



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

**Кафедра Океанологии**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

**«Феномен Эль-Ниньо»**

**Исполнитель: Савкина Екатерина Игоревна \_\_\_\_\_**

**Научный руководитель: Малинин Валерий Николаевич**

**Научный консультант: \_\_\_\_\_**

**«К защите допускаю»**

**Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_**

(подпись)

**доктор географических наук, профессор**

(ученая степень, ученое звание)

**Малинин Валерий Николаевич**

(фамилия, имя, отчество)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

г. Санкт-Петербург  
2022 г.

## Оглавление

Введение .....	3
1 Феномен Эль-Ниньо.....	5
1.1 Описание явления Эль-Ниньо и его вариации.....	5
1.2 Связь Эль-Ниньо с индексами других регионов .....	8
2 Материалы и методы.....	12
3 Анализ полученных результатов.....	17
3.1 Корреляционный анализ индексов ЭНЮК .....	19
3.2 Выделение тренда.....	24
3.3 Спектральный и гармонический анализ.....	26
3.4 Автокорреляционный анализ.....	31
3.5 Связь ЭНЮК с индексами других регионов.....	34
Заключение .....	39
Список использованных источников .....	41

## Введение

Система океан атмосферы взаимодействует между с собой обладая возможностью обмениваться в прямом и обратном действии поступающей энергией. За счёт этого можно наблюдать преобразование температурных, барических и других параметров окружающей нас природы и разнообразие проявлений океанической системы.

Проявление океанической системы может быть крайне разнообразной и обширной по своему влиянию. Существующая между океаном и атмосферой связь способна осуществлять внезапные преобразования различного масштаба. Такие сбои выводят глобальную, а также и региональную систему атмосферной циркуляции из равновесия.

Феномен Эль-Ниньо является одним из самых известных таких перебоев. Его расположение базируется на востоке экваторо-тропиков в Южной части Тихого океана. Этот феномен определяется ярко выраженным быстрым потеплением поверхностного слоя воды, и довольно часто можно наблюдать картину, проявления последствий в глобальном масштабе.

В то время как Эль-Ниньо считается тёплой фазой, он имеет обратную, а точнее холодную фазу проявления – Ла-Нинья. В период, когда действует Ла-Нинья температура вод поверхности моря понижается, в относительно таком же соотношении, как и в тёплую фазу. Данные показатели говорят о том, что холодную и тёплую фазу можно считать максимумами и минимумами в формировании одинаковой системы.

Прогнозирование погоды на долгие временные периоды в настоящее время было и остаётся проблемой, которая имеет исключительно высокое значение в метеорологии. Для того, чтобы модернизировать, а также выявить новый способ такого прогнозирования, необходимо глубокое исследование изменения климата на большом временном отрезке, а также аномалий, которые имеют место на длительном периоде времени.

Эль-Ниньо, как аномальное действие природы, как правило оставляет свой след не только в области тропиков, но и имеет правило распространяться в умеренных широтах северного и южного полушарий. Как следствие, можно наблюдать высокое понижение промысла, изменение порядка выпадения осадков, штормовую активность и многое другое. Все это приводит к огромным экономическим потерям большого количества стран.

Следовательно, изучение и поиск эффективного метода прогнозирования явления Эль-Ниньо рассматривается, как одна из важнейших задач, стоящих на сегодняшний день перед целым рядом областей науки.

Целью данной работы является ознакомление по литературным источникам с физико-географическими особенностями явления Эль-Ниньо, формирование собственного архива, выполнение статистических расчетов и комплексный анализ индексов, характеризующих Эль-Ниньо, а также анализ возможных связей динамики Эль-Ниньо и климатических и океанологических изменений в различных районах и глобальном масштабе в целом.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие задачи:

1. Сбор информации о исследуемом процессе.
2. Выборка данных (индексов) динамики Эль-Ниньо.
3. Статистический анализ индексов Эль-Ниньо (корреляционный анализ, выделение тренда, спектральный, гармонический анализ, анализ остатков по АКФ).
4. Выборка глобальных индексов
5. Корреляционный анализ глобальных индексов с индексами Эль-Ниньо.

# 1 Феномен Эль-Ниньо

## 1.1 Описание явления Эль-Ниньо и его вариации

Феномен Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК) – наиболее активная мода межгодовой изменчивости в тропиках. Это явление – весьма крупномасштабный сигнал в глобальной климатической изменчивости системы атмосфера-океан. Для оценки его характеристик применяется ряд температурных, барических и комплексных гидрометеорологических индексов, которые описывают развитие данного процесса. Как правило, этот феномен исследуют с тем расчётом, что он проявляется в гидрометеорологических процессах на территории всей планеты во временном промежутки нескольких десятков лет несмотря на то, что его формирование происходит на ограниченном территориальном участке. [1, 2, 3].

Феномен, который рассматривается в этой работе нельзя отнести к явлению, который имеет постоянную цикличность и повторяющуюся силу проявления. Он постоянно видоизменяется, может быть выражен как очень интенсивно, так и протекать практически без ярко выраженных проявлений. Также, зачастую более яркое выражение, отнесенное как тёплая фаза Эль-Ниньо, может сменяться холодной фазой (Ла-Нинья). Но и такая последовательность не является постоянным фактором, противоположная крайность формирования такой системы наступает не всегда, бывают случаи, когда наступает межфазовый период, в который индексы проявления находятся в нейтральной зоне. Такое непостоянство создаёт значительные трудности в изучении этого феномена. [1,4, 5].

Для того, чтобы объяснить не периодичный характер ЭНЮК было выдвинуто несколько теорий. Одна из первых теорий была предложена метеорологом Вильгельмом Бьеркнесом, в этой теории хоть и даётся действенная структура прямого и обратного воздействия, к сожалению, по

существованию, не подтверждается в процессе получения данных наблюдения. Вторая наиболее известная теория представлена Клаусом Виртки, имея достаточно лёгкое объяснение не цикличности этого феномена, она не объясняет структуру взаимодействия системы океан-атмосферы, исключая какое-либо влияние океана и отводя основную задачу влиянию атмосферы [4].

В некоторых случаях явление Эль-Ниньо может следовать одно за другим. В настоящее время часто выделяют два типа Эль-Ниньо, так как это явление может обладать различными характеристиками. Основой разделения служит район с максимальной аномалией температуры поверхностного слоя океана (ТПО). Канонический тип Эль-Ниньо характеризуется наличием очага аномалий преимущественно в восточной части Тихоокеанского тропика, а очаг Эль-Ниньо Модоки располагается в центральной части Тихого океана. На востоке и западе отмечается отрицательные отклонения от нормы значений температуры [1].

На западе в промежутки, когда Эль-Ниньо Модоки достигает своего максимума, аномалии циркуляции ветра в тропиках намного меньше, чем во время действия канонического Эль-Ниньо. Если проводить корреляционный анализ, можно отметить статистическую значимость между аномалией, имеющей знак диаметрально противоположный, который будет действовать по прошествии 12 месяцев после завершения действия канонического Эль-Ниньо. В ситуации, когда действует Эль-Ниньо Модоки эта взаимосвязь будет иметь значение только в приэкваториальных широтах нижней тропосферы [6].

Продолжая сравнивать каноническое Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки, можно отметить усиление действия субтропических антициклонов, в следствии которых значение аномалий становится менее существенными, и отсутствие этих ослаблений соответственно. В период действия Эль-Ниньо Модоки восточные аномалии зональной циркуляции в умеренных широтах усиливают своё действие в момент завершения явления, и постепенно ослабевают в последующий год, в то время как аномалии канонического Эль-Ниньо в этих широтах имеет меньшее значение. Когда Эль-Ниньо Модоки идёт на

завершение, в умеренных широтах отмечают слабые положительные аномалии циркуляции ветра, а после окончания они существенно усиливаются [6].

В мировом научном сообществе остаётся вопрос о том, насколько имеет место быть разделение Ла-Нинья или холодной фазы ЭНЮК на два типа. В большинстве работ по изучению Ла-Нинья нет разделения, и по сравнению с тёплой фазой, это явление исследуется намного меньше. Выделение холодной фазы ЭНЮК на два независимых типа, как это делается с теплой фазой, затрудняется тем, что события происходящие в это время отличаются высокой степенью корреляции. оказываются довольно сильно скоррелированными.

В период, когда система океан – атмосфера находится в нормальном состоянии, наиболее теплые воды локализуются на западе Тихого океана, а наиболее холодные на востоке. То есть термоклин залегает более глубоко (200 м) на западе, и приподнят на востоке (50 м). Таким образом в западной части Тихого океана, где располагаются воды с высокой температурой формируется зона активной конвекции и начинают выпадать осадки. Однако, во время действия Эль-Ниньо и Ла-Нинья эта система полностью перестраивается. На рисунке 1 представлены процессы, которые происходят в океане и атмосфере при двух типах Эль-Ниньо и Ла-Нинья [6, 7].

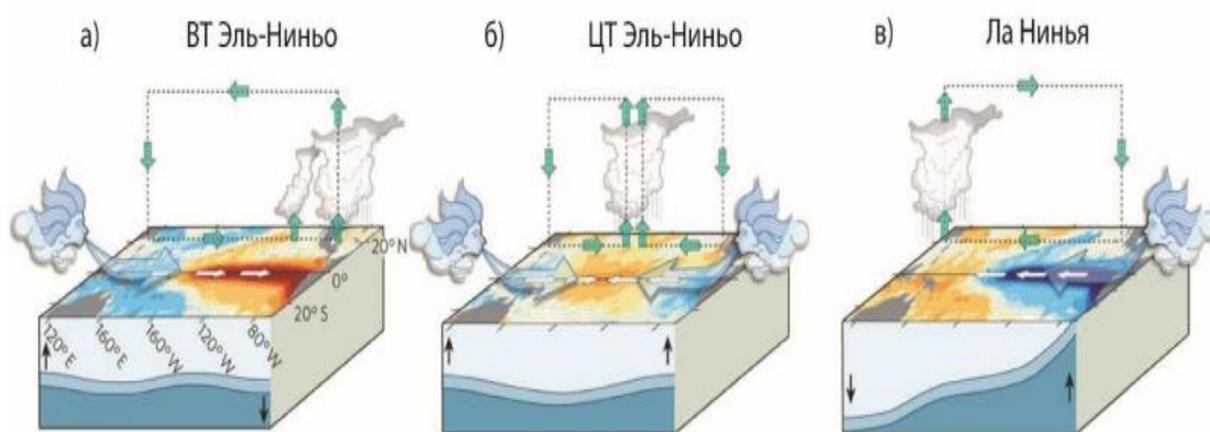


Рисунок 1. Схематическое изображение процессов в Тихом океане при ВТ Эль-Ниньо (а), ЦТ Эль-Ниньо (б) и Ла-Нинья (в) [8].

## 1.2 Связь Эль-Ниньо с индексами других регионов

В число самых необычных явлений, которые проявляются по всей планете входят Эль-Ниньо и Ла-Нинья, объединенные общим понятием ЭНЮК. Они распространяются далеко за пределы места их формирования посредством атмосферных дальних связей, которые в свою очередь и определяют изменения климата в мировом масштабе [9].

В данный момент считается, что ЭНЮК оказывает некоторое влияние ряд процессов, происходящих в северном полушарии Тихоокеанского региона, как на тропические районы, так и на более северные широты. Основным компонентом, оказывающим воздействие на океанические характеристики в северной части Тихого океана в межгодовых и междекадных масштабах являются потоки тепла на поверхности океана. Этими характеристиками являются: ТПО, глубина верхнего перемешанного слоя, солёность [9].

Основным механизмом связи между непосредственно районом максимального влияния ЭНЮК (экваториальная и тропическая части Тихого океана) и более северными умеренными широтами Тихоокеанского региона считается зависимость повышенной ТПО в экваториальной части Тихого океана и темпами конвекции. Создается сильный градиент между эпицентром этого процесса и его периферией, что в свою очередь приводит к уменьшению числа осадков на краях конвекционных зон. Данный механизм является причиной учащения засух в тропическом поясе при интенсивном Эль-Ниньо [9].

Относительно влияния ЭНЮК на северную часть Атлантического океана также существует ряд представлений. Современные исследования указывают на наличие дальних связей между состоянием ЭНЮК и режимом осадков над континентальными районами североатлантического региона. Имеется сильная положительная связь между количеством осадков в данном регионе в весенний период и проявлением Эль-Ниньо (при интенсивном Эль-Ниньо увеличивается

количество осадков). Причиной этого может служить взаимосвязь аномалий атмосферного давления в североатлантическом регионе и аномалиями ТПО в районе проявления Эль-Ниньо. Два разных типа Эль-Ниньо — центрально-тихоокеанский и восточно-тихоокеанский — приводят в зимний период к существенно различным аномалиям температуры в Европе. В частности, к слабому потеплению во время восточного Эль-Ниньо и значительному похолоданию во время центрального Эль-Ниньо. Это связано с отрицательной фазой Северо-Атлантического колебания [9].

