-1,08$ градусов. Резкое падение значений индекса произошло в 1970 году, тогда значение понизилась до $-1,9$. За весь период февральских наблюдений это единственное резкое и настолько большое понижение значений. Начиная с 1971 года среднее значение индекса имеет свойство постоянно повышаться. Подобное повышение происходит до значений 1 . Само повышение значений исследуемых данных происходит до 1987 года, после чего происходит плавное понижение значений до $0,8$ и с 1991 года вновь происходит рост значений. Разница значений между максимальным и минимальным значениями индекса составляет $2,9$.

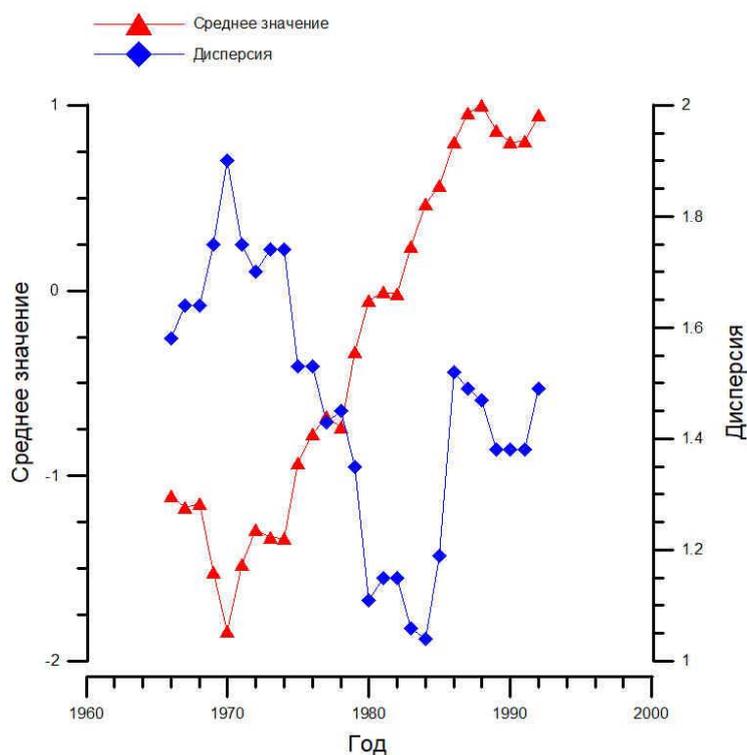


Рисунок 3.1.2. Ход индекса GSNW в феврале в период 1966 – 1993 гг.

3) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в марте

Весь период мартовских измерений характеризуется очень резкими перепадами значений. Минимальное значение -1,1. С 1988 года все значения выше нуля. Максимальное значение 0,82. До 1987 все значения индекса имели отрицательное значение, и только начиная с 1988 года имеют свойство постоянно расти.

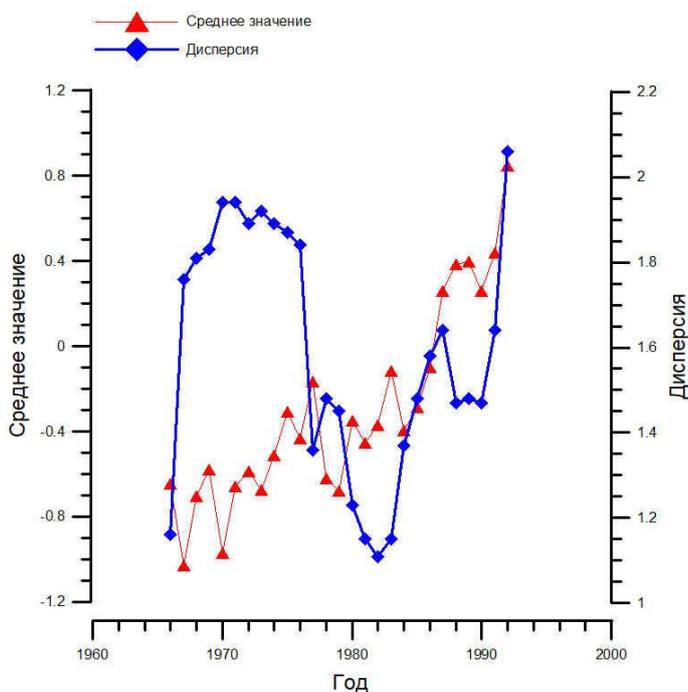


Рисунок 3.1.3. Ход индекса GSNW в марте в период 1966 – 1993 гг.

4) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в апреле

Первое значение индекса составляет -0,97. Начиная с 1965 года происходит резкое увеличение среднего значения индекса до -0,4(1967г.). Самое минимальное значение индекса за весь период измерений произошел в 1978 году. Значения измеряемой величины в этом году составило -0,99. А начиная с 1979 года происходит постоянное увеличение значений, заметим очень резкое увеличение значений, не терпящих ни малейшего понижения столбика динамики индекса, вплоть до 0,4. Подобный пик происходил в 1988 году. В 1989 году индекс начинает понижаться, достигая значений -0,21, после чего, с 1992 года вновь начинает повышаться.

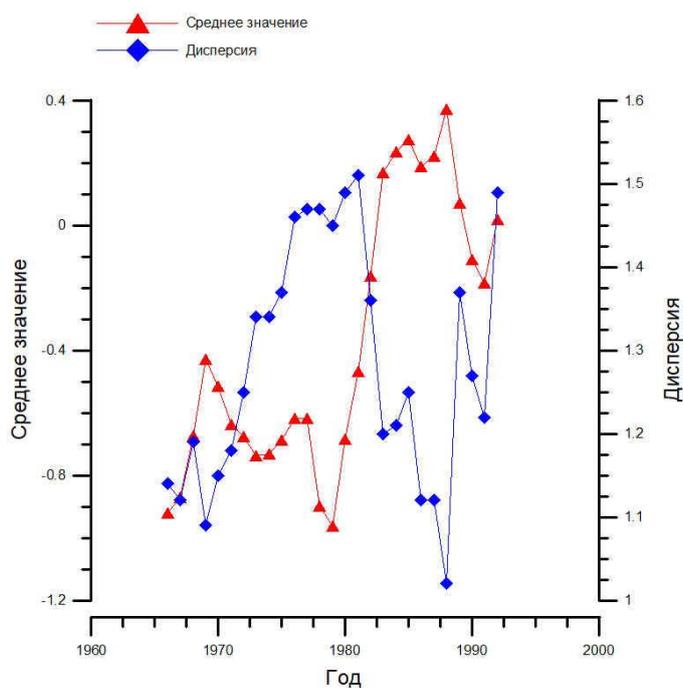


Рисунок 3.1.4. Ход индекса GSNW в апреле в период 1966 – 1993 гг.

5) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в мае

Первое значение индекса составляет -0,75. До 1971 года происходит плавное, без резких перепадов, уменьшение индекса вплоть до значений -1,5. Начиная с 1972 года наблюдается тенденция повышения индекса с небольшими изменениями на сотые доли значений с 1974 по 1975 и 1976 по 1977 годы. Повышение длится до 1985 года и составляет значение 0,75. С 1986 года происходит понижение значений индекса до 0,4.

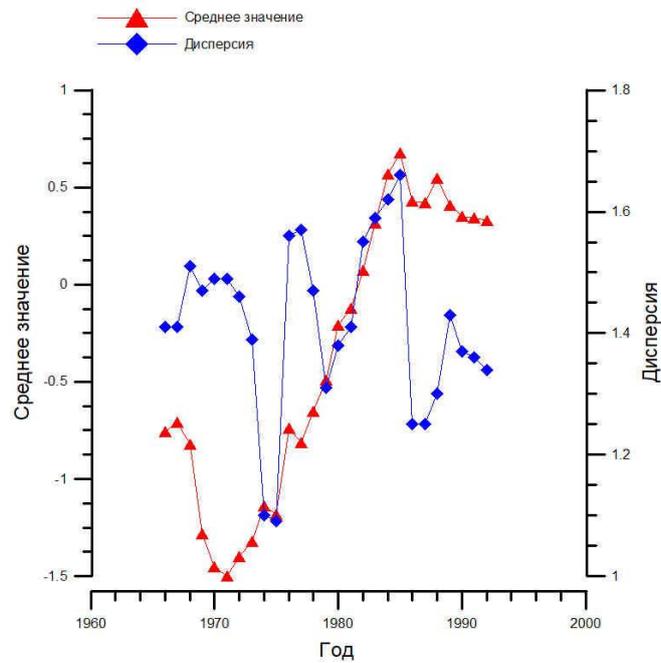


Рисунок 3.1.5. Ход индекса GSNW в мае в период 1966 – 1993 гг.

б) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в июне

С 1965 по 1976 года динамика изменений индекса Гольфстрима демонстрирует скачкообразный характер. Интервал значений варьируется в пределах от -0,45 до -1,0. В 1978 году значения индекса, начиная с -0,7, растут в своих показателях до 0,65(1984 год). Отметим, что все значения индекса до 1983 года находились в значениях ниже нуля, после 1978 значения постоянно растут и находится выше нулевой отметки.

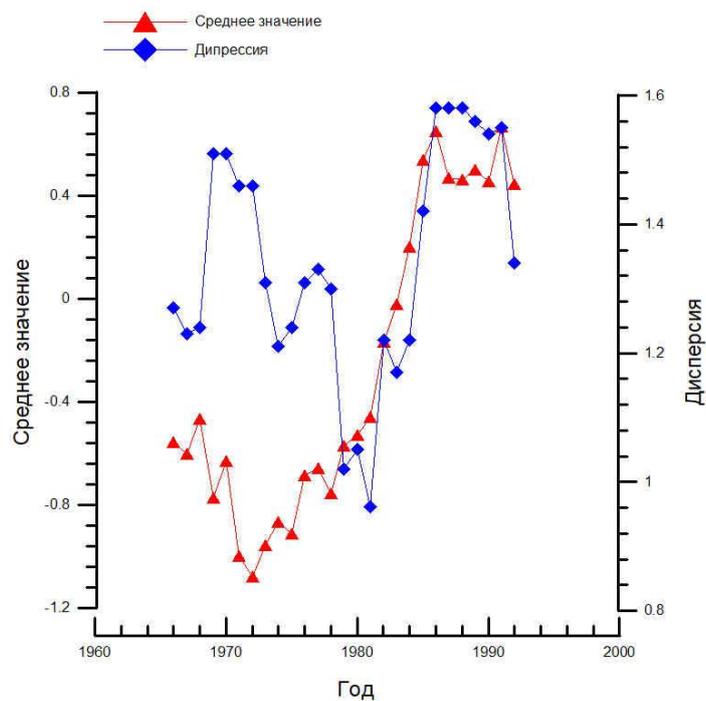


Рисунок 3.1.6. Ход индекса GSNW в июне в период 1966 – 1993 гг.

7) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в июле

Первые значения индекса в 1966 году составляют -0,5. Самое низкое значение зафиксировано в 1967 году и составило -1,2. После этого происходит рост значений до -0,25(1972г.). С 1972 по 1982 года происходят колебания в интервале от -0,25 до -0,5. С 1982 до 1988 года происходит постоянное увеличение значений с -0,25 до 0,5. После 1984 года все значения принимают значения выше нуля. После 1988 года происходит резкое падение значений до 0,2, но ниже нуля значения не опускаются.

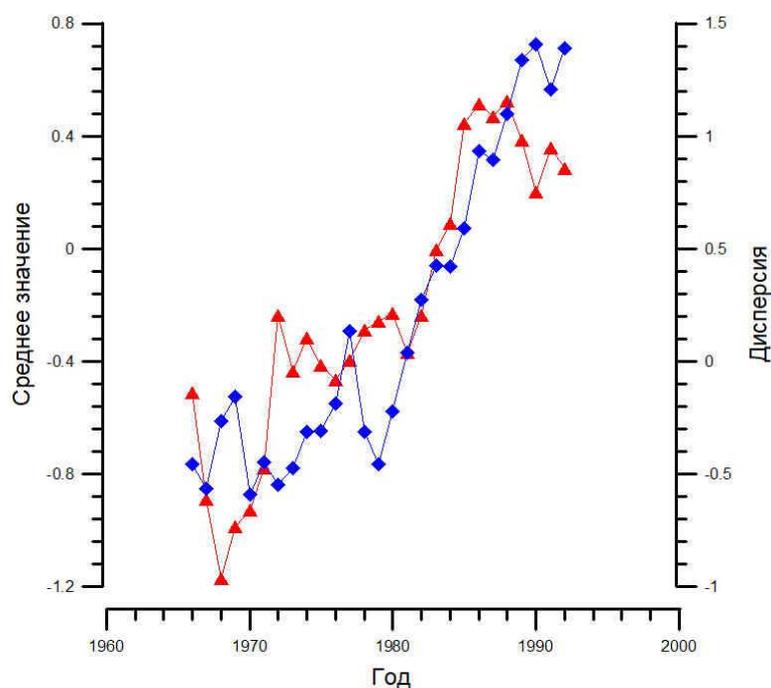


Рисунок 3.1.7. Ход индекса GSNW в июле в период 1966 – 1993 гг.

8) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в августе

Первое значение фиксируется на отметке -0,9. С 1966 по 1970 года значения индекса варьируются примерно на отметке -1,1 с небольшим разбросом в 0,5 значений в сторону минуса. С 1970 по 1974 года наблюдается резкий рост значений индекса. В 1974 году шкала значений пересекает нулевую отметку и составляет 0,1. Начиная с 1975 и продолжая в 1976 годах значения индекса стали уменьшаться и достигли минусовых значений, а точнее -0,22. С 1977 по 1982 года происходит постоянный рост индекса. Он достигает значений 0,8, что является самым высоким значением за весь период измерений. В 1984 году значения индекса опустилось до 0,39 после чего держалась в диапазоне от 0,5 до 0,65. Начиная с 1986 года все значения индекса принимают значения выше нуля.

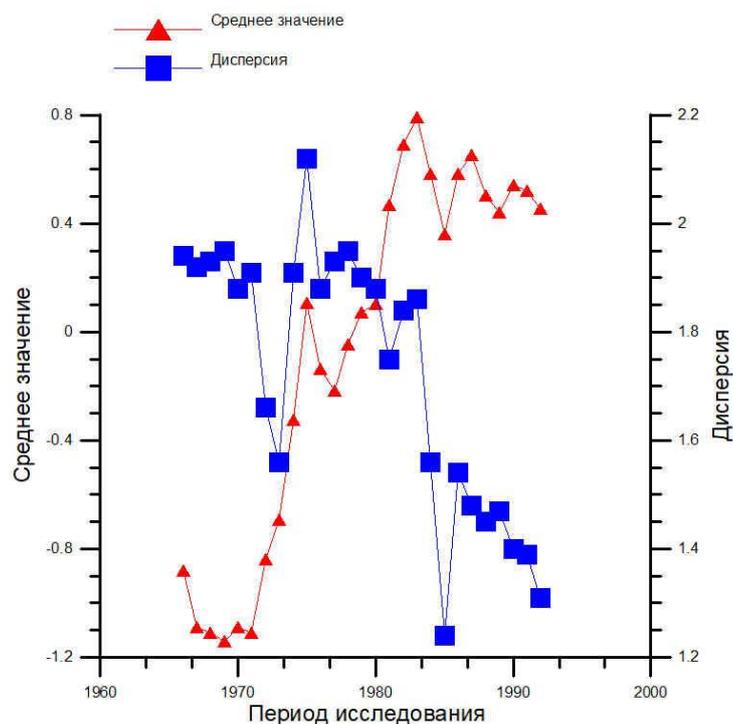


Рисунок 3.1.8 Ход индекса GSNW в августе в период 1966 – 1993 гг.

9) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в сентябре

В отличие от всех предыдущих ежемесячных анализов динамики индекса график за сентябрьские данные не имеет резких перепадов значений. В 1965 году значение составляет -0,5. В период с 1966 по 1968 года значения принимают самые низкие показатели в пределах от -1 до -1,1. С 1969 по 1984 года происходит постоянный рост индекса, начиная с -0,85 до 1,4. С 1985 по 1989 годы значения немного уменьшились до 0,9. После 1988 года все значения индекса выше нуля.

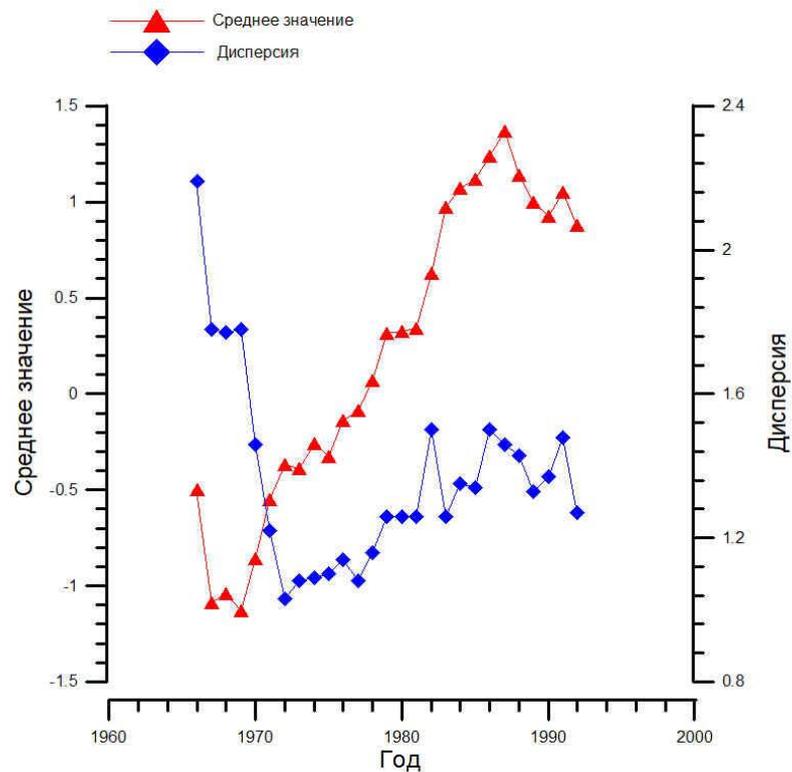


Рисунок 3.1.9 Ход индекса GSNW в сентябре в период 1966 – 1993 гг.

10) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в октябре

Первое значение -0,82. В 1969 году замечено самое низкое значение за весь период октябрьских исследований. Значение составило -1. С 1970 по 1984 года происходит линейное увеличение значений с небольшим понижением в период с 1981 по 1983 года. С 1984 по 1993 происходит плавное уменьшение значений индекса до 0,7. С 1973 года все значения выше нуля.

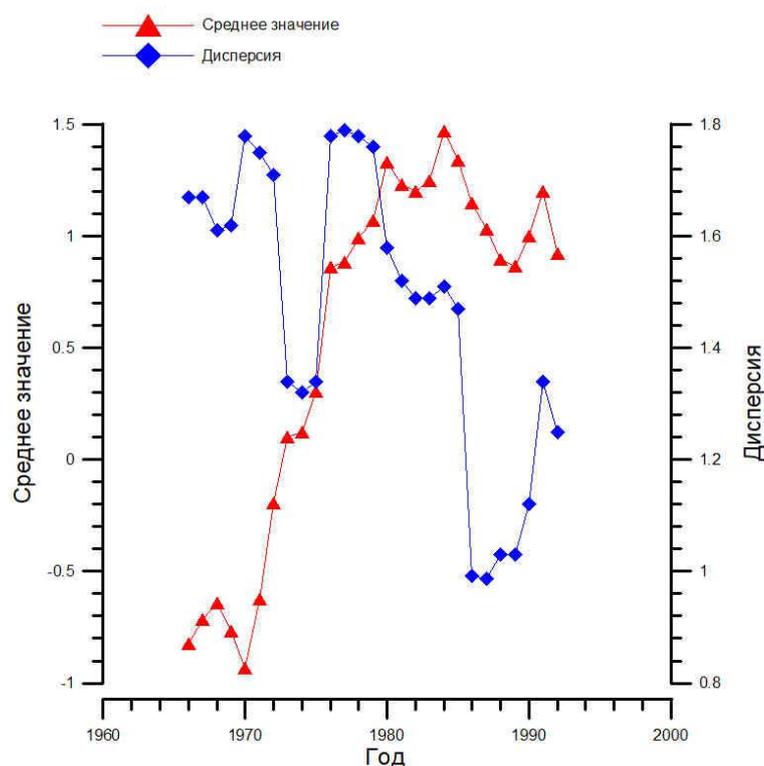


Рисунок 3.1.10. Ход индекса GSNW в октябре в период 1966 – 1993 гг.

11) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в ноябре

Первое значение индекса Гольфстрима за период ноябрьских исследований – (-0,35). В последующие три года, 1966 – 1968 гг., происходил заметный спад значений до -1,05. На временном промежутке 1969 – 1973 годов наблюдалось повышение индекса. Данное увеличение индекса не имеет резкого повышения значений, и характеризуется плавностью. Отличным характером является увеличение значений, начиная с 1974 года. С 1974 по 1983 года происходит резкое увеличение значений индекса. Через каждые 2-3 года происходит увеличение на несколько десятых долей шкалы. После 1977 года значения пересекают нулевую отметку и после этого постоянно держатся в зоне выше нуля. Увеличение происходит в значениях от -0,45 до 1,1. Максимальное значение – 1,1. В период 1985 по 1989 годов происходит уменьшение индекса с 1,04 до 0,39.

