



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра ПО ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (бакалаврская работа)

На тему Энергоактивная зона океана Эль-Ниньо и ее динамика

Исполнитель Обысова Светлана Олеговна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Доктор географических наук, профессор,  
Малинин Валерий Николаевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

кандидат географических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

«22» июни 2023 г.

Санкт-Петербург  
2023

## Оглавление

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Список используемых сокращений.....                                             | 2  |
| Введение .....                                                                  | 3  |
| 1 Климатическое описание энергоактивной зоны океана Эль-Ниньо .....             | 4  |
| 1.1 Два основных типа объяснений возникновения Эль-Ниньо.....                   | 5  |
| 1.2 Самая мощная ЭАЗО - Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) .....                | 6  |
| 2 Исходные данные и методы статистического анализа, используемые в работе ..... | 10 |
| 2.1 Исходные данные .....                                                       | 10 |
| 2.2 Статистические методы анализа .....                                         | 11 |
| 2.2.1 Описательные статистики.....                                              | 11 |
| 2.2.2 Корреляционный анализ .....                                               | 13 |
| 2.2.3 Анализ тренда временного ряда .....                                       | 14 |
| 2.2.4 Спектр и гармонический анализ Фурье .....                                 | 15 |
| 3 Количественные характеристики Эль-Ниньо и их статистическое описание .....    | 19 |
| 3.1 Изменение индексов Эль-Ниньо .....                                          | 19 |
| 3.1.1 Описательные статистики.....                                              | 19 |
| 3.1.2 Корреляционный анализ .....                                               | 20 |
| 3.1.3 Выделение и анализ тренда .....                                           | 21 |
| 3.1.4 Спектральный и гармонический анализ.....                                  | 26 |
| Заключение .....                                                                | 45 |
| Список использованных источников .....                                          | 46 |

## Список используемых сокращений

ЭНЮК - Эль-Ниньо/Южное колебание

ТВ – температура воздуха

ЭЗ – экваториальная зона

ТПО – температура поверхности океана

ГС – генеральная совокупность

## Введение

Эль-Ниньо представляет собой климатическое явление, возникающее в тропической части Тихого океана, характеризующееся аномальным повышением температуры поверхности океана. Это приводит к глобальным изменениям в атмосферных условиях, включая изменение осадков и температуры в разных регионах мира.

Данный процесс значительно влияет на:

- распространение водяного пара в атмосфере
- выпадение атмосферных осадков
- изменение метеорологических условий во всех (кроме Арктического и Антарктического) климатических поясах планеты.

Все перечисленные процессы в аномальных фазах Южного колебания приводят к достижению катастрофических масштабов, из-за чего условия экологии во многих регионах становятся не комфортными для обитателей, это приводит к массовой гибели и наносит ущерб экосистемам.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование внутригодовой и межгодовой изменчивости суммарного потока тепла из океана в атмосферу в энергоактивной зоне океана Эль-Ниньо.

Задачи работы:

1. Составить комплексное климатическое описание энергоактивной зоны океана Эль-Ниньо.
2. Выполнить статистические расчеты изменчивости характеристик ЭНЮК
3. Выявление закономерностей межгодовых колебаний индексов Эль-Ниньо в разные сезоны и в целом за год.

## 1 Климатическое описание энергоактивной зоны океана Эль-Ниньо

Название "Эль-Ниньо" происходит от испанского словосочетания, означающего "Младенец" или "Мальчик". Это название было дано явлению в связи с его связью с рождественскими праздниками, поскольку оно обычно проявляется в тропической части Тихого океана во время рождественского периода. Наблюдения за этим климатическим явлением были впервые сделаны рыбаками в Южной Америке, которые заметили, что температура океана возрастает в это время года и приводит к изменениям в местных условиях рыболовства. Изучение явления Эль-Ниньо началось во второй половине XX века. И характеризуется повышением ТПО (на 4-5 °С) восточной части Тихого океана и изменениями в атмосферной циркуляции.