Ряд исследований отражает связь между динамикой ЭНЮК и климатическими изменениями в районе Арктики. В зависимости от степени и типа проявления как фазы Эль-Ниньо, так и Ла-Нинья общая связанность ЭНЮК и арктической области Евразийского региона существенно различается. Также существенное влияние на данный регион оказывает и фаза перехода между крайними стадиями ЭНЮК. Наиболее явные случаи этих взаимосвязей отмечены во время последних сильных проявлений Эль-Ниньо, пришедшихся на последнюю четверть прошлого и первую четверть настоящего века (1983, 1987, 1997, 2016 годы). В этих случаях отмечалось связанное с сильнейшим Эль-Ниньо резкая смена фазы Арктического колебания в отрицательную сторону. Подобный резкий фазовый переход приводит к усилению интенсивности антициклонической деятельности на севере центральной части Азиатского региона, что способствует более интенсивному проникновению арктических воздушных масс в более низкие широты при помощи Сибирского антициклона. Схожие механизмы действуют и в Европейском регионе, но за счет усиления скандинавских антициклонов. Все это способствует резкому снижению температурного фона во всем регионе [9].

Также некоторые источники указывают на влияние ЭНЮК с Южной Америкой и Антарктидой. Данный регион находится в непосредственной близости от района проявления Эль-Ниньо, таким образом, климатические процессы, происходящие в нем подвержены сильному влиянию динамики ЭНЮК. Основой взаимосвязи между климатом Южной Америки и ЭНЮК

являются конвекционные процессы, связанные с повышением ТПО в тропической области южной части Тихого океана. За счет ранее описанного процесса связанности интенсивности конвекции в эпицентре Эль-Ниньо и выпадения осадков на периферии могут возникать аномалии режима осадков во всем южноамериканском регионе. К примеру, интенсивное Эль-Ниньо приводит к сбоям этого режима в различных частях Южной Америки по-разному – северный регион и район бассейна Амазонки подвержен сокращению общего числа осадков, а в районах, близких к западному побережью в предгорных областях и практически всей юго-восточной части континента (Патагония) отмечается рост общего числа осадков. Интенсивность этих аномалий во многом зависит от типа и интенсивность самого явления Эль-Ниньо. Касаясь влияния на Антарктический регион отмечается взаимосвязь ЭНЮК и района антарктической части Тихого океана, расположенный к западу от Антарктического полуострова. Этот район, включающий в себя моря Беллинсгаузена и Амундсена, взаимодействует с явлением Эль-Ниньо через изменения в циркуляционных процессах, происходящих в атмосфере. Дальние связи, выявленные современными исследованиями, имеют неоднородную интенсивность в течение года усиливаясь в третьем и четвертом кварталах (зима-весна южного полушария) и, соответственно, ослабевая в первой половине года [9].

Помимо воздействия на отдельные регионы ЭНЮК оказывает влияние на глобальный климат в целом. Это воздействие зависит не только от непосредственной фазы ЭНЮК (Эль-Ниньо – Ла-Нинья), но и от типов самих фаз. К примеру, каноническое Эль-Ниньо (с очагом в восточной части Тихого океана) и Эль-Ниньо Модоки (с очагом в центральной части) находят различный отклик глобальных аномалиях зональной циркуляции ветра и ТПО. При каноническом явлении атмосферный сигнал имеет направление, проходящее симметрично экватору при распространении от района эпицентра Эль-Ниньо к умеренным широтам. В случае неканонического – связь асимметрична, причем распространяется она лишь до субтропических широт. Помимо этого, при

разных типах Эль-Ниньо не редко дальние связи в различных регионах имеют диаметрально-противоположные проявления. Например, при каноническом Эль-Ниньо количество регионов, подверженных положительным аномалиям атмосферного давления, существенно выше, чем при Модоки. Эпицентром таких аномалия обычно становятся такие районы как: Индийский океан, Тропическая часть Атлантического океана и район континентальной Африки [9].

Таким образом, можно сделать вывод, что проявление Эль-Ниньо оказывает влияние на различные районы в глобальном масштабе при помощи атмосферных и океанических дальних связей. Это влияние приводит к увеличению частоты экстремальных погодных явлений различной формации по всей планете. Эти связи, как и само явление Эль-Ниньо, весьма нелинейны и трудно выявляемы. Это связано как со сложностью прогнозирования изменения динамики ЭНЮК, так и с тем, что при различных фазах и типах ЭНЮК связи имеют сильные различия. Необходимость изучения этих дальних связей объясняется их большим обилием и сильным глобальным влиянием на процессы, происходящие в атмосфере и океане [9].

## 2 Материалы и методы

Согласно поставленным целям для исследования ЭНЮК были использованы индексы, характеризующие данное явление.

Производился анализ температурных индексов группы Nino в четырёх районах: Nino1+2, Nino 3, Nino 3.4 и Nino 4, а также индекса южной осцилляции (SOI), океанический индекс (ONI), мультивариантный индекс (MEI), индекс TNI и индекс осадков (ENSO). Дискретность исходных данных составила 1 месяц. Значения исследуемых индексов были взяты из базы данных Национального управления океанических и атмосферных исследований США.

Индекс Nino1+2 отражает изменение температуры поверхности океана в крайне восточной части тропической зоны южной части Тихого океана в районе 0-10° ю.ш., 80-90° з.д. (Рисунок 2) [10].

Индекс Nino 3 отражает изменение температуры поверхности океана в восточной и центральной тропической зоне Тихого океана в районе 5° с.ш.-5° ю.ш., 90°-150° з.д. (Рисунок 2) [10].

Индекс Nino3.4 отражает изменение температуры поверхности океана в восточной и центральной тропической зоне Тихого океана в районе 5° с.ш.-5° ю.ш., 120-170° з.д. (Рисунок 2) [10].

Индекс Nino4 отражает изменение температуры поверхности океана в восточной и центральной тропической зоне Тихого океана в районе 5° с.ш.-5° ю.ш., 150-160° з.д. (Рисунок 2) [10].

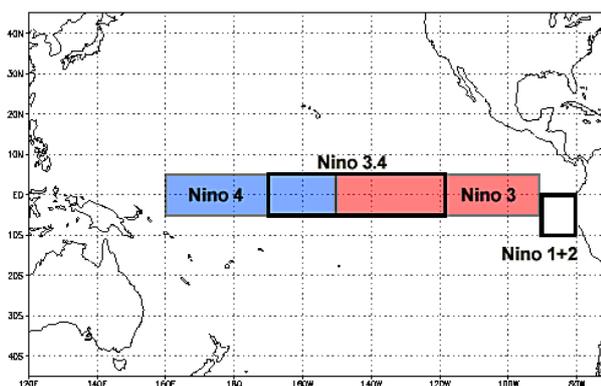


Рисунок 2. Районы NINO в тропической части Тихого океана [10].

Индекс SOI является показателем разницы атмосферного давления на уровне океана между восточной и западной частями Тихого океана, то есть характеризует Южное колебание. В случае индекса SOI используется разница давления между Дарвином (запад) и Таити (восток). Отрицательные значения индекса (минимальная разница градиента давления) свидетельствует о развитии Эль-Ниньо [11].

Индекс ONI представляет собой скользящее среднее значений аномалий ТПМ NOA ERSST.V5 за три месяца в районе Niño3.4 (5° с.ш.-5° ю.ш., 120-170° з.д), основанное на изменяющемся базисном периоде, состоящем из нескольких центрированных 30-х базисных периодов [12].

Индекс MEI является сводным индексом, включающим в себя сразу несколько гидрометеорологических и океанологических характеристик, являясь их главной компонентой. Этими характеристиками являются: ТПО, температура воздуха в приземном слое, интенсивность облачности, атмосферное давление, зональные и меридиональные составляющие ветра [13].

Индекс TNI определяется разницей нормализованных аномалий SST между регионами Niño1+2 и Niño 4 [14,15].

Индекс ESPI, основанный на характере осадков, полученных со спутников. Данный индекс имеет достаточно прямую связь с явлением Эль-Ниньо. За счет увеличения ТПО в тропической части Тихого океана происходит интенсивная

конвекция, и, как следствие, увеличение количества осадков в районе северо-восточной Австралии [10,16].

Также результаты анализа индексов ЭНЮК сравнивались с дальними индексами. Этими индексами в работе стали: индекс Арктической осцилляции (АО), индекс Североатлантической осцилляции (NAO), Тихоокеанско-североамериканский паттерн (PNA), индекс глобальной температуры океана (GMT), Западно-тихоокеанский паттерн (WP), Антарктическая осцилляция (AAO), южная кольцевая мода (MarSAM) и Тихоокеанское декадное колебание (PDO).

Индекс Арктической осцилляции (АО) характеризует изменение атмосферного давления на уровне моря севернее северного тропика Атлантического океана. Индекс показывает аномалии давления в районе арктической части Атлантики по отношению к более южным широтам. При положительных значениях индекса положительные аномалии температуры отмечаются в большей части континентальных районов восточного полушария, находящихся в непосредственной близости к арктическому региону. Максимальные аномалии приходятся на период с марта по ноябрь и отмечаются в центральной Сибири [17].

В случае положительной (отрицательной) фазы индекса на большей части территории Европы, Сибири и Якутии, а также на юге Дальнего Востока в период с марта по ноябрь наблюдаются положительные (отрицательные) аномалии температуры воздуха. При этом, наиболее значительные аномалии прослеживаются на севере Европы и в центральных районах Сибири [17].

Индекс североатлантического колебания (NAO) характеризует колебание в климатической системе Земли, отражающее периодическую изменчивость температуры поверхности океана в Северной Атлантике [18, 19].

Индекс PNA (Pacific/North American Pattern) характеризует отношение между атмосферной циркуляцией над северной частью Тихого океана с атмосферной циркуляцией над Североамериканским континентом [18, 20].

Индекс GMT (Global Mean Lan/Ocean Temperature) характеризует изменение глобальной температуры [21, 22].

Индекс WP (West Pacific Pattern) отражает изменение циркуляции в западной части Тихого океана [23].

Индекс Антарктической осцилляции (AAO) характеризует усиление и ослабление зонального переноса в районе Антарктики [24].

Индекс Южной кольцевой моды (MarSAM) основан на разнице зонального давления между  $40^\circ$  и  $65^\circ$  южной широты. Таким образом, также как и AAO характеризует зональный перенос в южных широтах [25, 26].

Индекс Тихоокеанского декадного колебания (PDO) характеризует колебание температуры в северной нетропической части Тихого океана [28].

Для исследования временной изменчивости данных индексов использовались различные методы статистического анализа.

Был использован анализ тренда временного ряда. Тренд характеризует наличие или отсутствие ярко выраженной временной изменчивости выбранного временного ряда [28].

Основными характеристиками тренда являются:

1. Коэффициент детерминации. Данный показатель отражает вклад тренда в общую дисперсию ряда. В зависимости от данного коэффициента можно характеризовать вклад как значительно влияющим на исходный ряд, так и незначительным. Основа – проверка на значимость коэффициента корреляции. Значимый коэффициент детерминации говорит о присутствии статистически значимого тренда, незначимый – о его отсутствии.

2. Величина тренда – изменение характеристики по линейному тренду за определенный промежуток времени.

Также в работе были использованы спектральный и гармонический анализ.

Данные методы использовались для выявления в исследуемом процессе циклических составляющих. Основа анализа – разложение исходного ряда на конечное число различных гармоник без какого-либо остатка. Гармониками называются тригонометрические функции, имеющие периоды, кратные длине

ряда, т.е. каждая гармоника целое число раз «укладывается» в длину исходного ряда [28].

Также использовался автокорреляционный анализ и на его основе производился анализ остатков АКФ.

### 3 Анализ полученных результатов

Индексы группы Niño дают представление об изменениях температуры поверхности океана в различных районах тропической зоны южной части Тихого океана. В работе использовались 4 индекса, с дискретностью 1 месяц.