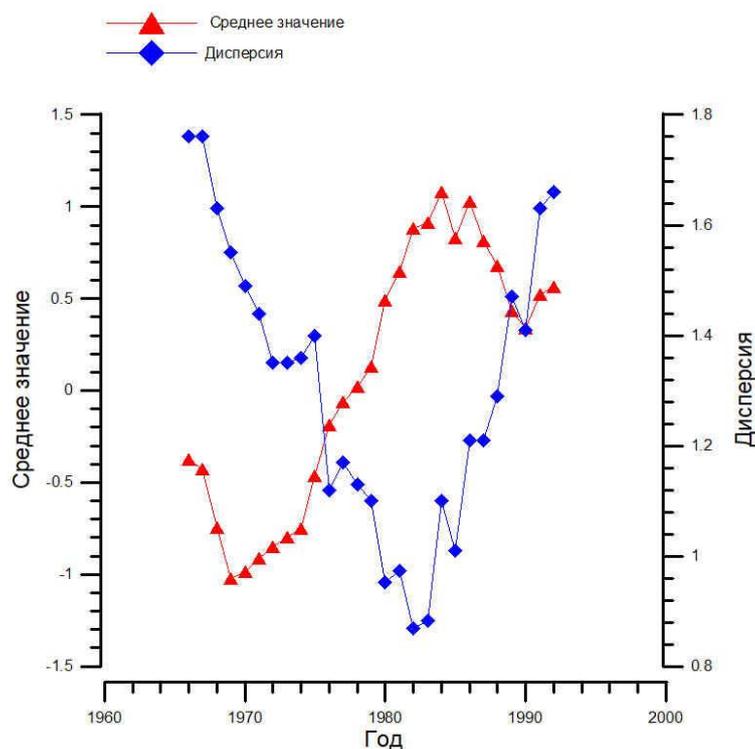


Рисунок 3.1.11. Ход индекса GSNW в ноябре в период 1966 – 1993 гг.

12) Среднегодовые изменения значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 годов в декабре

Отличительная черта декабрьских измерений – все значения находятся в шкале выше нуля. Первое значение составляет 0,7. С 1966 по 1968 года происходит падение значений до 0,4. Это самое низкое значение индекса за весь период. С 1969 по 1993 год происходит увеличение значений с локальными уменьшениями в 1978, 1980, 1985 и 1990 года. Данные изменения не более двух десятых долей шкалы. Максимальное значение – 1,75.

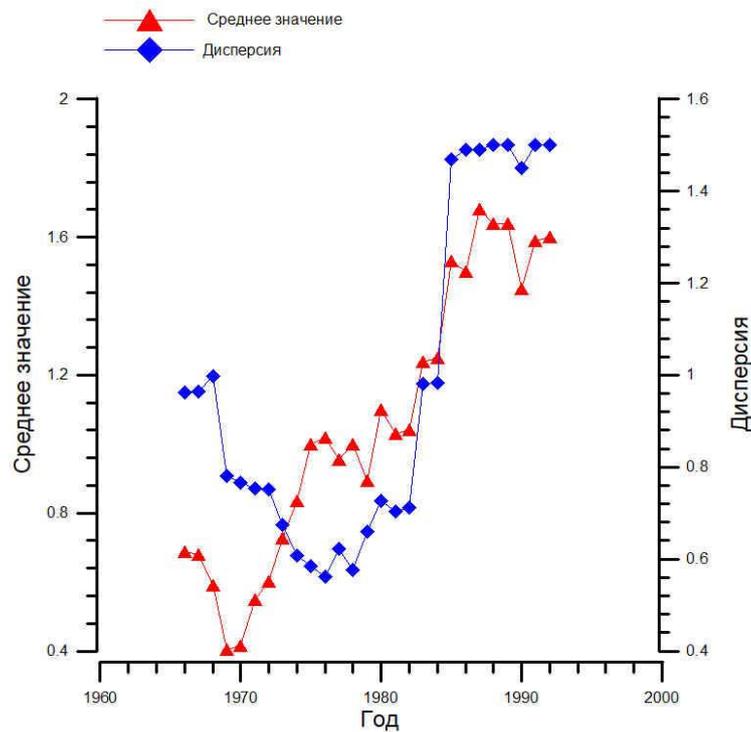


Рисунок 3.1.12. Ход индекса GSNW в декабре в период 1966 – 1993 гг.

- 13) Изменения среднегодовых значений индекса GSNW период 1966 – 1993 гг.

Данный график характеризует динамику индекса не за определенный месяц, а в межгодовом интервале. Подобный метод является своего рода обобщением всего метода измерений. Первое значение -0,65. С 1966 по 1969 года происходит уменьшение значений до предела -0,98. Данное значение является минимальным во весь период исследования. В период 1970 – 1987 года происходит увеличение значений индекса в диапазоне от -0,89 до 0,75. Как можно заметить, с 1970 года происходит постоянное увеличение индекса. Данное увеличение не характеризуется скачкообразностью, а имеет вид линейного увеличения, что может означать направленное изменение.

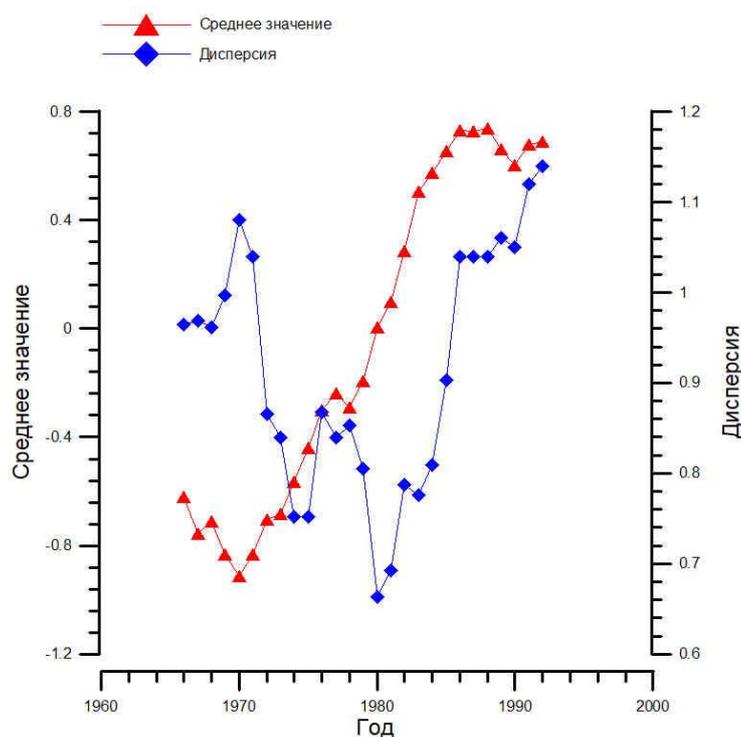


Рисунок 3.1.13. Ход средних межгодовых значений индекса GSNW в период 1966 – 1993 гг.

Отличительным месяцем из всех можно назвать декабрь. Индекс Гольфстрима на всем протяжении данного месяца имеет исключительное положительное значение. Из чего можно сделать вывод – в декабре широтный индекс не носит характер месячной изменчивости, что не характерно для остальных месяцев, в которые индекс смещается из отрицательного значения в положительное.

Основной вывод, сделанный из приведенных выше графиков - на протяжении всего исследуемого периода индекс Гольфстрима вел себя скачкообразно. Только в январе и в июле наблюдается рост индекса за весь исследуемый период. При этом, в январе индекс меняется от -1 до 1,5, а в июле от 1,2 до 0,8. Изменениям в январе присуща большая изменчивость значений (дисперсия достигает 2.5).

С 1960 по 1976 года, как можно увидеть из месячных графиков, широтное смещение всегда имело отрицательное значение (за исключением

декабря). Заметим, что в первое полугодие индекс не сильно торопится принимать положительные значения. С января по август отрицательные значения держатся до, примерно, 1982-1986 годов, с наибольшим временным оттягиванием в сторону начала года. А уже начиная с сентября индекс стал переходить на сторону положительной шкалы с невероятной скоростью. Вплоть до того, что в исследованиях за октябрь индекс Гольфстрима перешел через нулевую отметку в 1972 году. Следовательно, в декабре ход индекса имеет исключительно положительные значения. Начиная с января широтный индекс Гольфстрима снова начинает принимать отрицательные значения. Из всего вышесказанного следует сделать вывод, что Гольфстрима период с сентября по декабрь имеет постоянную тенденцию к смещению в северном направлении. Говоря простым языком первую половину года течение по широте смещается в южном направлении, а вторую половину года смещается в северном направлении.

4. Связь индекса Гольфстрима и Северо-Атлантического колебания

Во второй части данной работы была поставлена задача определить корреляционную связь между течением Гольфстрим и Северо-Атлантическим колебанием. Как уже было сказано выше течение Гольфстрим имеет взаимнообратную связь с атмосферой. Данная связь была обнаружена учеными во второй половине XX века. Данное взаимовлияние заметно для всего земного шара, но более сильно оно проявляется в полярных регионах. Для сравнения характеристик течения Гольфстрим и Северо-Атлантического колебания был взят сравнительный анализ их индексов – индекс GSNW и индекс NAO. Данные индекса GSNW были взяты с сайта Плимутской обсерватории (Великобритания) [5], полные данные представлены в приложении 1. Информация об индексе NAO находится на сайте Национального Центра Экологической Информации США (National Centers for Environmental Information). Данные индекса NAO находятся в приложении 2.

4.1. Сравнение характеристик и анализ данных

Данные сравнительного анализа индекса NAO и индекса GSNW представлены на рисунках 4.1.1 - 4.1.13. Представлены данные среднемесячных значений и межгодовой ход.

1) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в январе

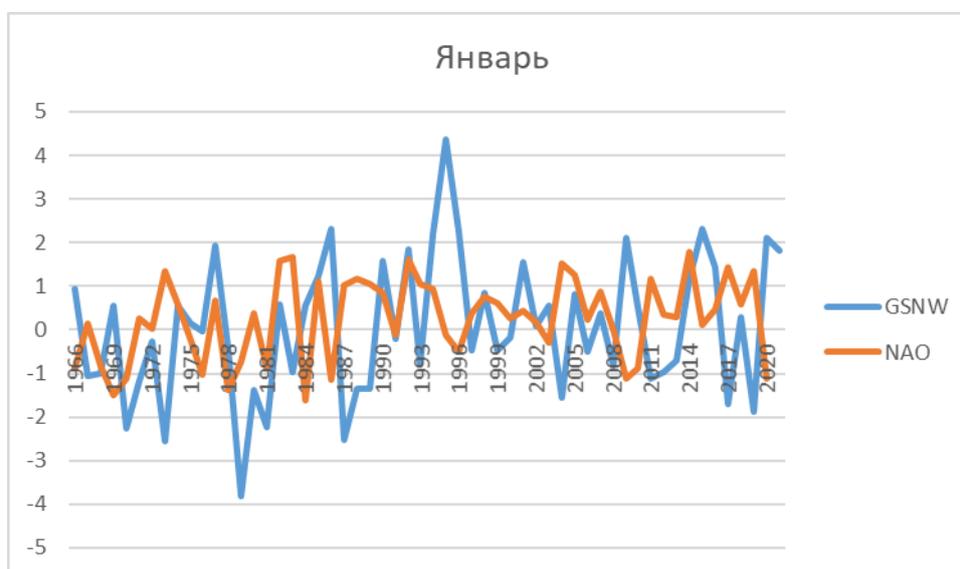


Рисунок 4.1.1. Значения индексов GSNW и NAO для января за период 1966 – 2021 гг.

Анализируя межгодовой изменчивость значений индекса GSNW виден его нерегулярный ход. С 1966г. индекс имеет скачкообразный ход с амплитудой 3. После чего в 1977г. происходит повышение значений до уровня 1.96, и в 1979г. падение до -3.92. В 1979г. значение является самым минимальным для всего периода измерений в Январе. В 1995г. индекс Гольфстрима имел максимальное значение для всего периода исследований. С 1996 по 2021г. индекс GSNW имеет скачкообразный ход с амплитудами значений около 4.

Индекс NAO имеет более “спокойный” ход значений. Динамика значений на весь период измерений находится в пределах от -1.8 до 1.7. Максимальное значение зафиксировано в 2011г. и имеет значение 1.79. Минимальное значение -1 в 2020г.

Коэффициент корреляции между индексом GSNW и NAO в Январе составил 0.23.

2) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в феврале

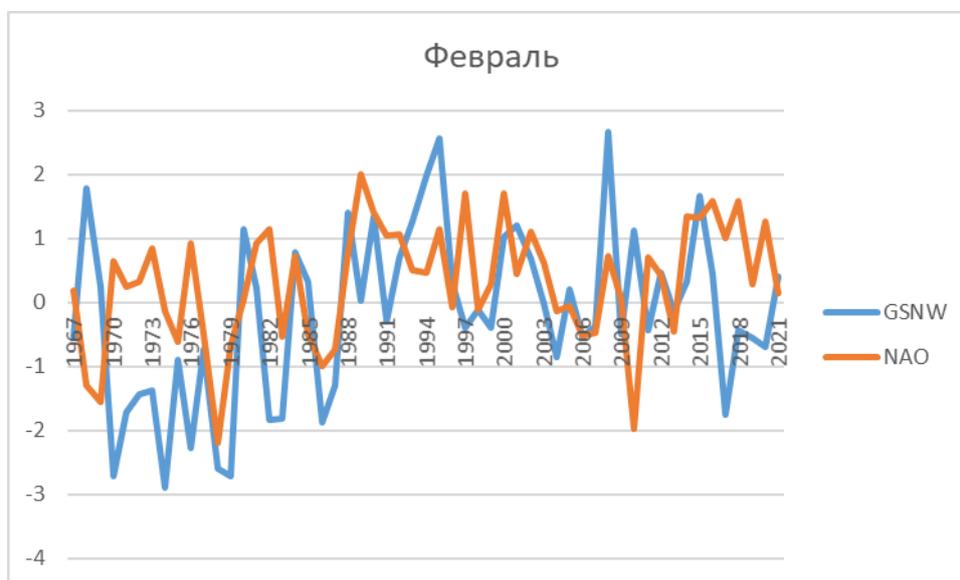


Рисунок 4.1.2. Значения индексов GSNW и NAO для Февраля за период 1966 – 2021 гг.

Диапазон значений индекса GSNW в Феврале находится в пределах от -2.9(1974г) до 2.67(2008г). С 1970 по 1979гг. значения имеют исключительно отрицательные значения варьируясь в интервале от -2.9 до -2.2. В 1980г. происходит резкое увеличение до 1.15. Максимальное значение индекса Гольфстрима наблюдалось в 2008 году (2.67).

Индекс NAO имеет тенденцию на увеличение. Минимальное значение зафиксировано в 1978г. и составляет -2.2. Максимальное значение зафиксировано в 1989г.(2). В 1968г. произошло резкое увеличение значений индекса с -0.6 до 1.8. В период с 1970 по 1979 гг. данные индекса держались на отрицательных значениях. (от -1 до -3). С 1986 по 1989 гг. происходило увеличение до 2. После чего происходило понижение коэффициентов значений до 2010 года. Пик отрицательной тенденции происходил в 2010г. и составлял -2. С 2011г. видна положительная тенденция.

Коэффициент корреляции между индексом GSNW и NAO в Феврале составил 0.25.

3) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в марте

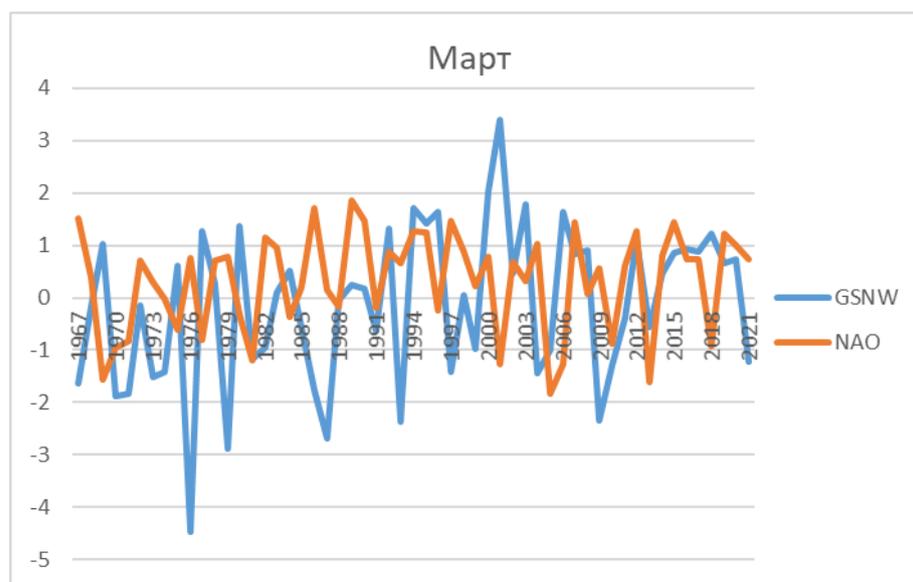


Рисунок 4.1.3. Значения индексов GSNW и NAO для Март за период 1966 – 2021 гг.

В марте индекс GSNW не имеет постоянных перепадов значений выше и ниже нуля. Индекс имеет резкие перепады значений, но эти значения находятся в диапазоне от -3 до 1.7. Отличительными годами являются 1976 год, где значение составляло -4.5, и 2001 г. где значение индекса составляло 3.3.

Индекс NAO имеет положительную тенденцию на всем протяжении измерений. В 1967г. значение составляло 1.5, после чего до 1969г. значения падали до уровня -1.6. После чего до 2001г. амплитуда значений составляло не более 3 (интервал от -1 до 2). В 2005г. индекс понизился до -1.9. После чего тенденция имела положительный тренд вплоть до наших дней.

Коэффициент корреляции между индексом GSNW и NAO в Марте составил -0.07.

4) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в апреле

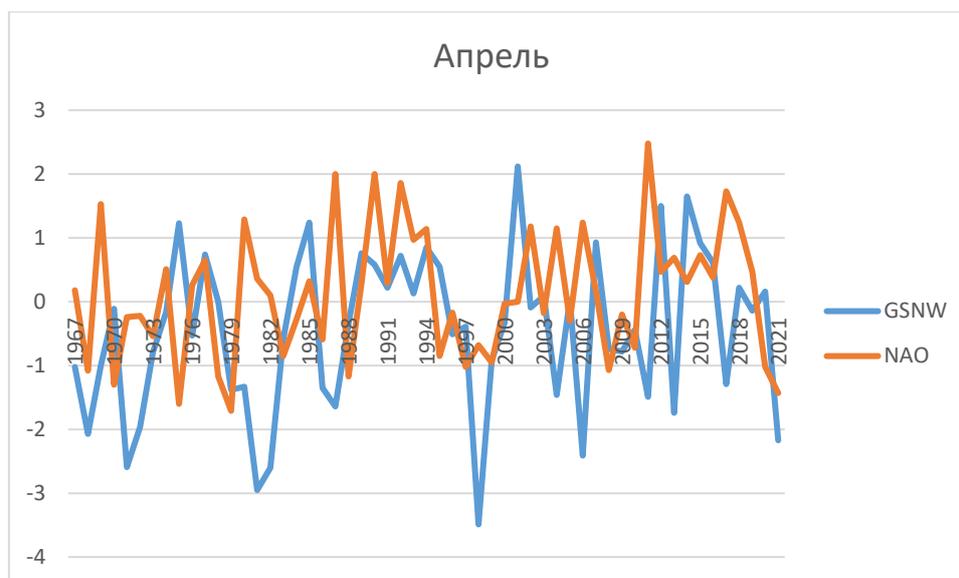


Рисунок 4.1.4. Значения индексов GSNW и NAO для Апреля за период 1966 – 2021 гг.

Индекс GSNW имеет большой разброс значений в пределах от -3.4(1998г.) до 2.1(2001г). Минимальное значение приходится на 1998г. и имел значение -3.5. С 1999г. начинается подъем значений до максимального значения за срок в 2001г(2). Для настоящего времени можно увидеть резкое падение значений в 2020 году, а в 2021 году значение составило -2.1.

Индекс NAO имеет амплитуду около 3. Минимальное значение зафиксировано в 1979г. и составил -1.7. Максимальное значение происходило в 2011г. и составил 2.4. Также как и индекс GSNW индекс NAO с 2017 года имеет тенденцию к падению значений с 1.7 до -1.3.

Коэффициент корреляции между индексом GSNW и NAO в Апреле составил 0.04.

5) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в мае

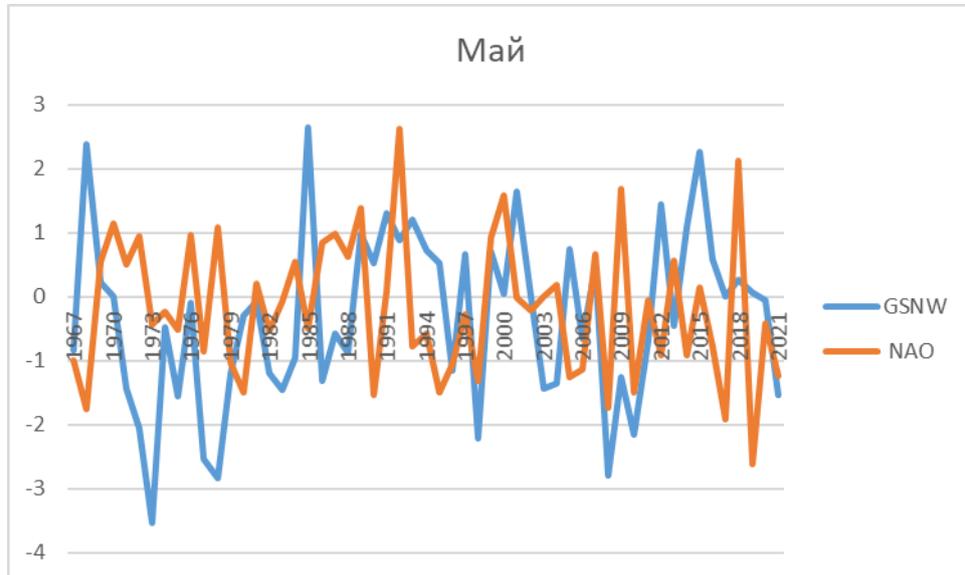


Рисунок 4.1.5. Значения индексов GSNW и NAO для мая за период 1966 – 2021 гг.

Начиная с мая амплитуды значений начинают постепенно увеличиваться. Индекс GSNW имеет амплитуду, между максимальным и минимальным значениями, порядка 6. Максимальное значение зафиксировано в 1985 году и составило 2.7. Минимальное значение составило -3.5(1972г).

Индекс NAO так же растягивает свои значения, имея амплитуду от -2.7 до 2.6. Максимальное значение приходится на 1992г. и составило 2.6. Минимальное значение зафиксировано в 2019г. и составило -2.7.

Коэффициент корреляции между индексом GSNW и NAO в Мае составил 0.02.

б) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в июне

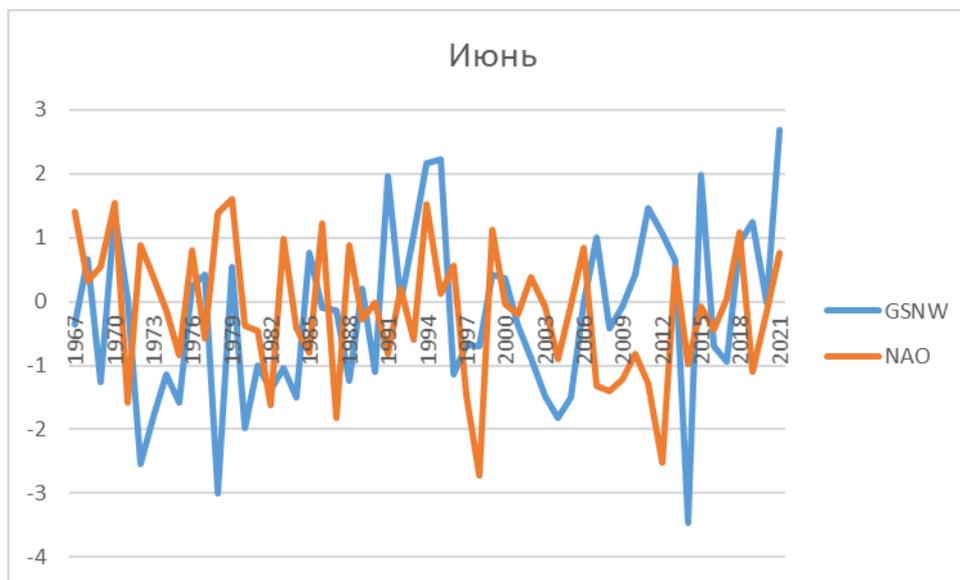


Рисунок 4.1.6. Значения индексов GSNW и NAO для июня за период 1966 – 2021 гг.

В июне значения индекса Гольфстрима в период с 1967 по 1990 гг. имеет большую склонность к отрицательным значениям в диапазоне от 1.4 до -3. В 1995г. произошло увеличение значения до 2.2. С 1996г. начинается резкое падение значений до -1, после чего происходит динамика от -1.9 до 1.4. В 2014 году зафиксировано минимальное значение на уровне -3.4. Максимальное значение получено в 2021г. и составило 2.8.

Минимальное значение индекса NAO в 1998г. составило -2.9. Максимальное значение составило 1.6 в 1979г. Амплитуда значений индекса варьируется от -2.5 до 1.5. В 2019г. происходит увеличение значений индекса.

Коэффициент корреляции между индексом GSNW и NAO в Июне составил 0.02.

7) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в июле

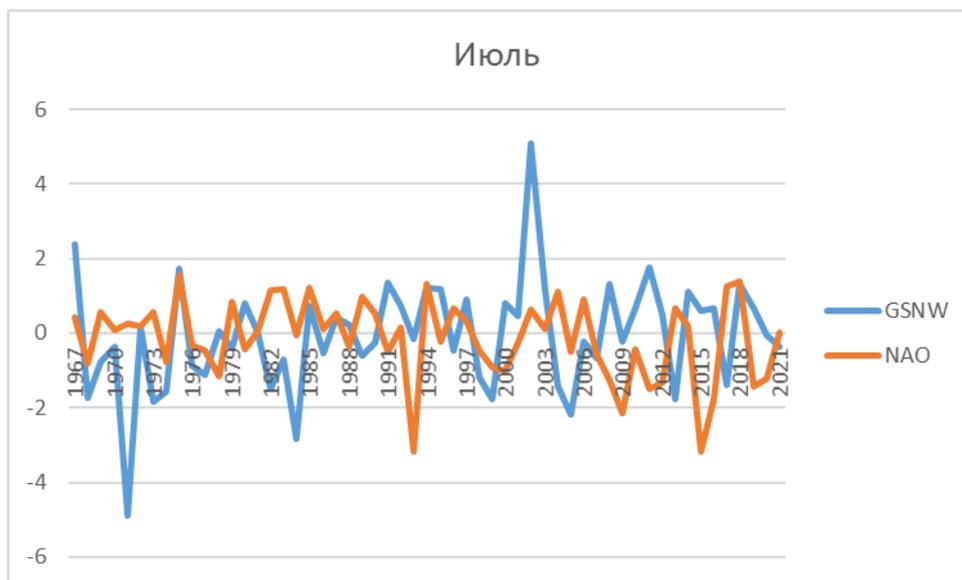


Рисунок 4.1.7. Значения индексов GSNW и NAO для июля за период 1966 – 2021 гг.

В июле среднемесячный ход ведет себя неординарно. Амплитуда индекса GSNW составляет порядка 10. Но если мы не примем во внимание максимальное и минимальное значения в 1971 и 2002 годах, то амплитуда составляет порядка 4. Значения в 1971 и 2002 годах имеют большой интерес своим резким увеличением и понижением.

Индекс NAO ведет себя более стабильно. Амплитуда значений для всего исследуемого срока составляет порядка 4. Минимальное значение наблюдалось в 1993 году, где составило -3. Максимальное значение в 2018 году (1.5).

Коэффициент корреляции между индексом GSNW и NAO в Июле составил -0.03.

8) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в августе

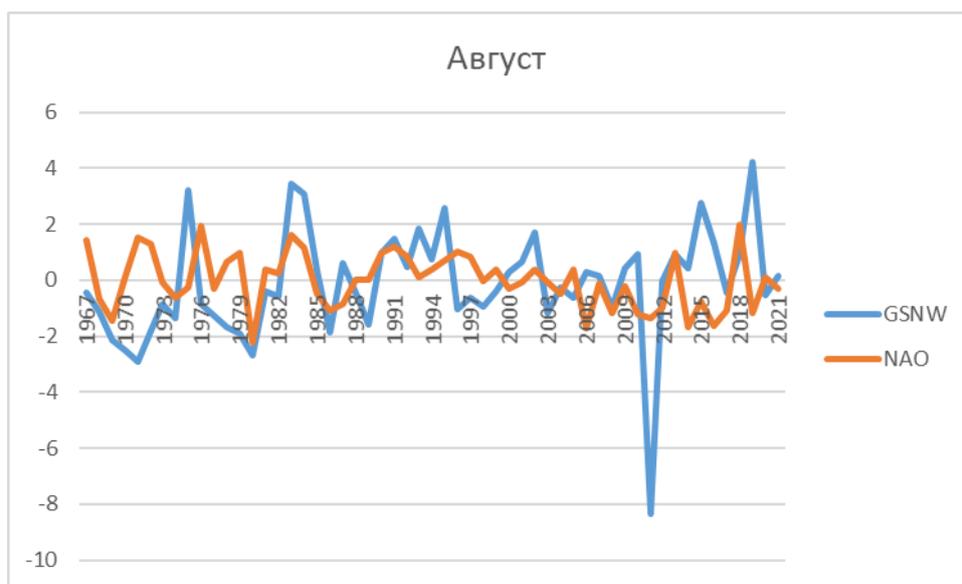


Рисунок 4.1.8. Значения индексов GSNW и NAO для августа за период 1966 – 2021 гг.

Августовские значения индекса GSNW варьируются в интервале от -2 до 2, за исключением 1975, 1983, 1995, 2015 и 2019 годов, когда значения индекса превышали среднестатистический порог. Отличительным годом является 2011 год, когда значение индекса опустилось до отметки -8.37. Индекс NAO имеет амплитуду от -2 до 2. Максимальные значения зафиксированы в 1976 и 2018 годах и составили 2. Минимальное значение обнаружено в 1980 году и составило -2.

Коэффициент корреляции между индексом GSNW и NAO в Августе составил 0.15.

9) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в сентябре

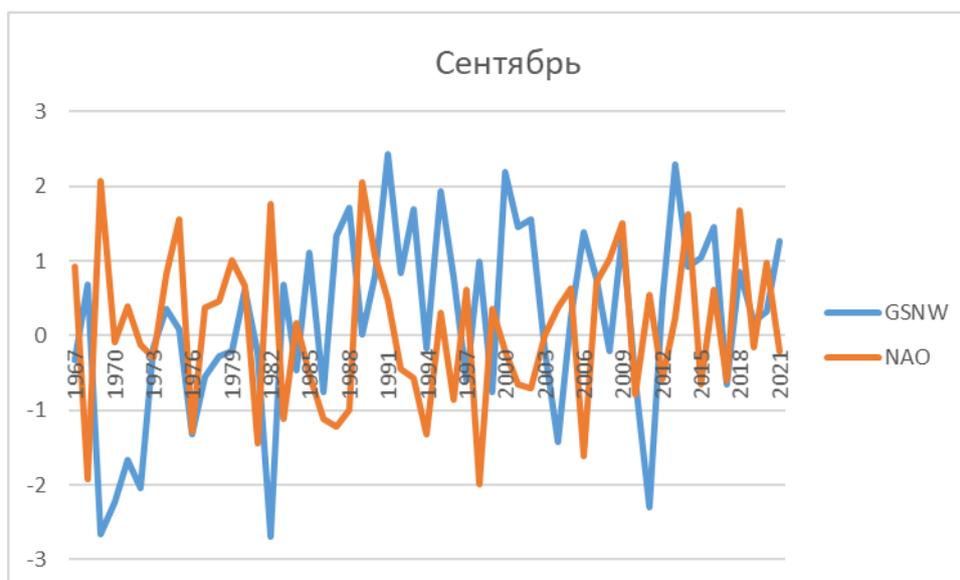


Рисунок 4.1.9. Значения индексов GSNW и NAO для сентября за период 1966 – 2021 гг.