Сильнейший Эль-Ниньо, случившийся в 1982-1983 годах, причинил ущерб в размере 13 миллиардов долларов.

Множество исследований, проведенных специалистами из разных стран, подтверждают влияние Эль-Ниньо на гидрометеорологические и экологические условия вод по всему миру. Это явление имеет далеко идущие последствия и требует дальнейшего изучения для лучшего понимания его механизмов и прогнозирования. [1-4].

Данный феномен нельзя отнести к явлению, который имеет постоянную цикличность и повторяющуюся силу проявления. Он может протекать без особых проявлений или наоборот может быть выражен очень интенсивно. Также, может наступать межфазовый период и индексы этого явления находятся в нейтральной зоне. Непостоянные проявления затрудняют изучение феномена. [23].

## 1.1 Два основных типа объяснений возникновения Эль-Ниньо

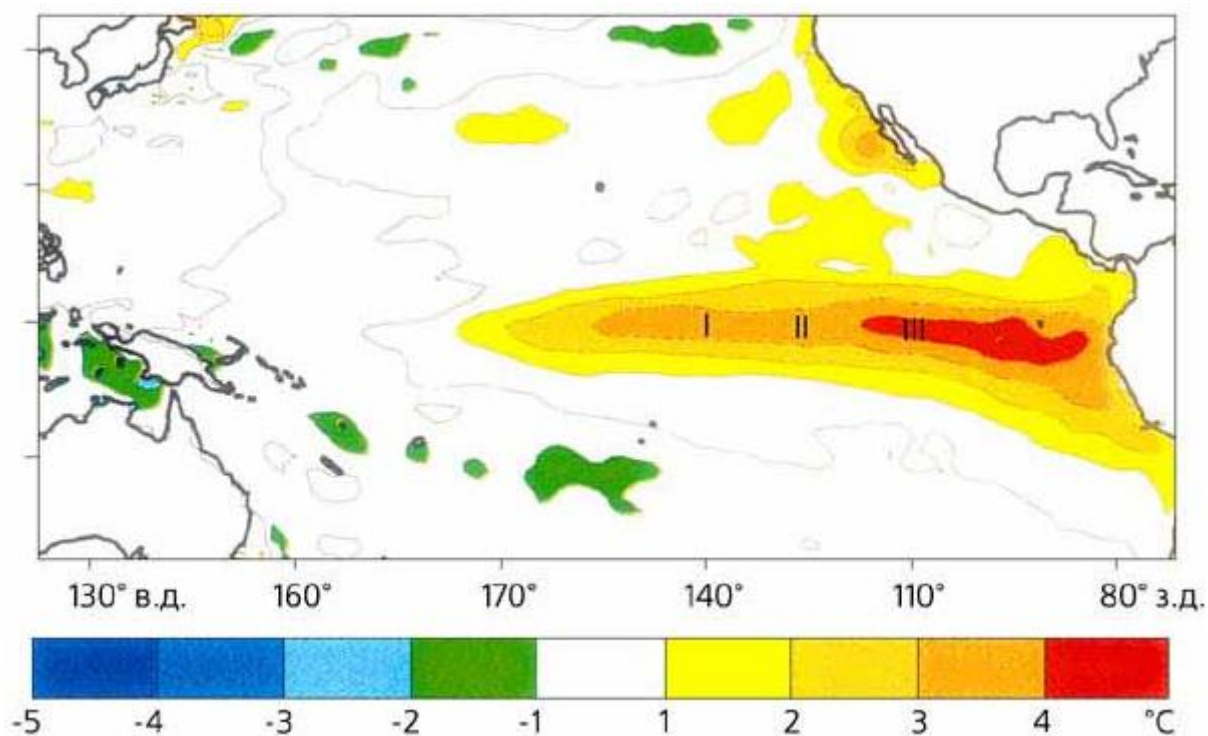


Рисунок 1 - Аномалии температуры поверхности воды экваториальной зоны Тихого океана в октябре 1987 г. относительно среднего ее значения за период 1980-1995 гг. (по данным П.Вебстера и др. [6]).