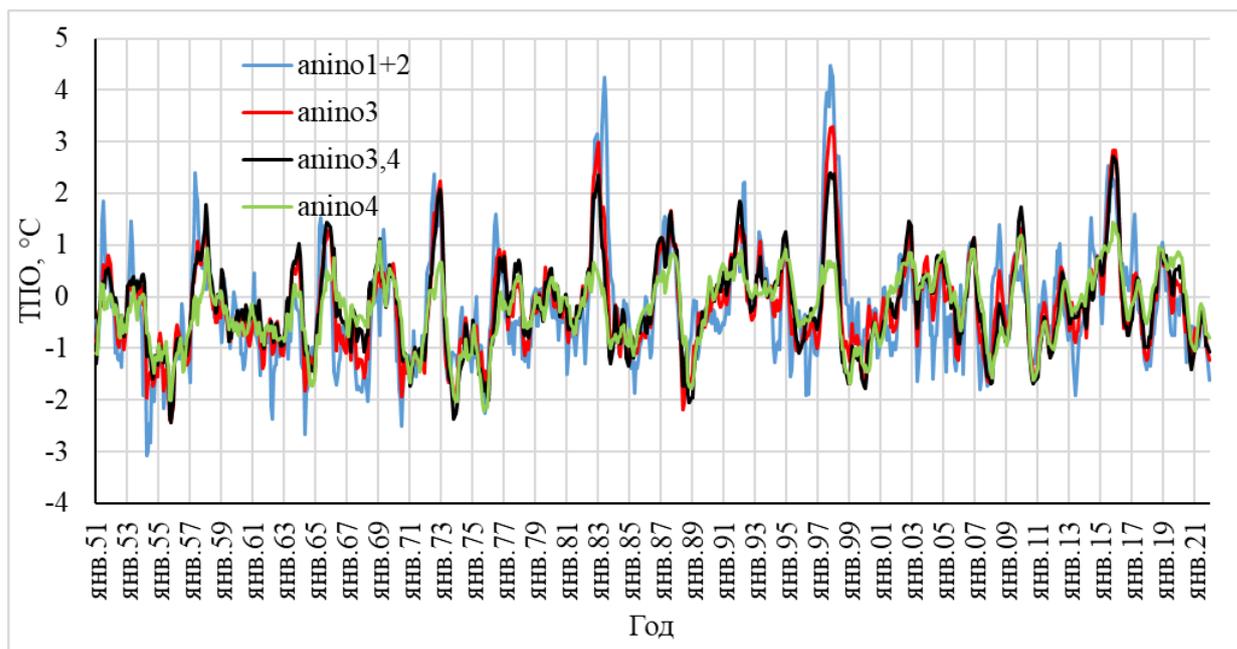


Рисунок 3. Среднемесячные значения аномалий индексов группы Niño с января 1951 по декабрь 2021 гг.

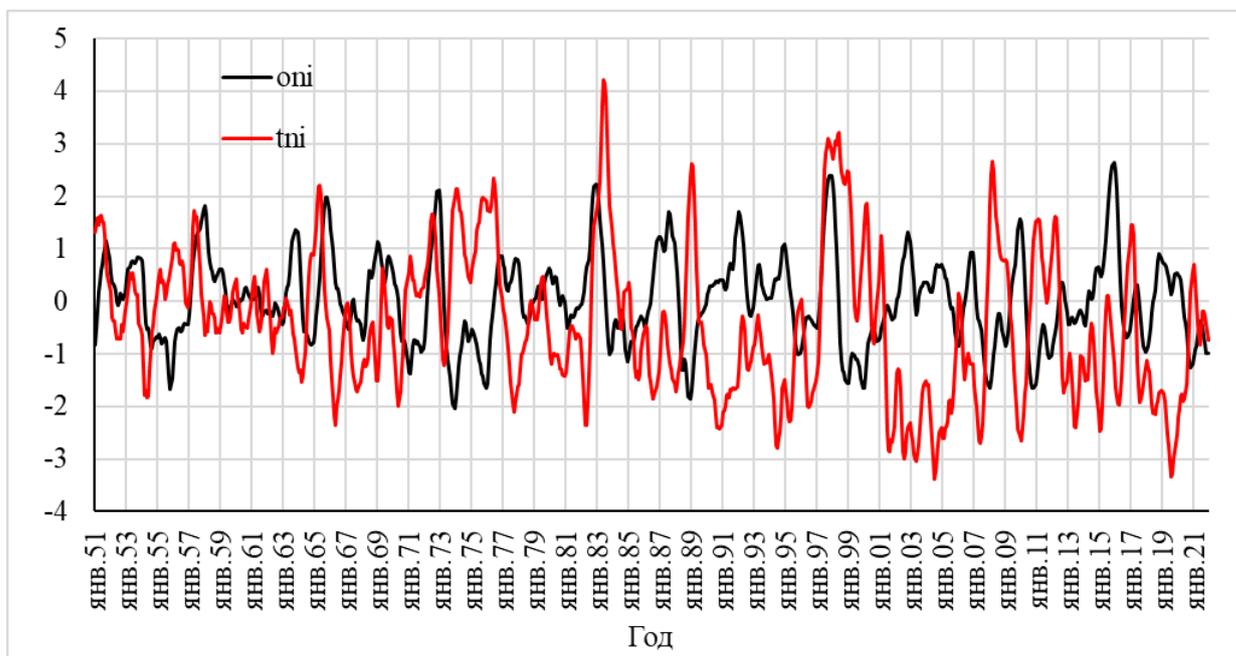


Рисунок 4. Среднемесячные значения индексов ONI и TNI с января 1951 по декабрь 2021 гг.

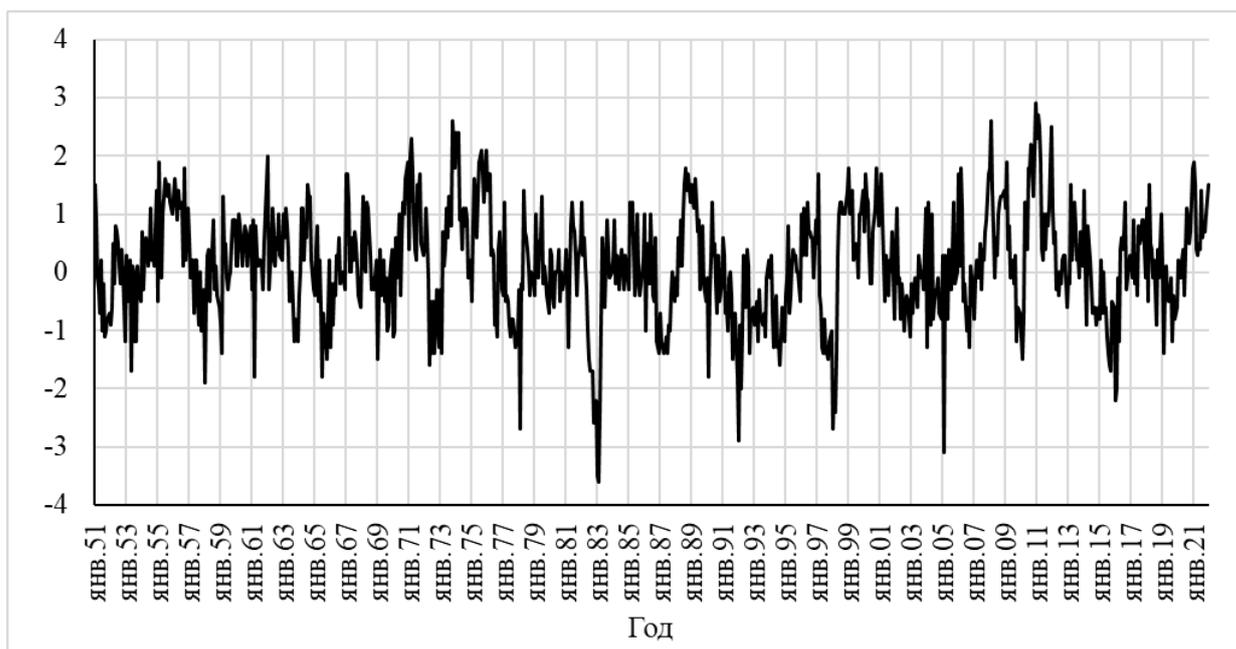


Рисунок 5. Среднемесячные значения индекса SOI с января 1951 по декабрь 2021 гг.

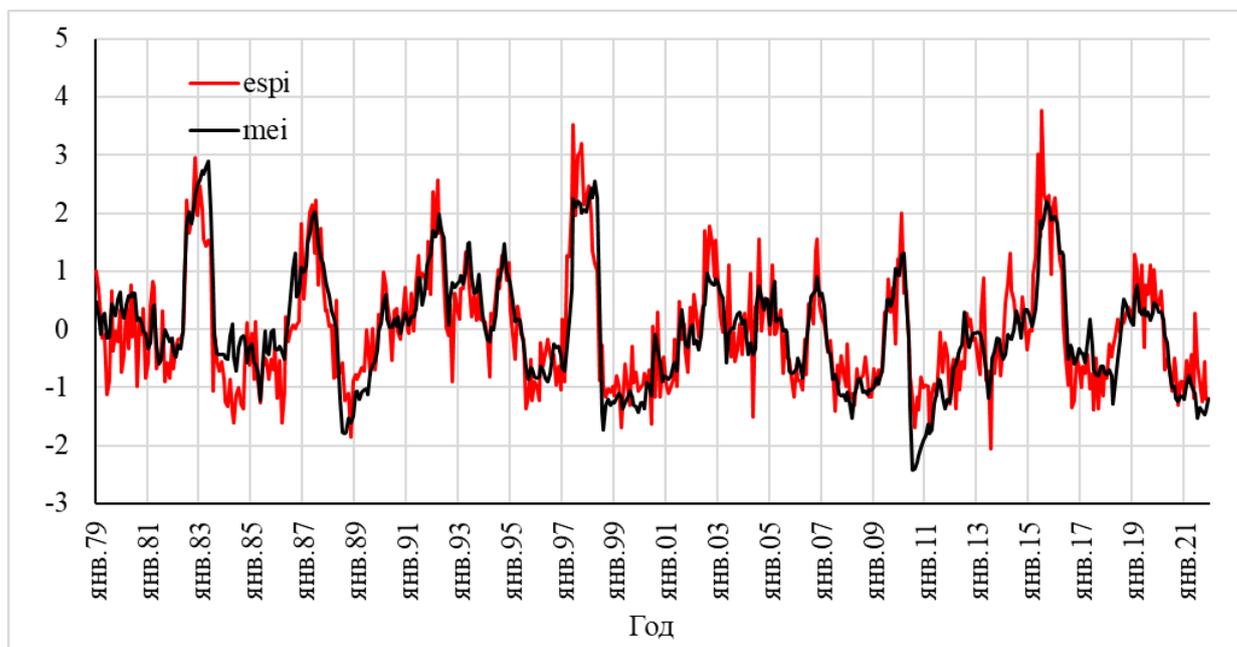


Рисунок 6. Среднемесячные значения индексов MEI и ESPI с января 1979 по декабрь 2021 гг.

Среднемесячные значения исследуемых индексов в целом отражают периоды наступления Эль-Ниньо в южной части Тихого океана. Видно, что рост индексов группы Niño, индексов MEI, ESPI, TNI, ONI и снижение пассатной активности, соответствующие понижению индекса SOI, пришлись на одни временные рамки и совпали с появлением Эль-Ниньо (1982-1983, 1987, 1997-1998, 2015-2016 гг.).

### 3.1 Корреляционный анализ индексов ЭНЮК

Следующим этапом работы стало проведение корреляционного анализа, для определения индекса, наиболее отражающего динамику изменения остальных индексов за счет наибольших коэффициентов корреляции с данными индексами.

Результатом данного этапа работы стал отбор индекса для дальнейшего анализа. Для каждого из рядов используемых индексов были рассчитаны взаимные коэффициенты корреляции (в случае среднемесячных и среднегодовых значений). После чего была выполнена проверка полученных КК на значимость с помощью критерия Стьюдента. Незначимые КК выделены в корреляционной матрице. Расчеты приведены ниже.

Таблица 1. Корреляционная матрица для среднемесячных значений индексов.

	soi	anino1+ 2	anino3	anino3, 4	anino4	oni	mei	tni	espi
soi	1								
anino1+ 2	-0.48	1							
anino3	-0.65	0.84	1						
anino3,4	-0.72	0.67	0.94	1					
anino4	-0.67	0.49	0.76	0.88	1				
oni	-0.73	0.64	0.90	0.97	0.83	1			
mei	-0.78	0.69	0.85	0.88	0.75	0.90	1		
tni	0.24	0.35	-0.01	-0.26	-0.55	-0.22	-0.10	1	
espi	-0.72	0.62	0.77	0.80	0.68	0.81	0.83	-0.11	1

Величины, представленные в таблице, показывают степень стохастической связи. Для оценки этой связи была проведена процедура проверки КК на значимость посредством формирования нулевой и альтернативной гипотез. Используя критерий Стьюдента, который был рассчитан используя формулу со средней квадратической погрешностью КК. Затем определяется критическое значение  $t_{кр}$  (уровень значимости  $\alpha = 0,05$ ) и сравнивается  $t^*$  с  $t_{кр}$ .

Таблица 2. Выполненные расчеты для проверки коэффициента корреляции на значимость для среднемесячных значений.