В сентябре значения индекса NAO имеют максимальную амплитуду 4. Максимальные значения зафиксированы в 1969 и 1989 годах. Самое отрицательное значение зафиксировано в 1998 году и составило -2. Начиная с 2020 года индекс уменьшает свое значение.

Индекс GSNW имеет высокие колебания. Максимум зафиксирован в 1991г. и составил 2.4. Также высокие значения были зафиксированы в 1995, 2001 и 2013 годах. Минимальные значения зафиксированы в 1969, 1982 годах и составили -2.7.

Коэффициент корреляции между индексами GSNW и NAO в Сентябре составил -0.22.

10) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в октябре

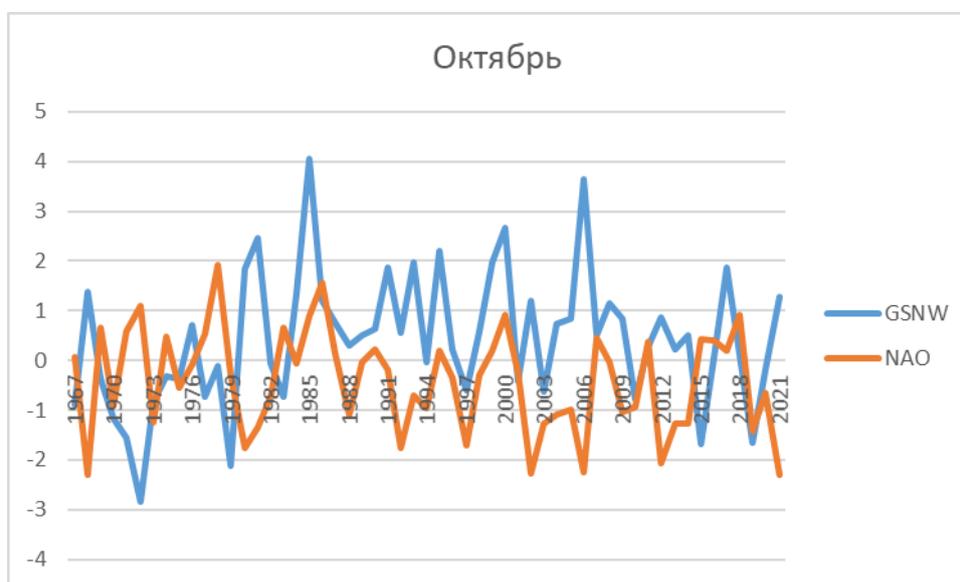


Рисунок 4.1.10. Значения индексов GSNW и NAO для октября за период 1966 – 2021 гг.

В Октябре значения индекса NAO имеют максимальную амплитуду 4.2. Максимальные значения зафиксированы в 1978 и 1986 годах. Самое отрицательное значение зафиксировано в 1968 году и составило -2.3. Начиная с 2020 года индекс уменьшает свое значение до уровня -2.2 в 2021г.

Индекс GSNW имеет колебания в пределах от -2.9 до 4. Максимум зафиксирован в 1985г. и составил 4. Также высокие значения были зафиксированы в 2006 году. Минимальные значения зафиксированы в 1972, 1979 годах и составили -2.9 и -2.

Коэффициент корреляции между индексами GSNW и NAO в октябре составил -0.14.

11) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в ноябре

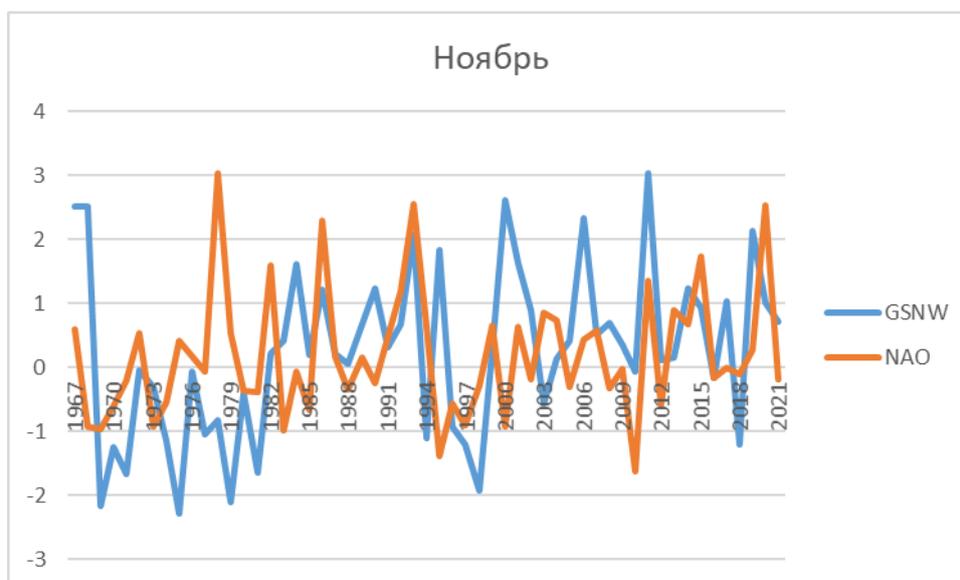


Рисунок 4.1.11. Значения индексов GSNW и NAO для ноября за период 1966 – 2021 гг.

В 1967 году значение индекса GSNW находилось на уровне 2.5, после чего происходит резкое падение до уровня -2.1. До 1982 года значения индекса не превышают нулевой отметки, после чего происходит повышение значений до максимума 1994 года где составил 2. Минимальное значение зафиксировано в 1998 году(-2). Максимумы зафиксированы в в 2000 и 2011 годах и составили 2.6 и 3 соответственно. Индекс NAO имеет максимум в 1977г. и составляет 3. Также высокие значения зафиксированы в 1986,1993 и 2020 годах.

Коэффициент корреляции составил 0.19.

12) Среднемесячный ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг. в декабре



Рисунок 4.1.12. Значения индексов GSNW и NAO для декабря за период 1966 – 2021 гг.

Значения индекса GSNW в декабре для периода 1966-2021 гг. характеризуется высокой амплитудой, что особенно заметно для периода 1994-2008 гг., когда значения индекса изменились с 4.47 до -3.1. Максимальные и минимальные значения индекса соответствуют данным годам. Также высокие значения наблюдались в 1968 году (3), 2012, 2014 и 2020 году. Индекс NAO имеет нерегулярный ход, но с меньшей амплитудой, чем индекс Гольфстрима. С 1967 по 1974 года значения индекса имеют рост до значения 1.5, после чего происходит уменьшение значений до -1.6. Можно заметить почти похожую картину уменьшения значений для индекса Гольфстрима. Отличается только запаздыванием в три года. Симметричные увеличения значений двух индексов наблюдаются в 1994, 2004 и 2006 годах. В период 2012 – 2015 годов заметна похожая динамика в попеременном увеличении и уменьшении значений. Коэффициент корреляции индексов GSNW и NAO составляет 0.17.

- 13) Среднегодовой ход значений индексов GSNW и NAO в период 1966 – 2021 гг.

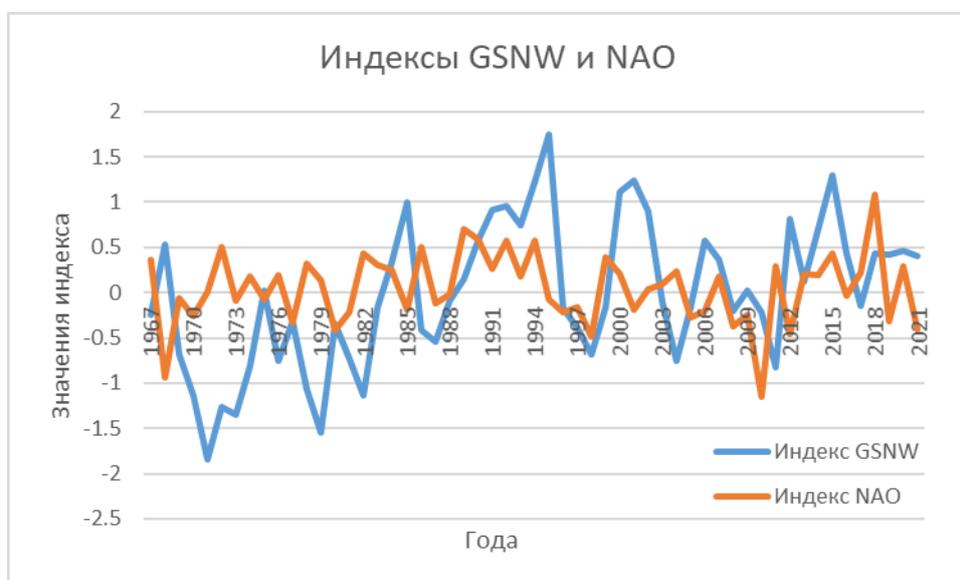


Рисунок 4.1.13. График межгодового хода значений индексов GSNW и NAO для периода 1966 – 2021 гг.

Межгодовой ход значений индексов GSNW и NAO имеет нерегулярный ход. В период с 1967 по 1986 года значения индексов имеют симметрично противоположные значения. На всем протяжении хода индексов Гольфстрима и САК можно наглядно увидеть как индекс NAO оказывает взаимовлияние от океана, но в интервале порядка 2-3 лет.

Коэффициент корреляции между индексами GSNW и NAO для среднегодовых значений составил 0.09.

Изменения коэффициента корреляции между индексами Гольфстрима и САК представлены на рисунке 4.1.14.