I, II, III - пункты продолжительных измерений течений.

Тип 1: Формирование экваториальных крупномасштабных течений и противотечений. Теплые воды перемещаются из западной части океана в восточную часть под влиянием поверхностного противотечения, возникающего при ослаблении пассатных ветров. [3-5]

Тип 2: Планетарные волны, такие как волны Кельвина и волны Россби, связаны с ветровой активностью над океаном. Пассатные ветры в области широт 15-20° севернее и южнее экватора вызывают появление волн Россби, которые затем превращаются в волны Кельвина, достигая западных окраин океана. После отражения волны Кельвина распространяются вдоль экватора на восток, и когда они достигают восточной части океана, они содействуют возникновению Эль-Ниньо. Таким образом, взаимодействие пассатных ветров

и планетарных волн играет решающую роль в формировании Эль-Ниньо. [3-5]

В экваториальной зоне океана отсутствуют волны Кельвина и волны Россби, но присутствуют "смешанные" волны, такие как гравитационные и волны Россби.

Для исследований в рамках проекта Тропический океан - Глобальная атмосфера [5, 6] можно сделать новые выводы подъема вод из глубины на поверхность и погружение поверхностных на глубину [7-9] Каспия на шельфе.

Пассивное значение явления имеют восточный берег океана при апвеллинге-даунвеллинге и экватор. Активной ролью явл. крупномасштабные течения и волны.

## 1.2 Самая мощная ЭАЗО - Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК)

Индекс Эль-Ниньо является индикатором, отражающим состояние глобальной климатической системы на планете. Этот индекс регулярно проявляется каждые 2-7 лет.

Для определения наличия Эль-Ниньо используются различные методы и инструменты. Вот некоторые из них:

1. Метеорологические данные: Метеорологические наблюдения, включающие измерения температуры воды и атмосферного давления, используются для отслеживания изменений в атмосферно-океанической системе. Это включает мониторинг среднемесячных, сезонных и годовых показателей. [11]

2. Океанографические данные: Данные, собранные с помощью буев, дрейфующих платформ и исследовательских судов, предоставляют информацию о температуре поверхностных вод, глубинных течениях, слоях термоклина и других параметрах океана. Эти данные помогают отслеживать изменения в океанской циркуляции, которые связаны с Эль-Ниньо.

3. Индексы Эль-Ниньо: Существуют различные индексы, такие как Индекс южного колебания осадков (SOI) и Индекс температуры поверхности океана (SST), которые используются для оценки наличия Эль-Ниньо. Эти индексы основаны на анализе статистических связей между атмосферными и океаническими параметрами. [10]

4. Численные модели: Компьютерные модели используются для симуляции и прогнозирования атмосферно-океанических процессов. Они позволяют ученым и метеорологам изучать взаимодействие между различными факторами и предсказывать развитие Эль-Ниньо в будущем.

Циркуляция, описанная Бьеркнесом [12], называют "циркуляцией Уолкера" (рис. 2), и её возникновение обусловлено наличием высокого атмосферного давления на востоке океана в районе Австралии по сравнению с западными районами.