$\delta$	soi	anino1+ 2	anino3	anino3, 4	anino4	oni	mei	tni	espi
soi	1								
anino1+ 2	0.03	1							
anino3	0.02	0.01	1						
anino3,4	0.02	0.02	0.00	1					
anino4	0.02	0.03	0.01	0.01	1				
oni	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	1			

mei	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	1		
tni	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	1	
espi	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	1

t*	soi	anino1+ 2	anino3	anino3, 4	anino4	oni	mei	tni	espi
soi	1								
anino1+ 2	18.35	1							
anino3	32.74	80.41	1						
anino3,4	43.18	35.81	247.21	1					
anino4	34.87	18.89	51.64	117.82	1				
oni	45.30	31.72	138.38	454.48	76.64	1			
mei	58.45	38.23	91.15	112.59	49.26	142.17	1		
tni	7.32	11.79	0.33	8.20	22.95	6.60	3.09	1	
espi	43.75	29.66	56.08	63.96	37.53	69.45	77.18	3.28	1

ткр	1.962759
-----	----------

t* > ткр	soi	anino1+ 2	anino3	anino3, 4	anino4	oni	mei	tni	espi
soi	1								
anino1+ 2	отверг	1							
anino3	отверг	отверг	1						
anino3,4	отверг	отверг	отверг	1					
anino4	отверг	отверг	отверг	отверг	1				
oni	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	1			
mei	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	1		
tni	отверг	отверг	приним	отверг	отверг	отверг	отверг	1	
espi	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	1

В таблице 2 приведены промежуточные вычисления, выполненные для проверки КК на значимость. Они состоят из трех таблиц с расчетами: вычисление средней квадратической погрешности расчета коэффициента корреляции, вычисление эмпирического значения критерия Стьюдента, проверка КК на условие  $t^* > t_{кр}$ .

Условие значимости КК ( $t^*$  больше, чем  $t_{кр}$ ) после проверки КК на значимость выполняется в 35 случаях. Таким образом, этих случаях нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции значим.

Значимый коэффициент корреляции говорит о наличии между исследуемыми рядами переменных стохастической связи (прямой или обратной, что зависит от знака КК).

Условие  $t^*$  меньше  $t_{кр}$  выполняется для 1 коэффициента. Из этого следует, что КК незначим и стохастическая связь отсутствует.

Затем корреляционный анализ был выполнен для среднегодовых значений соответствующих индексов. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Корреляционная матрица для среднегодовых значений индексов.

	soi	anino1+2	anino3	anino3,4	anino4	oni	mei	tni	espi
soi	1								
anino1+2	-0.64	1							
anino3	-0.83	0.90	1						
anino3,4	-0.91	0.74	0.94	1					
anino4	-0.83	0.53	0.79	0.91	1				
oni	-0.90	0.67	0.88	0.96	0.82	1			
mei	-0.96	0.71	0.89	0.91	0.76	0.94	1		
tni	0.26	0.36	0.00	-0.26	-0.56	-0.18	-0.09	1	
espi	-0.86	0.73	0.91	0.93	0.79	0.94	0.90	-0.12	1

Как и в случае с среднемесячными рядами была произведена проверка полученных КК на значимость

Таблица 4. Выполненные расчеты для осуществления проверки коэффициента корреляции на значимость для среднемесячных значений.

$\delta$	soi	anino1+2	anino3	anino3,4	anino4	oni	mei	tni	espi
soi	1								
anino1+2	0.07	1							
anino3	0.04	0.02	1						
anino3,4	0.02	0.05	0.01	1					
anino4	0.04	0.09	0.04	0.02	1				
oni	0.02	0.07	0.03	0.01	0.04	1			
mei	0.01	0.06	0.03	0.02	0.05	0.01	1		
tni	0.11	0.11	0.12	0.11	0.08	0.12	0.12	1	
espi	0.03	0.06	0.02	0.02	0.04	0.01	0.02	0.12	1

$t^*$	soi	anino1+2	anino3	anino3,4	anino4	oni	mei	tni	espi
soi	1								
anino1+2	8.96	1							
anino3	21.85	40.10	1						
anino3,4	43.40	13.58	71.48	1					

anino4	21.70	6.20	17.73	45.56	1				
oni	40.22	10.20	31.99	99.35	20.74	1			
mei	100.07	12.01	34.95	46.63	15.05	66.85	1		
tni	2.33	3.40	0.01	2.35	6.86	1.54	0.80	1	
espi	27.66	12.75	45.90	60.08	17.61	62.90	38.82	1.00	1

tkp	1.994945
-----	----------

t* > tkp	soi	anino1+2	anino3	anino3,4	anino4	oni	mei	tni	espi
soi	1								
anino1+2	отверг	1							
anino3	отверг	отверг	1						
anino3,4	отверг	отверг	отверг	1					
anino4	отверг	отверг	отверг	отверг	1				
oni	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	1			
mei	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	1		
tni	отверг	отверг	приним	отверг	отверг	приним	приним	1	
espi	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	отверг	приним	1

В таблице 4 приведены промежуточные вычисления, выполненные для проверки КК на значимость. Они состоят из трех таблиц с расчетами: вычисление средней квадратической погрешности расчета коэффициента корреляции, вычисление эмпирического значения критерия Стьюдента, проверка КК на условие  $t^* > t_{кр}$ .

Условие  $t^* > t_{кр}$  после проверки коэффициентов корреляции на значимость выполняется для 32 коэффициентов корреляции. Таким образом, в этих случаях КК можно считать значимым, что говорит о наличии прямой или обратной стохастической связи.

Обратное условие ( $t^*$  меньше  $t_{кр}$ ) выполняется для 4 коэффициентов между исследуемыми параметрами переменных статистически значимая связь отсутствует.

Далее были рассчитаны средние значения модулей коэффициентов корреляции, для выявления индекса, наиболее точно отражающего изменения остальных индексов. Результаты расчетов представлены в табл. 5.

Таблица 5. Средние значения модулей коэффициентов корреляции исследуемых индексов

Индекс	КК месяц	КК год
soi	0.623	0.773
anino1+2	0.599	0.660
anino3	0.715	0.768
anino3.4	0.766	0.822
anino4	0.701	0.750
oni	0.750	0.786
mei	0.723	0.771
tni	0.231	0.230
espi	0.669	0.772

Согласно полученным результатам, среднее значение модуля коэффициентов корреляции для среднемесячных значений, превышающее 0,7 отмечено у 5 индексов: anino3, anino3.4, anino4, ONI и MEI, у среднегодовых – у 7 (SOI, anino3, anino3.4, anino4, ONI, MEI и ESPI. Наибольший коэффициент – у anino3.4.

Таким образом, в дальнейшем анализе будет использован индекс anino3.4.

Между индексом anino3.4 и остальными исследуемыми индексами отмечена стохастическая связь. С индексом SOI и TNI отмечена обратная зависимость, с остальными – прямая.

### 3.2 Выделение тренда

Следующим этапом работы стало выявление тренда в исходном ряду данных индекса anino3.4 для среднемесячных и среднегодовых значений.

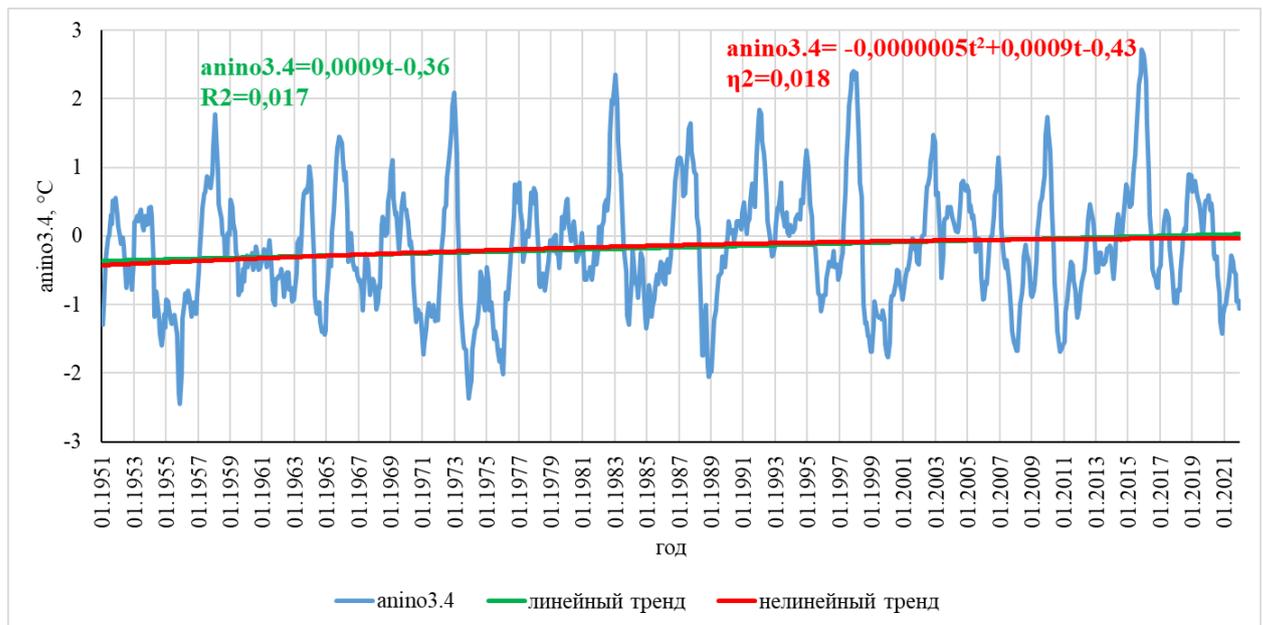


Рисунок 7. Среднемесячная изменчивость индекса aNino3.4 и его линейный и нелинейный тренды.

Оценка значимости коэффициента корреляции  $r$  для линейного тренда и корреляционного отношения  $\eta$  для нелинейного тренда для индекса aNino3.4.

Линейный тренд: для линейного коэффициента  $t_{кр}=1,96$ ,  $t^*=3,88$ .  $t^* > t_{кр}$  нулевая гипотеза отвергается, линейный тренд значим.

Нелинейный тренд: для нелинейного коэффициента  $t_{кр}=1,96$ ,  $t^*=3,99$ .  $t^* > t_{кр}$  нулевая гипотеза отвергается, нелинейный тренд значим.

Уравнение линейного тренда: ТПО= $0.0009 \cdot t - 0,36$

$R^2=0,007$

Линейный тренд присутствует, вклад тренда значим.

Уравнение нелинейного тренда: ТПО= $-0,0000005 \cdot t^2 + 0.0009 \cdot t - 0,43$

$R^2=0,018$

Нелинейность есть, вклад тренда значим.

Оба выделенных тренда оказались значимыми, а также они свидетельствуют о некотором повышении аномалии индекса Nino3.4, как следствие о повышении температурного фона относительно среднемноголетних значений, усилении явления Эль-Ниньо в последние десятилетия.

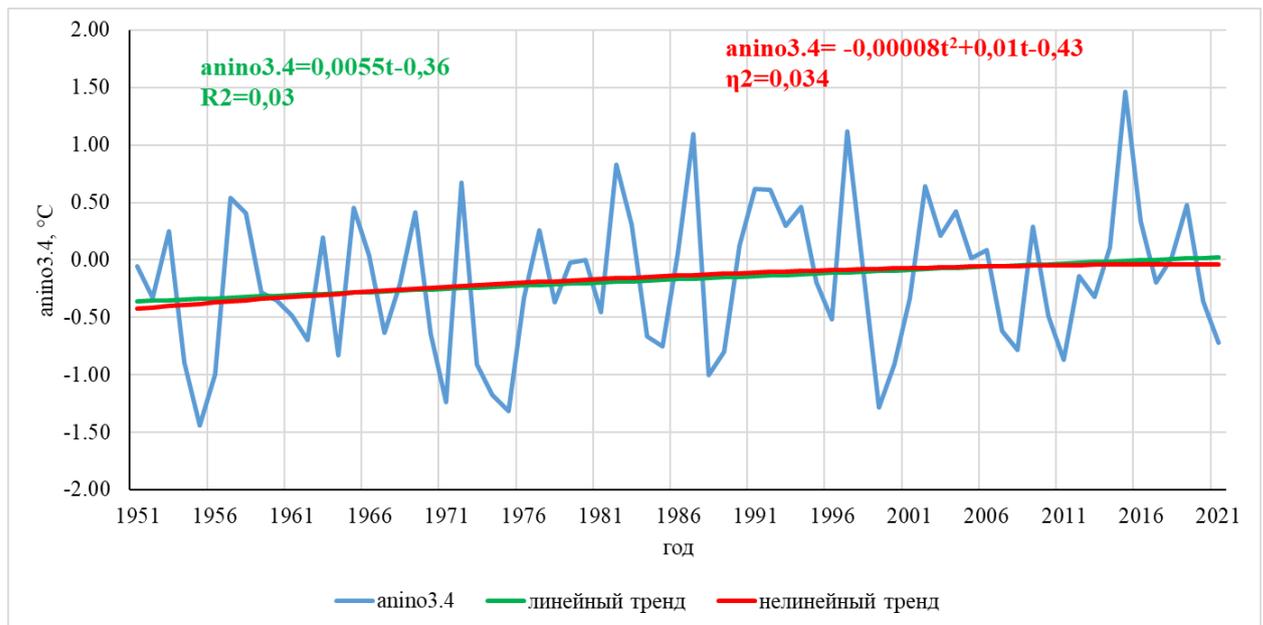


Рисунок 8. Среднегодовая изменчивость индекса  $anino3.4$  и его линейный и нелинейный тренды.

Оба выделенных тренда оказались незначимыми.