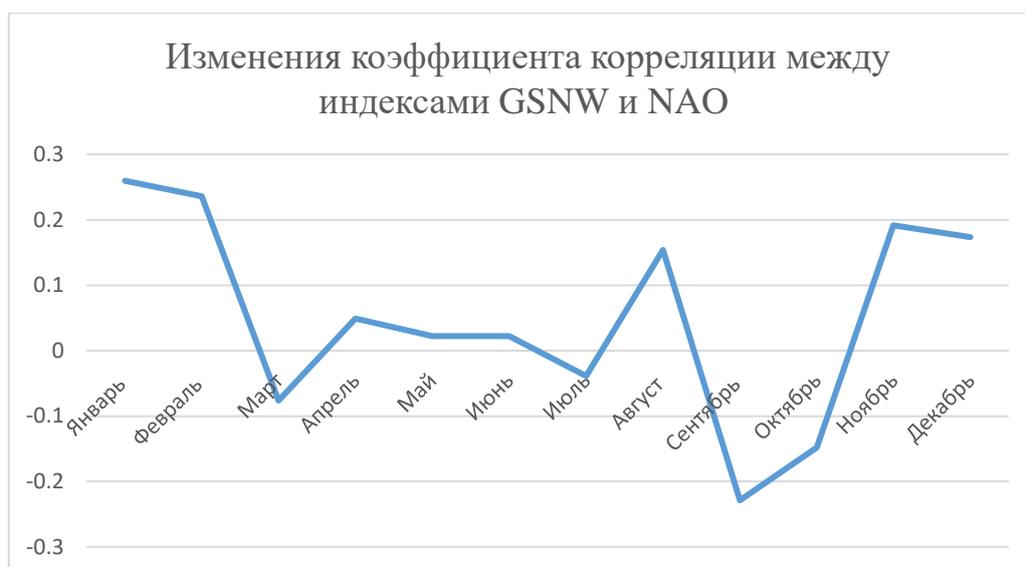


Рисунок 4.1.14. Изменения коэффициента корреляции между индексами Гольфстрима и САК относительно каждого исследуемого месяца

Как можно заметить из графика данных максимальные значения коэффициента корреляции наблюдаются в зимние месяцы, а именно с ноября по февраль. Можно предположить, что данный эффект связан с более северным смещением течения Гольфстрим в данный период. Минимальные значения наблюдаются в сентябре-октябре, когда течение Гольфстрим начинает принимать изменения вектора движения с юга на север. Но как было сказано выше коэффициент корреляции является крайне малым и составляет всего 0.09, что не даёт полной возможности говорить о взаимовлияниях течения Гольфстрим и Северо-Атлантического колебания.

Заключение

Главная цель выпускной квалификационной работы, заключающаяся в изучении влияния природных факторов на потепление в Арктике, была достигнута.

В ходе работы были решены следующие, поставленные перед началом исследования задачи:

- 1) Изучены физико-географические характеристики Арктического региона;
- 2) Проанализированы компоненты климатической системы Арктики, включая анализ теплового баланса, как основного критерия для климатического анализа, и астрономические факторы;
- 3) Изучены физические характеристики течения Гольфстрим и Северо-Атлантического колебания;
- 4) Исследована связь между индексами Гольфстрима и Северо-Атлантического колебания. На основании проделанного статистического анализа можно сделать вывод, что коэффициент корреляции является крайне малым, чтобы можно было говорить о наличии связи. Несмотря на то, что коэффициент корреляции имеет очень маленькое значение, но сам факт его наличия говорит о том, что связь есть. Однако связь может характеризовать взаимодействие течения Гольфстрим и САК через длительные промежутки времени.

Список используемых источников:

1. Социально-экономическая география России. Учебное пособие для студентов географических и гуманитарных факультетов университетов. Под редакцией профессора А.И. Алексеева и профессора В.А. Колосова.
2. Арктическое измерение глобального климата. Г.В.Алексеев.
3. Избранные работы(2020г). М.И.Будыко.
4. Лекции по климатологии часть 1. В. А. Лобанов.
5. Лекции по климатологии. Динамика климата. В. А. Лобанов.
6. <https://www.pml.ac.uk/>
7. Изменчивость гидрофизических характеристик в Гольфстриме. Л.Н.Карлин, В.Н.Малинин, С.М.Гордеева. 2013 год
8. http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_9744d0dab8ed4ef5b24d40cbc5801989.pdf
9. Изменчивость энергоактивных зон океана в Северной Атлантике. В.Н.Малинин,В.Ю.Шмакова(https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1715687213&tld=ru&lang=ru&name=Malinin_V_N_Shmakova_V_Yu_FA_C_2018_4.pdf&text=малин)
10. Изменения климата Арктики: место климатической науки в планировании адаптации(Росгидромет) 2017 г.
11. Изменение климата в Арктике обновление 2021: основные тенденции и воздействия. Краткий обзор для органов управления.

Приложение 1

Значения индекса GSNW

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
1966	0.95	-1.24	-0.3	-1.05	-0.21	0.73	3.43	1.02	4.08	-0.35	0.43	0.6	0.67
1967	-1.05	-0.53	-1.64	-1.02	-0.84	-0.36	2.39	-0.42	-0.33	-0.88	2.51	-0.66	-0.24
1968	-1.01	1.78	-0.18	-2.07	2.39	0.66	-1.75	-1.11	0.69	1.39	2.52	3.03	0.53
1969	0.56	0.25	1.03	-1	0.22	-1.25	-0.79	-2.12	-2.66	-0.38	-2.18	0.1	-0.68
1970	-2.25	-2.71	-1.89	-0.11	0.01	1.38	-0.37	-2.49	-2.24	-1.17	-1.24	-0.47	-1.13
1971	-1.18	-1.71	-1.84	-2.59	-1.43	0.05	-4.9	-2.9	-1.66	-1.54	-1.67	-0.67	-1.84
1972	-0.26	-1.43	-0.15	-1.96	-2.06	-2.55	0.14	-1.81	-2.04	-2.85	-0.04	-0.15	-1.26
1973	-2.56	-1.38	-1.51	-0.79	-3.53	-1.81	-1.85	-0.83	-0.16	-0.82	-0.3	-0.63	-1.35
1974	0.55	-2.9	-1.41	-0.16	-0.47	-1.13	-1.55	-1.37	0.35	-0.31	-1.14	-0.22	-0.81
1975	0.13	-0.9	0.61	1.23	-1.56	-1.58	1.73	3.2	0.08	-0.37	-2.3	0.11	0.03
1976	-0.02	-2.28	-4.46	-0.53	-0.09	0.24	-0.88	-0.84	-1.32	0.7	-0.07	0.57	-0.75
1977	1.92	-0.73	1.27	0.74	-2.53	0.43	-1.1	-1.27	-0.55	-0.72	-1.05	-0.18	-0.31
1978	-0.41	-2.59	0.28	0	-2.83	-3	0.05	-1.66	-0.28	-0.1	-0.83	-1.5	-1.07
1979	-3.82	-2.72	-2.89	-1.38	-1.19	0.54	-0.41	-1.92	-0.2	-2.11	-2.11	-0.23	-1.54
1980	-1.39	1.15	1.36	-1.33	-0.3	-1.99	0.82	-2.7	0.62	1.84	-0.41	-1.73	-0.34
1981	-2.24	0.23	-1.18	-2.95	-0.08	-0.99	0	-0.4	-0.25	2.46	-1.64	-1.75	-0.73
1982	0.57	-1.83	-0.95	-2.6	-1.2	-1.37	-1.48	-0.57	-2.69	-0.07	0.21	-1.68	-1.14
1983	-0.96	-1.82	0.11	-0.59	-1.45	-1.04	-0.71	3.46	0.68	-0.72	0.41	0.73	-0.16
1984	0.56	0.78	0.51	0.54	-0.95	-1.5	-2.82	3.08	-0.47	1.33	1.62	1.28	0.33
1985	1.24	0.33	-0.55	1.24	2.64	0.76	0.75	0.35	1.11	4.06	0.19	-0.13	1
1986	2.32	-1.87	-1.76	-1.35	-1.31	-0.09	-0.55	-1.87	-0.75	1.19	1.22	-0.28	-0.42
1987	-2.51	-1.29	-2.69	-1.64	-0.57	-0.13	0.42	0.61	1.34	0.77	0.22	-1.06	-0.54
1988	-1.34	1.4	-0.04	-0.34	-0.88	-1.24	0.23	-0.45	1.72	0.29	0.06	-0.48	-0.09
1989	-1.35	0.03	0.25	0.76	0.99	0.21	-0.59	-1.6	0.01	0.51	0.68	1.94	0.15
1990	1.58	1.35	0.17	0.58	0.53	-1.09	-0.27	0.97	0.8	0.64	1.24	0.4	0.58
1991	-0.22	-0.3	-0.63	0.22	1.31	1.97	1.34	1.47	2.43	1.88	0.31	1.18	0.91
1992	1.84	0.7	1.31	0.72	0.88	0	0.72	0.46	0.84	0.55	0.67	2.86	0.96
1993	-0.78	1.26	-2.36	0.13	1.21	1.05	-0.14	1.86	1.7	1.97	2.08	1.08	0.75
1994	2.21	1.99	1.71	0.85	0.72	2.17	1.2	0.77	-0.18	-0.03	-1.11	4.47	1.23
1995	4.38	2.56	1.41	0.55	0.52	2.22	1.17	2.58	1.94	2.21	1.83	-0.32	1.75
1996	2.25	0.3	1.63	-0.51	-1.15	-1.14	-0.48	-1.05	0.78	0.23	-0.92	-1.99	-0.17
1997	-0.48	-0.4	-1.42	-0.39	0.66	-0.68	0.92	-0.64	-0.6	-0.6	-1.2	0.23	-0.39
1998	0.84	-0.12	0.04	-3.49	-2.22	-0.7	-1.19	-0.92	0.99	0.58	-1.93	-0.21	-0.69
1999	-0.47	-0.39	-0.97	-0.92	0.71	0.43	-1.76	-0.37	-0.76	1.97	0.27	0.32	-0.16
2000	-0.18	1.03	2.03	-0.33	0.04	0.36	0.8	0.31	2.2	2.68	2.62	1.86	1.12
2001	1.56	1.2	3.4	2.12	1.65	-0.38	0.47	0.67	1.46	-0.42	1.63	1.52	1.24
2002	0.1	0.68	0.46	-0.09	0.01	-0.88	5.09	1.7	1.56	1.2	0.89	0.09	0.9
2003	0.55	-0.02	1.78	0.09	-1.43	-1.48	1.16	-1.16	-0.23	-0.63	-0.57	0.65	-0.11
2004	-1.57	-0.86	-1.44	-1.46	-1.35	-1.83	-1.44	-0.26	-1.43	0.75	0.13	1.75	-0.75
2005	0.81	0.2	-1	0.03	0.75	-1.5	-2.18	-0.63	0.24	0.85	0.42	0.08	-0.16
2006	-0.49	-0.53	1.63	-2.41	-0.66	-0.01	-0.23	0.29	1.39	3.65	2.33	1.93	0.57