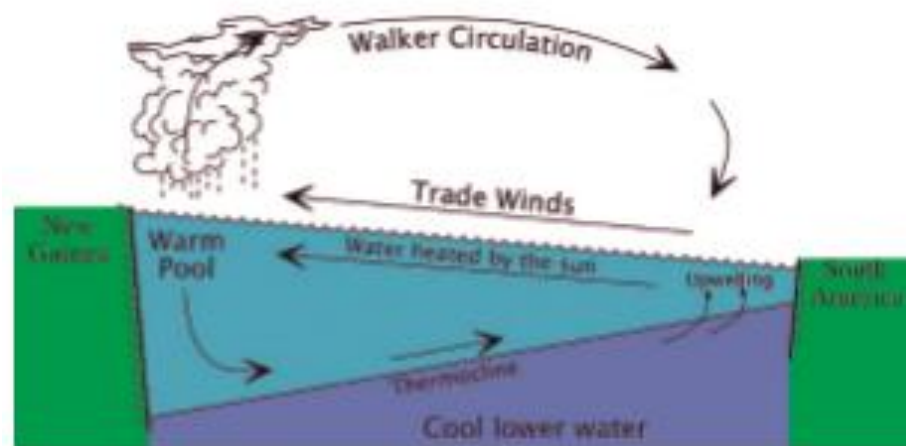


Рисунок 2 - «Циркуляция Уолкера» в обычном режиме

Во время фазы Эль-Ниньо Модоки наблюдаются следующие эффекты:

- Учащается поступление с севера холодного воздуха (снижается температура и наступает холодная погода.
- Ослабевают западные и юго-западные потоки (северо-западная часть Тихого океана и Дальний Восток.

Зимой полярный антициклон сильнее в арктическом бассейне, слабеет сибирский антициклон.

Во временных энергетических спектрах индексов таких как: SOI, Nino3.4 и др., аблюдаются наиболее выраженные пики с периодами около 2,4; 3,6 и 4,8 лет.

Колебания Чандлера активизируют полярные приливы в атмосфере и океане. Наибольшие амплитуды в умеренных широтах. Противофазно распространяются волны в северном и южном полушарии с запада на восток.