### 3.3 Спектральный и гармонический анализ

Следующим этапом стал спектральный и гармонический анализ исходных рядов данных для среднемесячных и среднегодовых значений.

Для анализа ряда значений индекса  $anino3.4$  из исходного ряда был удален значимый нелинейный тренд (среднемесячные). В ПО Past был проведен спектральный анализ полученного ряда среднемесячных и среднегодовых значений, результаты которого были использованы для выбора значимых периодичностей для последующего гармонического анализа.

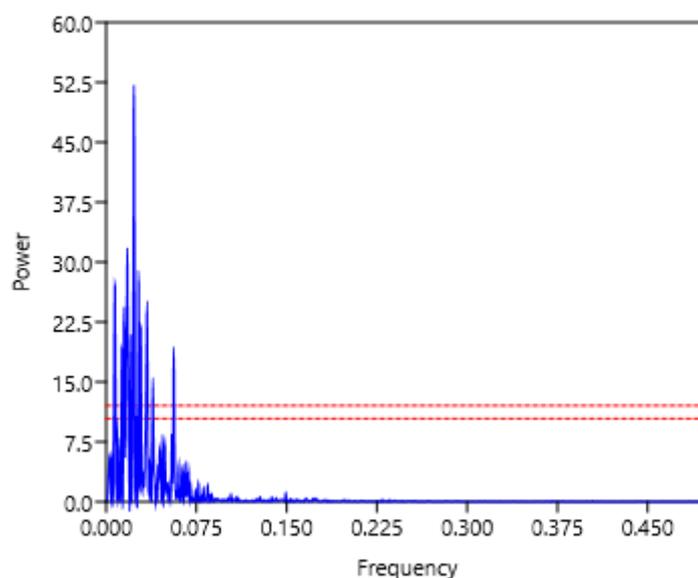


Рисунок 9. Периодограмма для ряда отклонений от тренда среднемесячных значений индекса  $apino3.4$

Рассчитаны характеристики четырех основных гармоник: амплитуды, фазы, дисперсии гармоник, вклад в дисперсию исходного ряда

Таблица 6. Характеристики гармоник индекса  $apino3.4$

Параметры гармоник	Гармоника 1	Гармоника 2	Гармоника 3	Гармоника 4
Частота, 1/мес	0.023	0.027	0.015	0.029
Период, мес	43.363	37.202	67.408	34.913
Частота, рад/мес	0.145	0.169	0.093	0.180
К-т Фурье, $a_k$	0.061	0.044	0.191	0.275
К-т Фурье, $b_k$	0.415	0.304	-0.210	0.012
$A$ , °С	0.419	0.307	0.284	0.275
Фаза, рад	0.145	0.143	2.405	1.528
Фаза, мес	1.002	0.850	25.818	8.494
Дисперсия гармоники, °С <sup>2</sup>	0.088	0.047	0.040	0.038
Дисперсия исх.ряда, °С <sup>2</sup>	0.732	0.732	0.732	0.732
Вклад гармоники в ряд откл	0.120	0.064	0.055	0.052

Оценим значимость гармоник

Вклад дисперсии гармоники в общую дисперсию ряда – аналог коэффициента детерминации. Поэтому проверяем на значимость коэффициент

корреляции, чтобы сделать вывод о значимости вклада гармоник в дисперсию ряда.

Далее определяется критическое значение  $t_{кр}=1,96$ , где уровень значимости  $\alpha$  принимается равным 5%, а число степеней свободы  $\nu=N-2$ , где  $N=850$ .

Сравниваем  $t^*$  с  $t_{кр}$ .

Для 1 гармоник:  $t^*=11,47 > t_{кр}$ . Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Для 2 гармоник:  $t^*=7,91 > t_{кр}$ . Гармоника вносит вклад в дисперсию ряда отклонений.

Для 3 гармоник:  $t^*=7,24 > t_{кр}$ . Гармоника вносит незначительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Для 4 гармоник:  $t^*=6,99 > t_{кр}$ . Гармоника вносит незначительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Далее нашли сумму значимых гармоник.

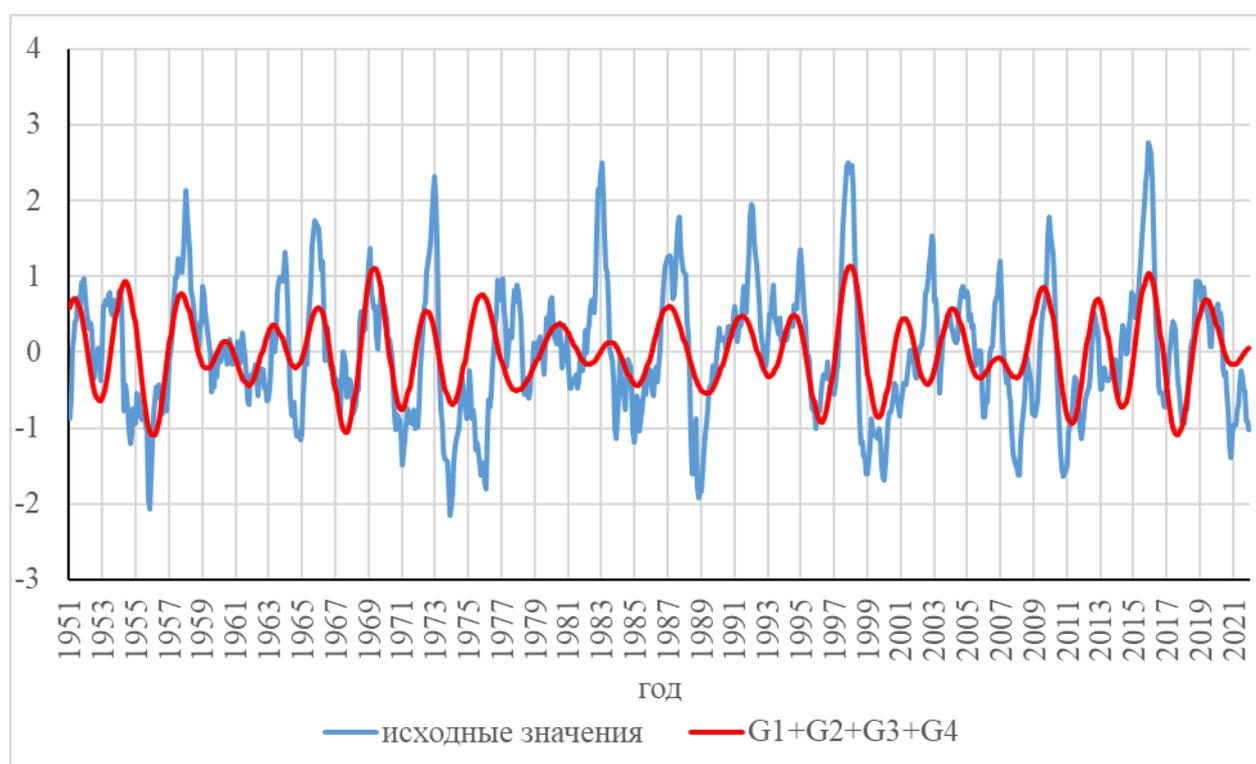


Рисунок 10. Совмещенный график исходных и восстановленных среднемесячных значений индекса  $anino3.4$

Значительный вклад в дисперсию ряда вносят периоды гармонических колебаний 12; 6; 43 и 61 месяц. По рисунку 10 видно, что восстановленные значения не очень хорошо описывают ход исходных значений.

Вклад гармоник в 43 месяца составляет 0,12, т.е. 12%, в 37 месяцев – 0,064 (6%), в 67 месяцев – 0,055 (6%), в 35 месяцев – 0,052 (5%). Фаза гармоник в 43 месяца вносит наибольший вклад в дисперсию ряда. Общий вклад гармоник составляет 29%.

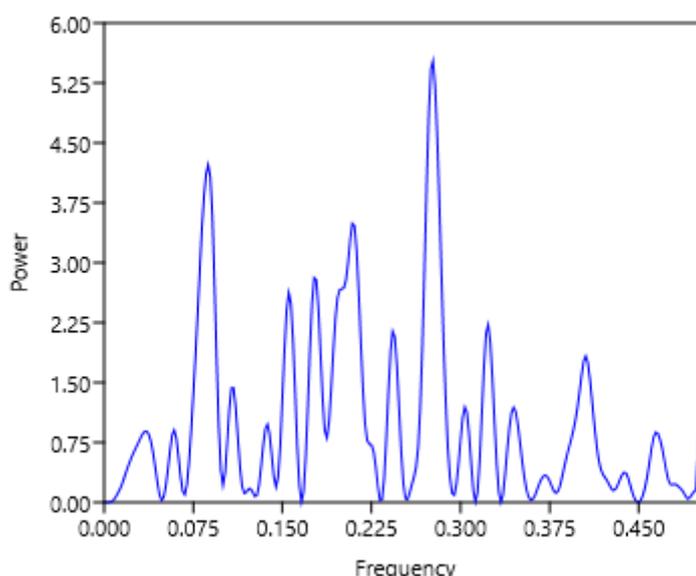


Рисунок 11. Периодограмма для ряда отклонений от тренда среднегодовых значений индекса anino3.4

Расчитаны характеристики четырех основных гармоник: амплитуды, фазы, дисперсии гармоник, вклад в дисперсию исходного ряда

Таблица 7. Характеристики гармоник индекса anino3.4 (среднегодовые)

Параметры гармоник	Гармоника 1	Гармоника 2	Гармоника 3	Гармоника 4
Частота, 1/год	0.0875	0.17679	0.20893	0.27679
Период, год	11.42	5.66	4.79	3.61
Частота, рад/год	0.550	1.110	1.312	1.738
К-т Фурье, ак	-0.317	0.115	-0.227	0.261

К-т Фурье, bk	-0.047	-0.208	-0.160	0.228
A, °C	0.321	0.238	0.277	0.346
Фаза, рад	1.423	2.636	0.956	0.851
Фаза, мес	2.590	2.375	0.728	0.490
Дисперсия гармоники, °C <sup>2</sup>	0.051	0.028	0.038	0.060
Дисперсия исх.ряда, °C <sup>2</sup>	0.396	0.396	0.396	0.396
Вклад гармоники в ряд откл	0.130	0.071	0.097	0.152

Далее нашли сумму значимых гармоник.

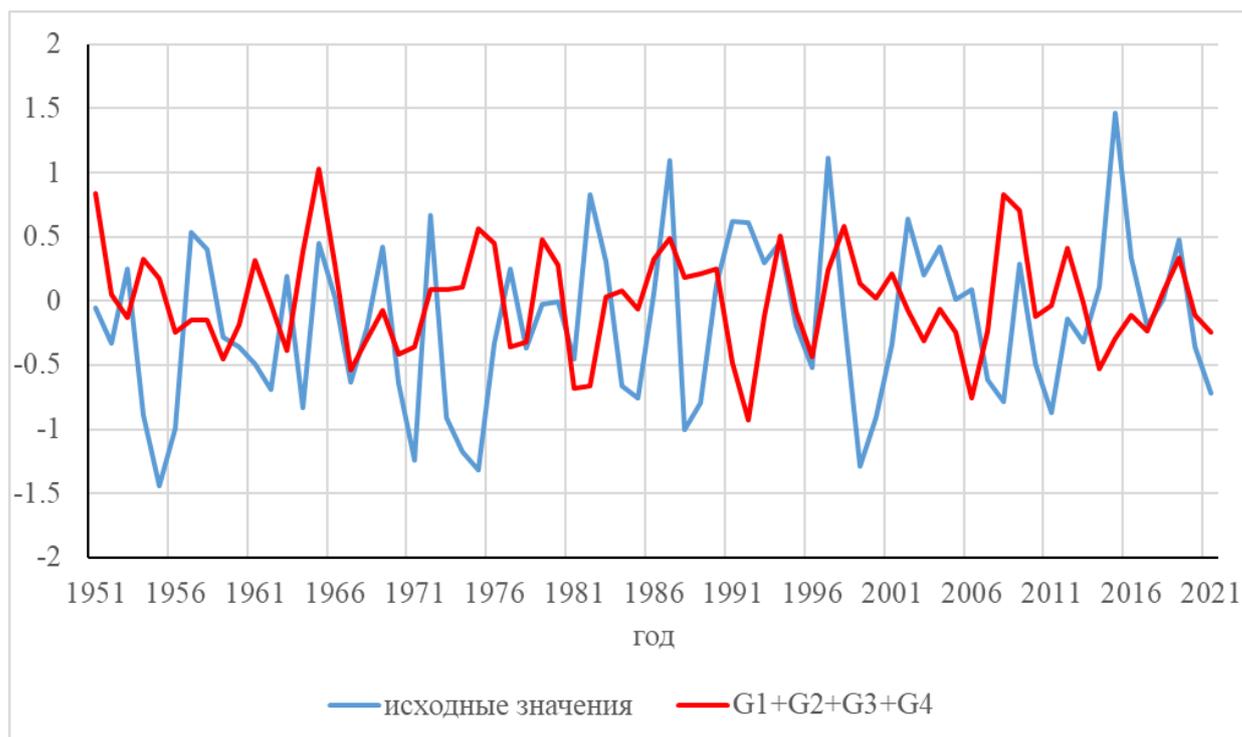


Рисунок 12. Совмещенный график исходных и восстановленных среднегодовых значений индекса anino3.4

Значительный вклад в дисперсию ряда вносят периоды гармонических колебаний 11,4; 5,7; 4,8 и 3,6 лет. По рисунку 12 видно, что восстановленные значения не очень хорошо описывают ход исходных значений.