2007	0.39	-0.37	0.83	0.93	0.47	1	-0.66	0.14	0.75	0.51	0.52	-0.19	0.36
2008	-0.81	2.67	0.9	-0.74	-2.79	-0.41	1.31	-0.98	-0.2	1.15	0.69	-3.18	-0.2
2009	2.1	-0.49	-2.34	-0.78	-1.26	-0.07	-0.21	0.45	1.35	0.83	0.36	0.4	0.03
2010	0.52	1.12	-1.3	-0.44	-2.15	0.42	0.67	0.92	-0.59	-0.79	-0.07	-0.96	-0.22
2011	-1.12	-0.44	-0.39	-1.49	-0.69	1.47	1.75	-8.37	-2.3	0.27	3.04	-1.76	-0.83
2012	-0.97	0.47	1.09	1.5	1.44	1.06	0.5	-0.01	0.46	0.86	0.12	3.22	0.81
2013	-0.72	-0.14	-0.56	-1.74	-0.45	0.65	-1.76	0.93	2.29	0.22	0.15	2.59	0.12
2014	1.18	0.32	0.46	1.65	1.08	-3.46	1.12	0.41	0.93	0.5	1.24	3.03	0.7
2015	2.32	1.66	0.85	0.92	2.26	1.99	0.59	2.77	1.04	-1.68	0.94	1.92	1.3
2016	1.44	0.44	0.94	0.61	0.58	-0.7	0.66	1.35	1.45	0.05	-0.17	-1.39	0.44
2017	-1.71	-1.75	0.89	-1.29	0	-0.94	-1.4	-0.44	-0.66	1.87	1.03	2.66	-0.15
2018	0.3	-0.44	1.23	0.22	0.27	0.92	1.31	0.94	0.85	0.11	-1.21	0.7	0.44
2019	-1.87	-0.56	0.67	-0.14	0.06	1.24	0.66	4.22	0.18	-1.65	2.14	0.12	0.42
2020	2.11	-0.69	0.74	0.16	-0.05	-0.02	-0.04	-0.54	0.32	-0.19	1.01	2.79	0.46
2021	1.81	0.4	-1.21	-2.17	-1.54	2.69	-0.36	0.15	1.27	1.27	0.71	1.9	0.41

Приложение 2

Значения индекса NAO

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
1967	-0.89	0.19	1.51	0.18	-0.99	1.4	0.41	1.44	0.93	0.07	0.6	-0.45	0.37
1968	0.13	-1.29	0.4	-1.08	-1.76	0.33	-0.8	-0.66	-1.92	-2.3	-0.93	-1.4	-0.94
1969	-0.83	-1.55	-1.56	1.53	0.55	0.55	0.57	-1.45	2.07	0.66	-0.96	-0.28	-0.06
1970	-1.5	0.64	-0.96	-1.3	1.14	1.55	0.1	0.1	-0.09	-0.92	-0.6	-1.2	-0.25
1971	-1.13	0.24	-0.84	-0.24	0.5	-1.57	0.24	1.55	0.39	0.58	-0.2	0.6	0.01
1972	0.27	0.32	0.72	-0.22	0.95	0.88	0.18	1.32	-0.12	1.09	0.54	0.19	0.51
1973	0.04	0.85	0.3	-0.54	-0.44	0.39	0.57	-0.06	-0.3	-1.24	-0.93	0.32	-0.09
1974	1.34	-0.14	-0.03	0.51	-0.24	-0.14	-0.76	-0.64	0.82	0.49	-0.54	1.5	0.18
1975	0.58	-0.62	-0.61	-1.6	-0.52	-0.84	1.55	-0.26	1.56	-0.54	0.41	0	-0.07
1976	-0.25	0.93	0.75	0.26	0.96	0.8	-0.32	1.92	-1.29	-0.08	0.17	-1.6	0.19
1977	-1.04	-0.49	-0.81	0.65	-0.86	-0.57	-0.45	-0.28	0.37	0.52	-0.07	-1	-0.34
1978	0.66	-2.2	0.7	-1.17	1.08	1.38	-1.14	0.64	0.46	1.93	3.04	-1.57	0.32
1979	-1.38	-0.67	0.78	-1.71	-1.03	1.6	0.83	0.96	1.01	-0.3	0.53	1	0.14
1980	-0.75	0.05	-0.31	1.29	-1.5	-0.37	-0.42	-2.24	0.66	-1.77	-0.37	0.78	-0.41
1981	0.37	0.92	-1.19	0.36	0.2	-0.45	0.05	0.39	-1.45	-1.35	-0.38	-0.02	-0.21
1982	-0.89	1.15	1.15	0.1	-0.53	-1.63	1.15	0.26	1.76	-0.74	1.6	1.78	0.43
1983	1.59	-0.53	0.95	-0.85	-0.07	0.99	1.19	1.61	-1.12	0.65	-0.98	0.29	0.31
1984	1.66	0.72	-0.37	-0.28	0.54	-0.42	-0.07	1.15	0.17	-0.07	-0.06	0	0.25
1985	-1.61	-0.49	0.2	0.32	-0.49	-0.8	1.22	-0.48	-0.52	0.9	-0.67	0.22	-0.18
1986	1.11	-1	1.71	-0.59	0.85	1.22	0.12	-1.09	-1.12	1.55	2.29	0.99	0.50
1987	-1.15	-0.73	0.14	2	0.98	-1.82	0.52	-0.83	-1.22	0.14	0.18	0.32	-0.12
1988	1.02	0.76	-0.17	-1.17	0.63	0.88	-0.35	0.04	-0.99	-1.08	-0.34	0.61	-0.01
1989	1.17	2	1.85	0.28	1.38	-0.27	0.97	0.01	2.05	-0.03	0.16	-1.15	0.70
1990	1.04	1.41	1.46	2	-1.53	-0.02	0.53	0.97	1.06	0.23	-0.24	0.22	0.59
1991	0.86	1.04	-0.2	0.29	0.08	-0.82	-0.49	1.23	0.48	-0.19	0.48	0.46	0.27
1992	-0.13	1.07	0.87	1.86	2.63	0.2	0.16	0.85	-0.44	-1.76	1.19	0.47	0.58
1993	1.6	0.5	0.67	0.97	-0.78	-0.59	-3.18	0.12	-0.57	-0.71	2.56	1.56	0.18

1994	1.04	0.46	1.26	1.14	-0.57	1.52	1.31	0.38	-1.32	-0.97	0.64	2.02	0.58
1995	0.93	1.14	1.25	-0.85	-1.49	0.13	-0.22	0.69	0.31	0.19	-1.38	-1.67	-0.08
1996	-0.12	-0.07	-0.24	-0.17	-1.06	0.56	0.67	1.02	-0.86	-0.33	-0.56	-1.41	-0.21
1997	-0.49	1.7	1.46	-1.02	-0.28	-1.47	0.34	0.83	0.61	-1.7	-0.9	-0.96	-0.16
1998	0.39	-0.11	0.87	-0.68	-1.32	-2.72	-0.48	-0.02	-2	-0.29	-0.28	0.87	-0.48
1999	0.77	0.29	0.23	-0.95	0.92	1.12	-0.9	0.39	0.36	0.2	0.65	1.61	0.39
2000	0.6	1.7	0.77	-0.03	1.58	-0.03	-1.03	-0.29	-0.21	0.92	-0.92	-0.58	0.21
2001	0.25	0.45	-1.26	0	-0.02	-0.2	-0.25	-0.07	-0.65	-0.24	0.63	-0.83	-0.18
2002	0.44	1.1	0.69	1.18	-0.22	0.38	0.62	0.38	-0.7	-2.28	-0.18	-0.94	0.04
2003	0.16	0.62	0.32	-0.18	0.01	-0.07	0.13	-0.07	0.01	-1.26	0.86	0.64	0.10
2004	-0.29	-0.14	1.02	1.15	0.19	-0.89	1.13	-0.48	0.38	-1.1	0.73	1.21	0.24
2005	1.52	-0.06	-1.83	-0.3	-1.25	-0.05	-0.51	0.37	0.63	-0.98	-0.31	-0.44	-0.27
2006	1.27	-0.51	-1.28	1.24	-1.14	0.84	0.9	-1.73	-1.62	-2.24	0.44	1.34	-0.21
2007	0.22	-0.47	1.44	0.17	0.66	-1.31	-0.58	-0.14	0.72	0.45	0.58	0.34	0.17
2008	0.89	0.73	0.08	-1.07	-1.73	-1.39	-1.27	-1.16	1.02	-0.04	-0.32	-0.28	-0.38
2009	-0.01	0.06	0.57	-0.2	1.68	-1.21	-2.15	-0.19	1.51	-1.03	-0.02	-1.93	-0.24
2010	-1.11	-1.98	-0.88	-0.72	-1.49	-0.82	-0.42	-1.22	-0.79	-0.93	-1.62	-1.85	-1.15
2011	-0.88	0.7	0.61	2.48	-0.06	-1.28	-1.51	-1.35	0.54	0.39	1.36	2.52	0.29
2012	1.17	0.42	1.27	0.47	-0.91	-2.53	-1.32	-0.98	-0.59	-2.06	-0.58	0.17	-0.46
2013	0.35	-0.45	-1.61	0.69	0.57	0.52	0.67	0.97	0.24	-1.28	0.9	0.95	0.21
2014	0.29	1.34	0.8	0.31	-0.92	-0.97	0.18	-1.68	1.62	-1.27	0.68	1.86	0.19
2015	1.79	1.32	1.45	0.73	0.15	-0.07	-3.18	-0.76	-0.65	0.44	1.74	2.24	0.43
2016	0.12	1.58	0.73	0.38	-0.77	-0.43	-1.76	-1.65	0.61	0.41	-0.16	0.48	-0.04
2017	0.48	1	0.74	1.73	-1.91	0.05	1.26	-1.1	-0.61	0.19	0	0.88	0.23
2018	1.44	1.58	-0.93	1.24	2.12	1.09	1.39	1.97	1.67	0.93	-0.11	0.61	1.08
2019	0.59	0.29	1.23	0.47	-2.62	-1.09	-1.43	-1.17	-0.16	-1.41	0.28	1.2	-0.32
2020	1.34	1.26	1.01	-1.02	-0.41	-0.15	-1.23	0.12	0.98	-0.65	2.54	-0.3	0.29
2021	-1.11	0.14	0.73	-1.43	-1.24	0.77	0.03	-0.28	-0.21	-2.29	-0.18	0.29	-0.40
2022	1.08	1.68	0.77	-0.36	0.71	-0.12	-0.09	1.47	-1.61	-0.72	0.69	-0.15	0.28
2023	1.25	0.92	-1.11	-0.63	0.39	-0.58	-2.17	-1.16	-0.44	-2.03	-0.32	1.94	-0.33