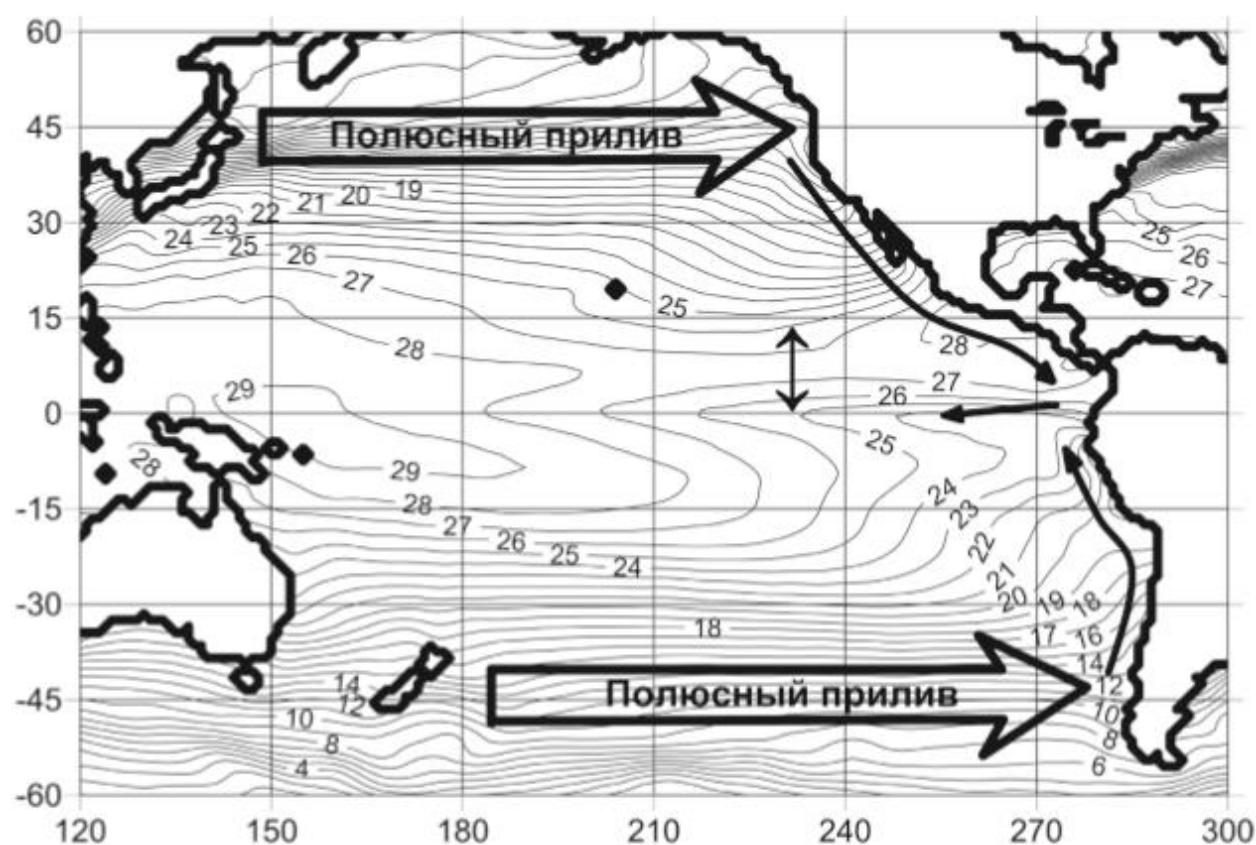


Рисунок 3 - Схема возбуждения полярным приливом теплое поверхностное течение Эль-Ниньо (берега Центральной Америки) (поле среднегодовых значений температуры поверхности океана в °C по данным COBE SST2)

С восточных берегов Азии в умеренных широтах направляется прилив, который превращается в прибойную волну по достижении берегов Северо-Американского континента. Из-за особенностей географии западного побережья Северной Америки, прибойные волны сначала направляются к югу, а затем отражаются от берегов Центральной Америки, двигаясь в юго-западном направлении в сторону экватора. Это отражение волн является причиной перемещения очень теплых поверхностных вод у западных берегов Панамского перешейка в сторону экватора и формирования поверхностных течений.

## 2 Исходные данные и методы статистического анализа, используемые в работе

### 2.1 Исходные данные

В качестве района исследования была выбрана энергоактивная зона океана Эль-Ниньо.

Исходные данные для работы взяты с сайта <https://psl.noaa.gov/enso/data.html>, а именно среднемесячные и годовые значения 3-х главных индексов [13]:

- Глобальный климатический индекс (Niño (3+4)) с 1870 по 2022 г.

Индекс Niño (3+4) представляет собой метрику, которая отражает изменения ТПО в специфической области восточной и центральной тропической зоны Тихого океана в районе 5° с.ш.-5° ю.ш., 120-170° з.д. (Рисунок 2) [16].

- Индекс Южной осцилляции (Southern Oscillation Index (SOI)) с 1870 по 2022 г.

Индекс SOI служит индикатором для измерения различия атмосферного давления на уровне океана между восточной и западной частями Тихого океана, и тем самым отражает характер Южного колебания. В данном случае, индекс SOI рассчитывается по разнице давления между двумя станциями: Дарвином (запад) и Таити (восток). [17].

- Многомерный индекс (Multivariate ENSO index: MEI) с 1979 по 2022 г.

Индекс MEI представляет собой комплексный показатель, который объединяет несколько гидрометеорологических и океанологических характеристик в качестве их основной компоненты. В его состав входят различные характеристики, такие как температура поверхности океана (ТПО), температура воздуха на нижнем уровне, интенсивность облачности,

атмосферное давление, а также зональные и меридиональные компоненты ветра. [18].