Вклад гармоники в 11 лет составляет 0,13, т.е. 13%, в 6 лет– 0,07 (7%), в 5 лет – 0,097 (10%), в 4 года – 0,15 (15%). Фаза гармоники в 43 месяца вносит наибольший вклад в дисперсию ряда. Общий вклад гармоник составляет 45%.

### 3.4 Автокорреляционный анализ

Анализ внутренней структуры исследуемого процесса проводится на основе автокорреляции. Автокорреляция – это корреляция статистического ряда самого с собой при разных сдвигах во времени.

Из исходного ряда исследуемого индекса были удалены нелинейный тренд для среднемесячных значений. Получился ряд отклонений. Выделены нециклические колебания путем вычитания рассчитанных гармоник.

Была рассчитана автокорреляционная функция и уровни значимости АКФ для каждого сдвига в положительной и отрицательной области.

Для всех исследуемых индексов значимый и наибольший коэффициент автокорреляции на сдвиге  $\tau=1$ . Следовательно, автопрогноз будем делать с заблаговременностью 1 месяц.

Анализ значений индекса  $apino3.4$ .

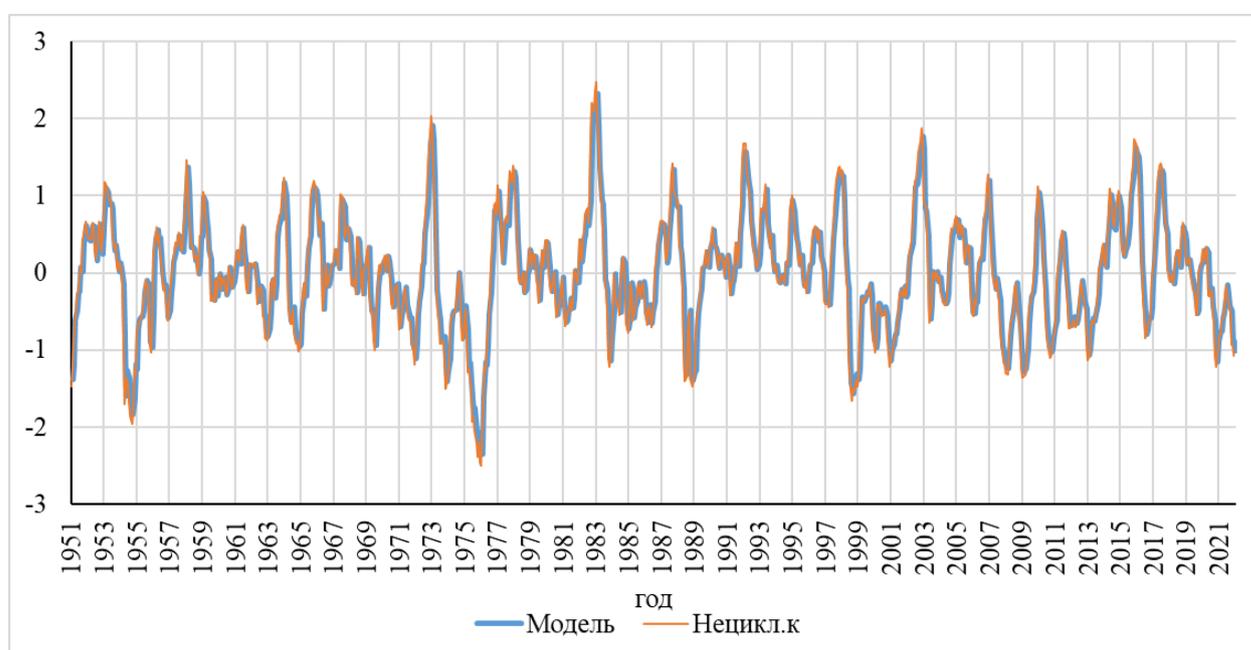


Рисунок 13. Фактические и рассчитанные по уравнению авторегрессии значения нециклических колебаний индекса  $apino3.4$  за период с 1951 по 2021 гг. для среднемесячных значений.

Модель авторегрессии не очень хорошо отражает максимумы и минимумы нециклических колебаний ТПО, однако динамику временных изменений отражает достаточно качественно.

Ниже приведён совмещённый график фактических и рассчитанных среднемесячных значений индекса  $a_{\text{ипо}}3.4$ .

Основой для расчетов служит аддитивная модель межгодовых изменений временного ряда в следующем виде:

$$X(t) = \text{Tr}(t) + C(t) + P(t)$$

где  $Tr(t)$  – трендовая составляющая;  $C(t)$  – циклическая компонента, характеризующая регулярные (циклические) межгодовые колебания;  $P(t)$  – остаточная часть, характеризующая нерегулярные (случайные) межгодовые колебания. Сумма трендовой и циклической компонент означает детерминированную часть разложения (1), которая поддается интерпретации и строго описывается статистическими методами. Методы расчета и оценивания указанных компонент приводятся в работе [29].

Восстановленный ряд значений температуры представляет собой сумму модельных значений, рассчитанных по AP1, нелинейного тренда и значимых гармоник.

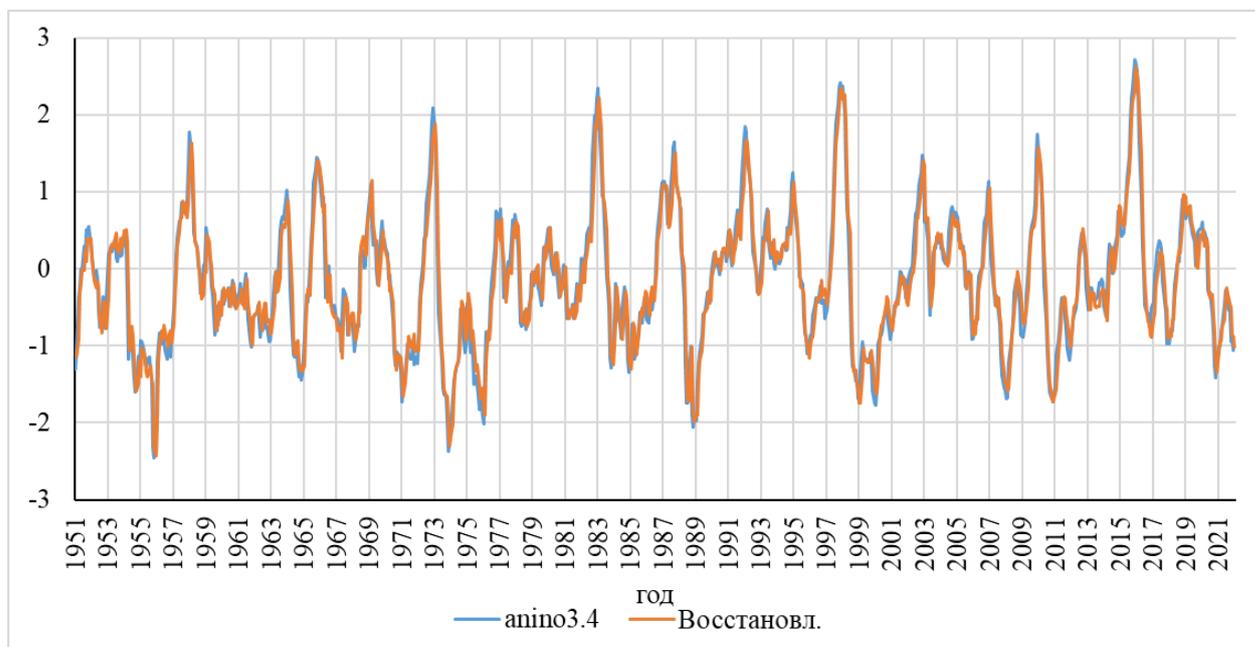


Рисунок 14. Фактические и рассчитанные по уравнению авторегрессии значения индекса anino3.4 за период с 1951 по 2021 гг. для среднемесячных значений.

По рисунку 14 видно, что модель достаточно качественно описывает изменчивость характеристики вместе с учетом гармоник и тренда.

Таблица 8. Значения дисперсии и части от общей дисперсии составляющих модели для среднемесячных значений.

	Дисперсия, °C <sup>2</sup>	Часть от общей дисперсии, %
Исходный ряд	0.75	100.0
Тренд	0.01	1.81
G1+2+3+4	0.24	31.86
АКФ	0.48	64.13
Шум		2.19

По расчетам видно, что основной вклад вносит годовая гармоника, т.е. наибольшую часть от общей дисперсии исходного ряда составляют АКФ = 64% и циклические колебания = 32%, наименьшую часть – тренд – 1,8%. На шум пришлось = 2,19%. Следовательно, дисперсия исходного ряда в значительной степени зависит от АКФ и циклических колебаний.

Для среднегодовых значений также был сделан соответствующий анализ. Результаты представлены в таблице 9.

Таблица 9. Значения дисперсии и части от общей дисперсии составляющих модели для среднегодовых значений.

	Дисперсия, °C <sup>2</sup>	Часть от общей дисперсии, %
Исходный ряд	0.40	100.0
G1+2+3+4	0.15	38.59
АКФ	0.09	22.34
Шум		39.07

По расчетам видно, что основной вклад вносит годовая гармоника, т.е. наибольшую часть от общей дисперсии исходного ряда составляет шум = 39%. На АКФ пришлось = 22%, на циклические колебания = 39%. Следовательно, дисперсия исходного ряда в значительной степени зависит от шума и циклических колебаний.

### 3.5 Связь ЭНЮК с индексами других регионов

Для анализа связей между динамикой ЭНЮК и различными климатическими индексами были использованы пять индексов: АО, NAO, PNA, GMT, WP, ААО, MarSAM.

Для поиска связи между индексом  $apino3.4$  и индексами АО, NAO, PNA, GMT, WP, ААО, MarSAM был использован корреляционный анализ со сдвигом. Использовались среднегодовые значения данных индексов с 1951 по 2021 гг.

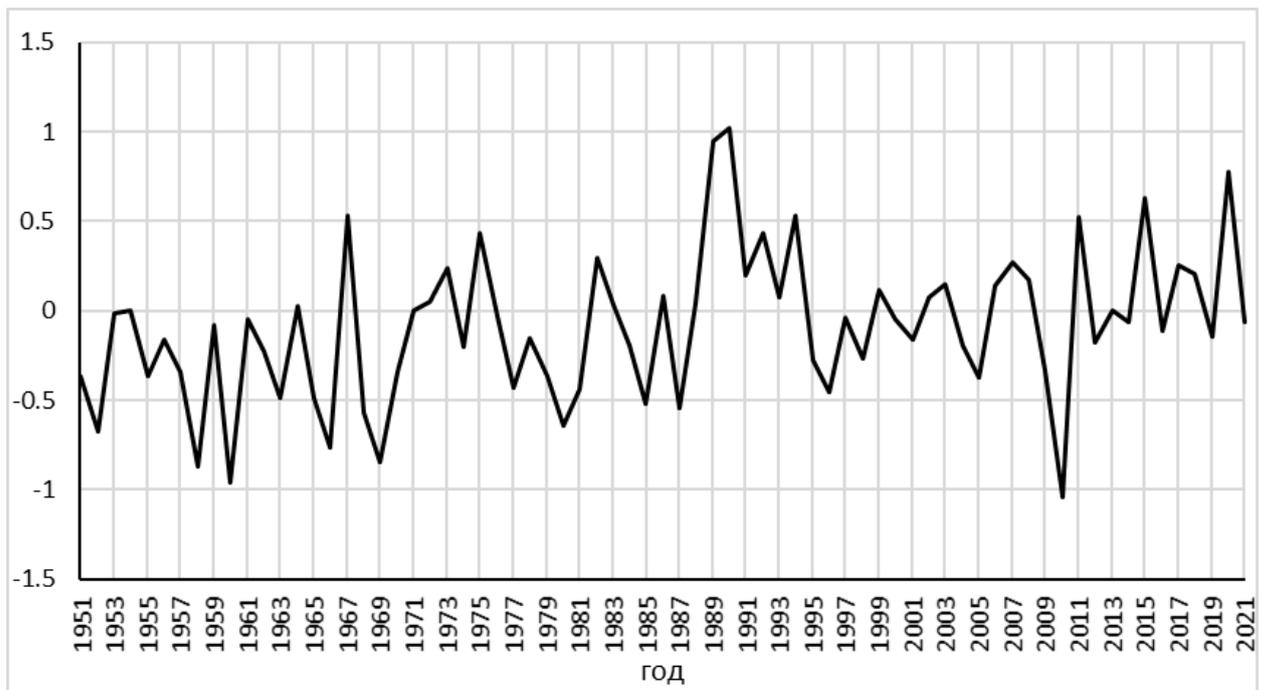


Рисунок 15. Среднегодовые значения индекса АО за период с 1951 по 2021 гг.

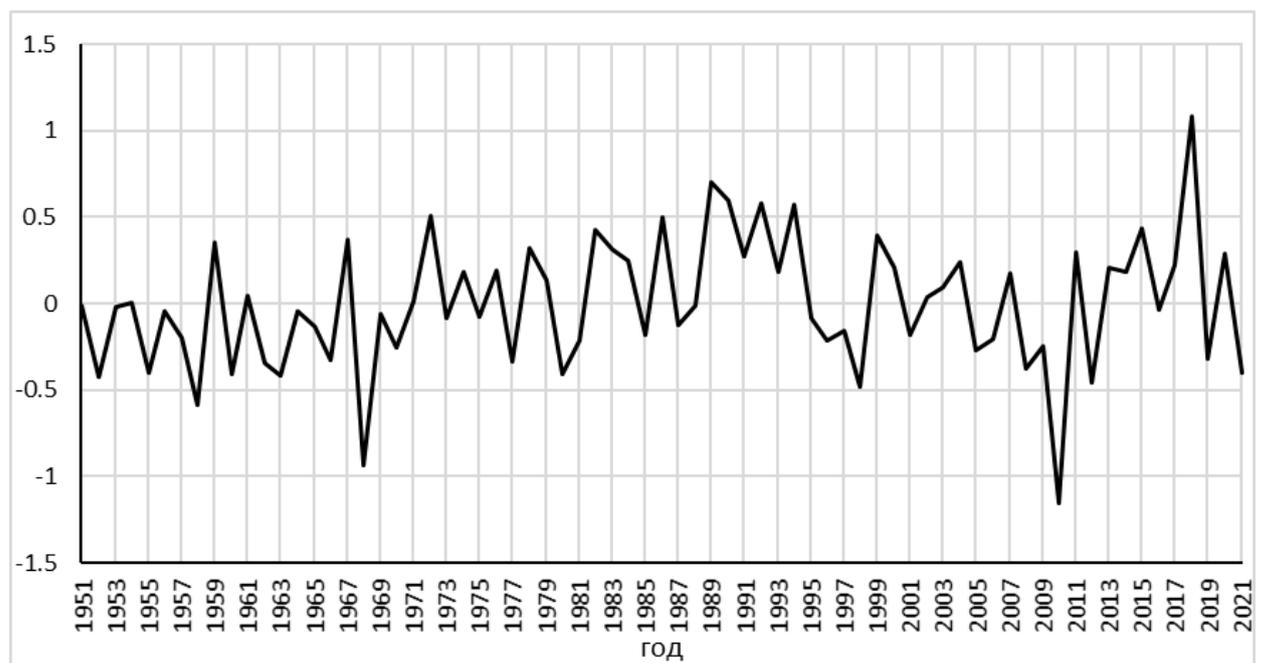


Рисунок 16. Среднегодовые значения индекса NAO за период с 1951 по 2021 гг.

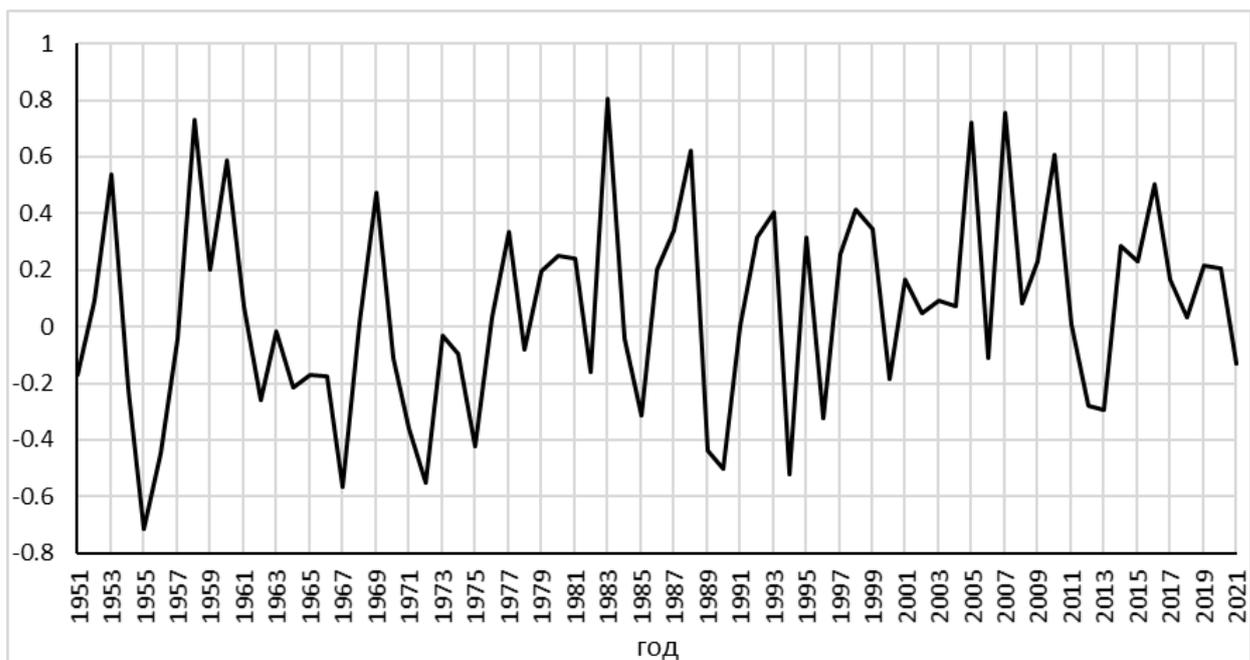


Рисунок 17. Среднегодовые значения индекса PNA за период с 1951 по 2021 гг.

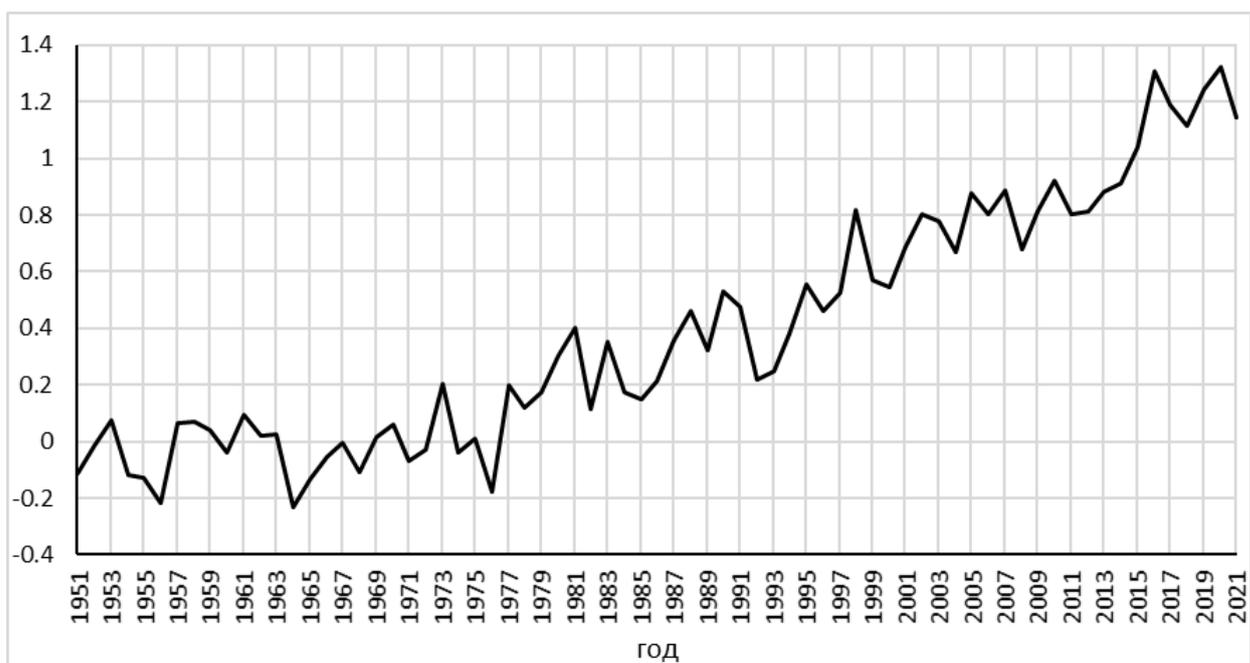


Рисунок 18. Среднегодовые значения индекса GMT за период с 1951 по 2021 гг.

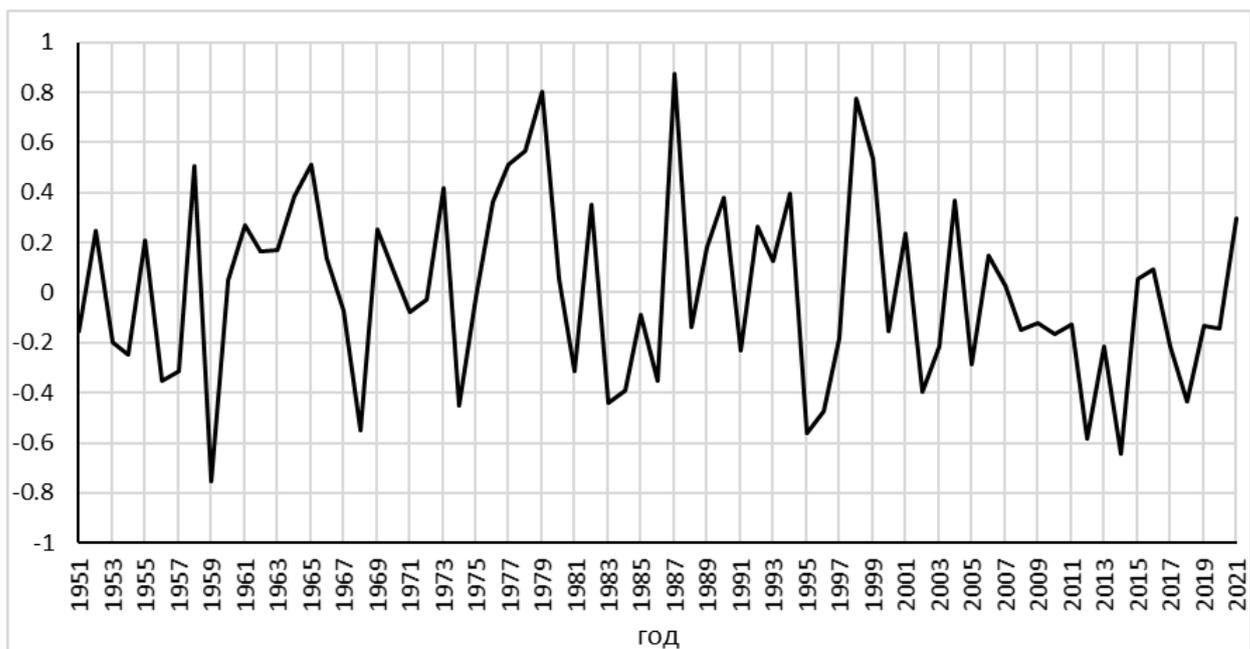


Рисунок 19. Среднегодовые значения индекса WP за период с 1951 по 2021 гг.

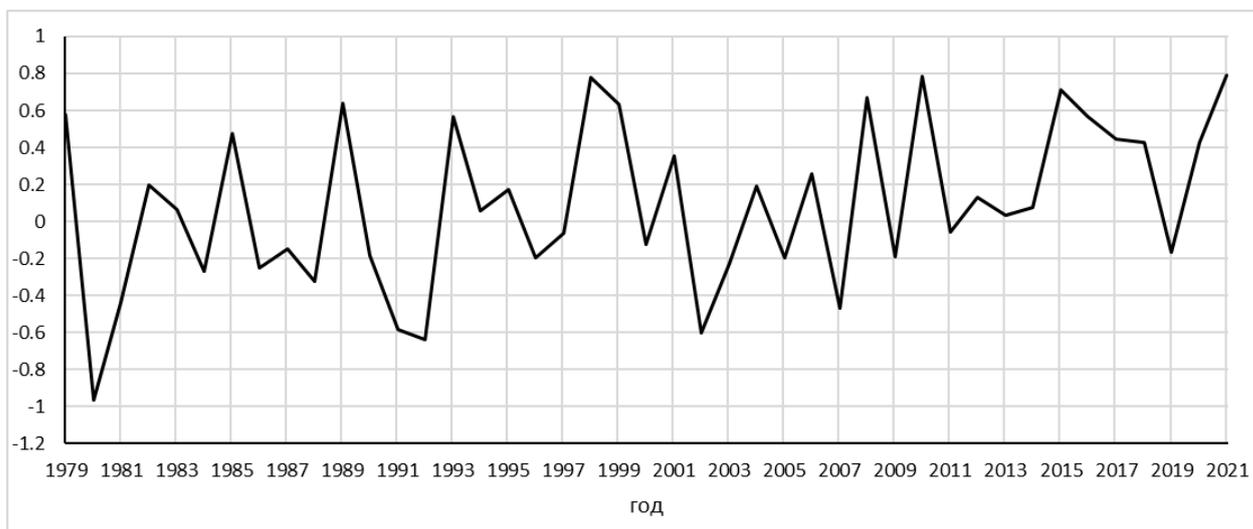


Рисунок 20. Среднегодовые значения индекса ААО за период с 1979 по 2021 гг.