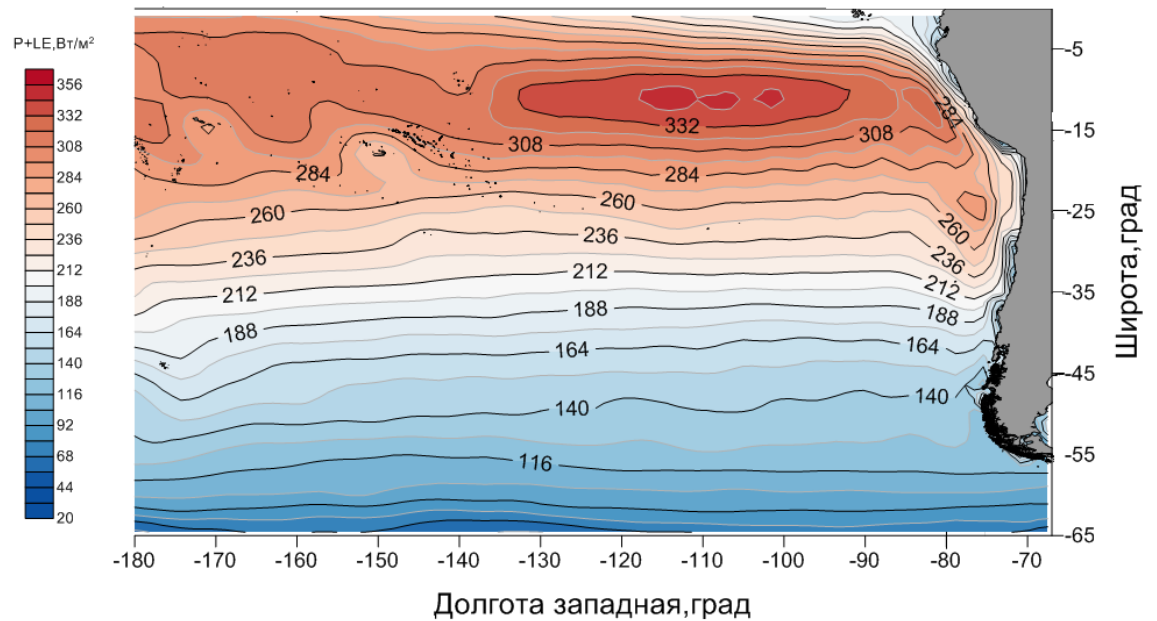


Рисунок 4 – ЭАЗО Эль-Ниньо

## 2.2 Статистические методы анализа

Для изучения индекса ЭНЮК были применены различные методы анализа временных рядов, такие как корреляционный тренд временного ряда, спектральный и гармонический анализ.

### 2.2.1 Описательные статистики

Статистические показатели делятся на группы:

1. Показатели показывающие положение: среднее арифметическое, медиана, мода, максимум, минимум и др.
2. Показатели разброса: стандартное отклонение, дисперсия, размах и др.
3. Описывающие закон распределения, включающие эмпирическую функцию распределения (ЭФР) и её характеристики.

### 1) Показатели положения.

- среднее арифметическое - это числовое значение, которое представляет собой сумму всех чисел в наборе, разделенную на количество чисел в наборе.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

где N – длина статистического ряда.

- мода (Mo) - максимумы ЭФР (одна, две...)

- медиана (Me) представляет собой значение признака, которое занимает центральное положение в упорядоченном ряду (отсортированном по возрастанию).

$$\sum_{i=1}^N |x_i - Me| = \min$$

### 2) Показатели разброса.

Дисперсия (D) и стандартное отклонение ( $\sigma$ ) являются мерами, которые позволяют оценить среднее распределение значений ряда относительно его среднего значения.

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2, \sigma = \sqrt{D}.$$

- размах вариации в статистике представляет собой разницу между наибольшим и наименьшим значениями в наборе данных. Чем больше размах, тем больше вариативность или разнообразие значений в наборе данных.

$$R = \max - \min$$

### 3) Описывающие закон распределения.

- асимметрия симметричность ЭФР относительно среднего значения:

$$As = \frac{1}{N\sigma^3} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3$$

- эксцесс - островершинность распределения:

$$Ex = \left[ \frac{1}{N\sigma^4} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4 \right] - 3$$

### 2.2.2 Корреляционный анализ

Коэффициент корреляции  $R$  отражает степень силы и направления линейной связи между двумя переменными.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N [(x_{i1} - \bar{x}_1)(x_{i2} - \bar{x}_2)]}{N\sigma_1\sigma_2}$$

где  $x_1$  и  $x_2$  – средние значения первой и второй переменных;

$x_{i1}$  и  $x_{i2}$  – значения первой и второй переменных;

$\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – стандартные отклонения первой и второй переменных;

$N$  – длина рядов первой и второй переменных.