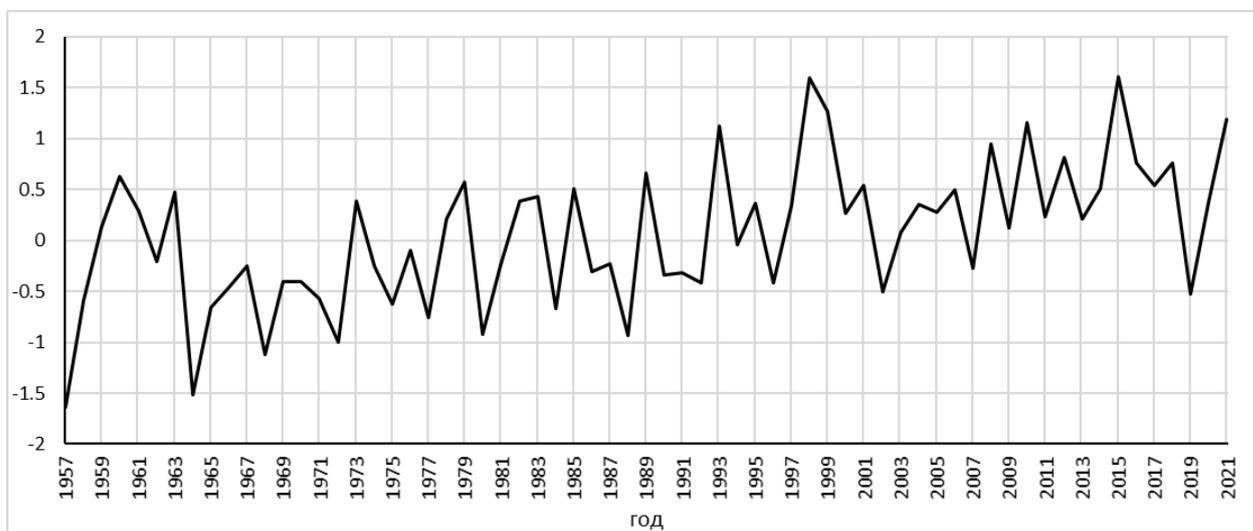


Рисунок 21. Среднегодовые значения индекса MarSAM за период с 1957 по 2021 гг.

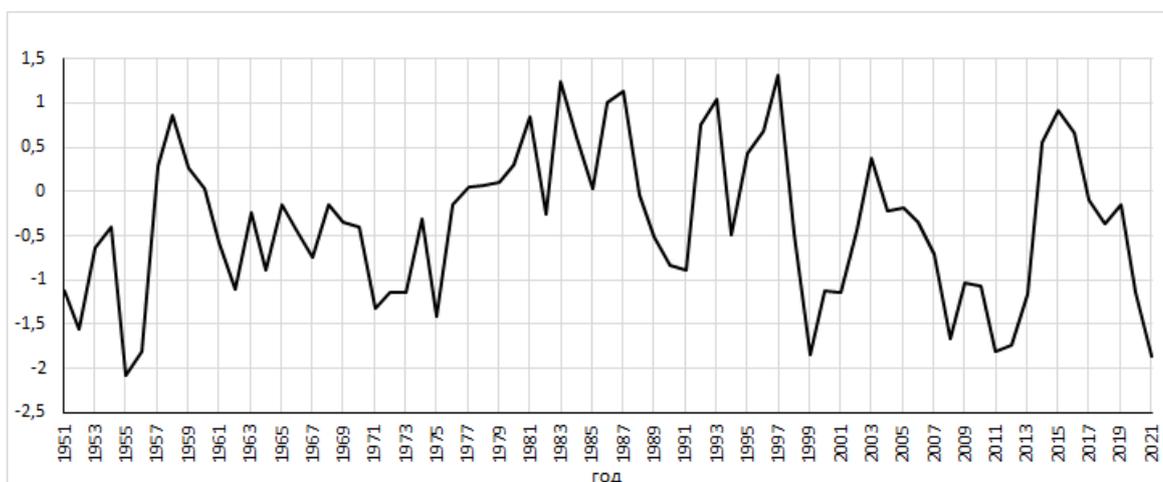


Рисунок 22. Среднегодовые значения индекса PDO за период с 1951 по 2021 гг.

Были получены следующие результаты (таблица 10).

Таблица 10. Корреляционная матрица и расчеты для осуществления проверки КК на значимость индекса anino3.4 и глобальных индексов

	anino3.4-AO	anino3.4-NAO	anino3.4-PNA	anino3.4-GMT	anino3.4-WP	anino3.4-AAO	anino3.4-MarSAM	anino3.4-PDO
КК	-0.04	0.12	0.31	0.21	0.11	-0.18	-0.01	0,56
N	71	71	71	71	71	43	65	71
$\delta$	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12	0.15	0.13	0,08
$t^*$	0.294	1.014	2.813	1.839	0.953	1.219	0.051	6,824
$t_{кр}$	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	2.02	2.00	1,99
$t^* > t_{кр}$	приним	приним	отверг	приним	приним	приним	приним	отверг

Коэффициенты корреляции были проверены на значимость. В результате проверки выявлено, что значимыми являются два коэффициента между индексом anino и индексами PDO (0,56) и PNA (0,31). С остальными индексами связь отсутствует, что говорит о более сложной связи между ними.

Между индексами anino и PDO коэффициент корреляции максимален и имеется стохастическая связь, характеризующаяся прямой зависимостью.

## Заключение

Исходя из выполненных расчетов и анализа полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

- в результате корреляционного анализа показано, что максимальная корреляция для среднемесячных и годовых значений 9 индексов ЭНЮК свойственна индексу Nino3.4, который в дальнейшем стал основным в последующих расчетах;

- исследование индекса Nino3.4. производилось как для среднемесячных значений, так и для среднегодовых. Для среднемесячных значений вследствие большой длины временного ряда выявлен значимый линейный тренд, однако вклад его в дисперсию исходных данных составляет менее 2 %. Для годовых значений тренд отсутствует.

- Спектральный и гармонический анализы позволили выявить в среднемесячных значениях Nino3.4 четыре значимые гармоники, вклад которых в дисперсию исходного ряда составляет 29 %. В среднегодовых количество значимых гармоник также равняется четырём и их вклад составляет 45 %.

- Анализ остатков по АКФ и шумов в общую дисперсию выборки для среднемесячных значений показал вклад нециклических колебаний (64%) и шумов (2%), а для среднегодовых значений вклад составил 22% и 39% соответственно.

- по итогам корреляционного анализа индекса Nino3.4. и восьми глобальных и региональных индексов было отмечено, что статистически значимый коэффициент корреляции был выявлен в двух случаях: между индексом aNino3.4 и индексами PNA и PDO наибольший коэффициент корреляции отмечен в случае связи индекса aNino3.4 и PDO и составил 0,56. Высокий коэффициент корреляции говорит нам о том, что между индексами aNino3.4 и PDO существует стохастическая связь, что в свою очередь указывает на присутствие сильной положительной связи между явлением Эль-Ниньо и изменениями

Тихоокеанского декадного колебания и температурного режима в северной части Тихого океана в целом.

## Список использованных источников

1. Осипов А.М., Гущина Д.Ю. Эль-Ниньо 2015-2016 гг.: эволюция, механизмы, сопутствующие удалённые аномалии // *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2018, № 3, с 54-81.
2. И.В. Серых. О динамике и структуре глобальной атмосферной осцилляции в климатических моделях и реальности. // *Океанологические исследования*, 2018, Том 46, №1, С. 14-28
3. Краснобородько О. Ю. О повторяемости очень сильных и катастрофических Эль-Ниньо и их влиянии на промысел в Перуанском подрайоне Юго-Восточной Пацифики // *Труды АтлантНИРО*. 2018. Том 2. № 2. С. 66-83.
4. Железнова И. В. 2015. Отклик в система океан-атмосфера на каноническое Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки. Дис. канд. геогр. наук. - М., 264 с.
5. Ashok K. et al. 2007. El Niño Modoki and its possible teleconnection. // *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 112 (11), pp. 1-27
6. Матвеева Т.А. Изменение характеристик Эль-Ниньо и Ла-Нинья в климатах прошлого и будущего: дис. ... канд. геогр. наук Москва, 2018. С.168
7. Гущина Д.Ю. Модификация Эль-Ниньо – Южного Колебания в условиях меняющегося климата: мониторинг, причины, удаленный отклик. – М.: Диссертация на соискание учёной степени доктора географических наук, 2014, 433 с
8. Ashok K. and Yamagata T. Climate change: The El Niño with a difference. // *Nature*. – 2009. – Vol. 461 (7263). – PP. 481/
9. Серых И.В. О роли Эль-Ниньо - Глобальной атмосферной осцилляции в межгодовой изменчивости гидрометеорологических процессов // *Гидрометеорология и экология*. 2021. № 63. С. 329-370.

10. Climate..., 2022. Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time-Series. NOAA. PSL. / Electronic resource / – Mode of access: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list> (Дата обращения: 05.06.2022)
11. Monthly..., 2022. Monthly Atmospheric and SST Indices. NOAA. NCEP. CPC. / Electronic resource / – Mode of access: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/> (Дата обращения: 05.06.2022)
12. Cold..., 2022. Cold & Warm Episodes by Season. NOAA. NCEP. CPC. / Electronic resource / – Mode of access: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php) (Дата обращения: 05.06.2022)
13. Multivariate ..., 2022. Multivariate ENSO Index (MEI). NOAA. ESRL. PSD. / Electronic resource / – Mode of access: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/> (Дата обращения: 05.06.2022)
14. K. E. Trenberth, D. P. Stepaniak. Indices of El Niño evolution. // J. Climate, 14, 2001, 1697-1701 pp.
15. TNI... 2022. TNI Index. NOAA. PSL. / Electronic resource / – Mode of access: [https://psl.noaa.gov/gcos\\_wgsp/Timeseries/TNI/](https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/TNI/) (Дата обращения: 05.06.2022)
16. Curtis, S., and R. Adler. 2000. ENSO indices based on patterns of satellite-derived precipitation. Journal of Climate 13:2786-2793 pp.
17. Arctic..., 2022. Arctic Oscillation. NOAA. NCEP. CPC. / Electronic resource / – Mode of access: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily\\_ao\\_index/ao.shtml](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml) (Дата обращения: 05.06.2022)
18. Barnston, A. G., and R. E. Livezey, 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. Mon. Wea. Rev., 115, 1083-1126.
19. North..., 2022. North Atlantic Oscillation. NOAA. NCEP. CPC. / Electronic resource / – Mode of access:

<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml> (Дата обращения: 05.06.2022)

20. Pacific..., 2022. Pacific/North American Pattern. NOAA. NCEP. CPC. / Electronic resource / – Mode of access: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/pna.shtml> (Дата обращения: 05.06.2022)

21. GISTEMP Team, 2022: GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4. NASA Goddard Institute for Space Studies. / Electronic resource / – Mode of access: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/> (Дата обращения: 05.06.2022)

22. Lenssen, N., G. Schmidt, J. Hansen, M. Menne, A. Persin, R. Ruedy, and D. Zyss, 2019: Improvements in the GISTEMP uncertainty model. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 124, no. 12, 6307-6326

23. West..., 2022. West Pacific (WP). NOAA. NCEP. CPC. / Electronic resource / – Mode of access: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/wp.shtml> (Дата обращения: 05.06.2022)

24. Antarctic..., 2022. Antarctic Oscillation. NOAA. NCEP. CPC. / Electronic resource / – Mode of access: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily\\_ao\\_index/ao/ao.shtml](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao/ao.shtml) (Дата обращения: 05.06.2022)

25. Marshall..., 2022. MARSHALL SOUTHERN ANNULAR MODE (SAM) INDEX (STATION-BASED). NCAR. / Electronic resource / – Mode of access: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/marshall-southern-annular-mode-sam-index-station-based>

26. Marshall GJ. 2003. Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. *Journal of Climate*, 16: 4134–4143.

27. Pacific..., 2022. Pacific Decadal Oscillation (PDO). NOAA. NCDC. / Electronic resource / – Mode of access: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/> (Дата обращения: 05.06.2022)

28. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации». – СПб, изд. РГГМУ, 2017. – 68 с.

29. Малинин В.А. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учебник, – издание 2, испр. и доп. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 424 с .