При  $|R|=1$  отношение максимально, при  $|R|=0$  нет связи. Для промежуточных значений - отсутствие связи. Для этого проверяется коэффициент корреляции на значимость.

Сформулируем нулевую и альтернативную гипотезы.

$H_0: R = 0$ ;  $H_1: R \neq 0$ .

Чтоб проверить гипотезу рассчитывается  $t^*$ , и сравнивается с критическим значением  $t_{крит}$ .

$$t^* = \frac{R}{\sigma_R}, \text{ где } \sigma_R = \frac{1 - R^2}{\sqrt{N - 1}}$$

где  $\sigma_R$  - стандартное отклонение.

Уровень значимости критического значения  $=0,05$ , число степеней свободы  $\nu = N-2$ , где  $N$  - длина ряда.

После этого производится сравнение значения  $t^*$  с критическим значением  $t_{\text{крит}}$ . Если  $|t^*|$  больше  $t_{\text{крит}}$ , то нулевая гипотеза отвергается, что говорит о статистической значимости коэффициента корреляции (между двумя переменными существует статистически значимая прямая (или обратная, в зависимости от знака) связь).

Если  $|t^*| < t_{\text{крит}}$ , то нулевая гипотеза принимается, что означает отсутствие статистически значимой связи между двумя переменными [14, 15].

### 2.2.3 Анализ тренда временного ряда

Стационарный ряд не имеет тренда (постоянное среднее значение) и его статистические характеристики, такие как дисперсия и корреляция, остаются постоянными во времени. Это означает, что стационарный ряд не подвержен систематическим изменениям со временем и обладает постоянной структурой.

Если ряд не является стационарным, то значения дисперсии и/или математического ожидания в выборочных частях могут изменяться либо скачкообразно, либо непрерывно.

Тренд отражает наличие длительного периода колебания в исследуемой характеристике генеральной совокупности, который значительно превышает длину выборки.

Уравнение линейного тренда:

$$y = a_1 t + a_0 + \varepsilon$$

Уравнение не линейного тренда:

$$y = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 + \varepsilon$$

где  $t$  – время;  $\varepsilon$  – отклонение.

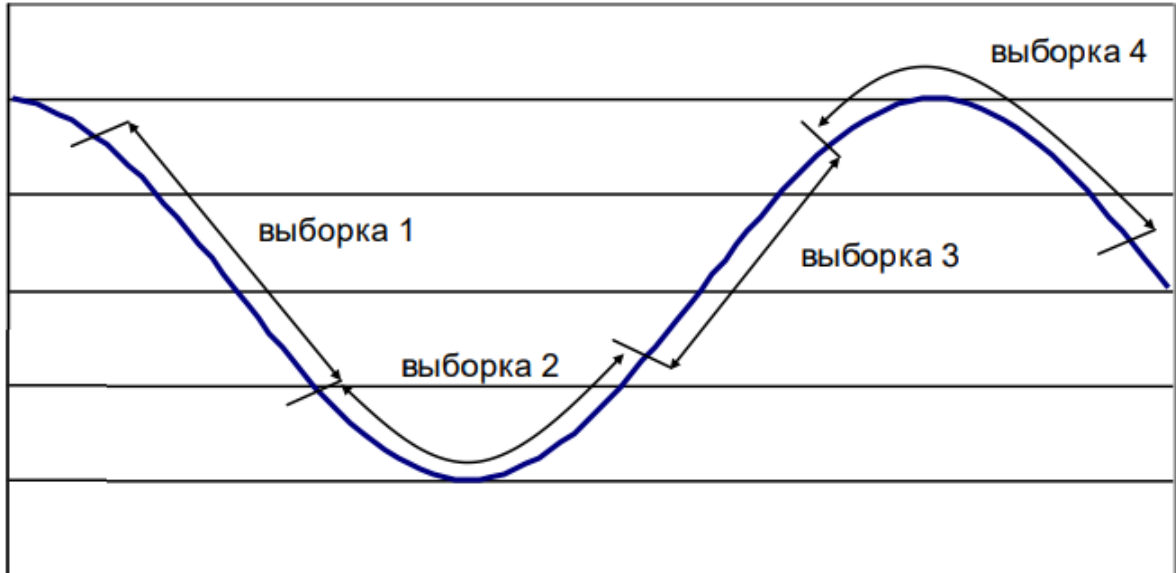


Рисунок 4.1 – Выборки 1,3 – линейный тренд; выборки 2,4 – квадратичный тренд

1. Величина тренда представляет собой изменение исследуемой характеристики в течение определенного временного периода, обычно рассчитываемого за 10 лет для годовых данных или за 1 год для среднемесячных данных.

2. Вклад тренда в общую дисперсию ряда определяется с использованием коэффициента детерминации  $R^2$ . Он может быть значимым или незначимым, для этого нужно проверить на значимость коэффициент  $R^2$ . Если  $R^2$  является незначимым, то считается, что тренда нет.

$$dy_i = y_i - (a_1 t_i + a_0) \text{ или } dy_i = y_i - (a_2 t_i^2 + a_1 t_i + a_0).$$

#### 2.2.4 Спектр и гармонический анализ Фурье

Спектральный или гармонический анализ Фурье используется для выявления циклических составляющих во временном ряде.

Гармонический анализ основан на том, что любой ряд может быть полностью разложен в ряд Фурье. Ряд Фурье представляет собой набор гармоник, которые являются тригонометрическими функциями с периодами, кратными длине ряда.

Уравнение гармоник:

$$G_k = A_k \cos(\omega_k t - \varphi_k), \omega_k = \frac{2\pi}{T_k}$$

где  $k$  – номер гармоники;

$A_k$  – амплитуда  $k$ -той гармоники;

$\omega_k$  – частота  $k$ -той гармоники;

$T_k$  – период  $k$ -той гармоники;

$\varphi_k$  – фаза  $k$ -той гармоники;

$t$  – время.

Каждая гармоника обозначается номером  $k$  и имеет свою амплитуду ( $A_k$ ), частоту ( $\omega_k$ ), период ( $T_k$ ) и фазу ( $\varphi_k$ ). Обычно гармоники нумеруются в порядке убывания периодов.

Коэффициенты Фурье  $a_k$  и  $b_k$  служат основой для определения характеристик гармоник:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [Y_i \sin(\overline{\omega_k} t_i)]$$

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [Y_i \cos(\overline{\omega_k} t_i)]$$

где  $Y_i$  – исходный ряд;

$N$  – длина этого ряда;

$t_i$  – ряд времени  $t_i = 1, 2, 3, \dots, N$ ;

$\omega_k$  – частота  $k$ -той гармоники.

1. Для каждой гармоники частота, выраженная в обратных годах (1/год), определяется путем анализа периодограммы, полученной с использованием программы "Past 4".

$$2. \text{Период } (T_k, \text{ год}) = \frac{1}{\text{частота}}$$

$$3. \text{Частота, рад/год} = \frac{2\pi}{T_k}, \text{ где } T_k \text{ период } k\text{-той гармоники.}$$

4. Амплитуда гармоники - максимальное отклонение характеристики от ее среднего значения.

$$A_k = \sqrt{(a_k^2 + b_k^2)}$$

5.

$$\text{Фаза, рад} = \arctan \frac{a_k}{b_k}$$

6. Фаза:

$$\phi_{kt} = \frac{(\phi_k * T_k)}{2\pi}$$

$$7. \text{Дисперсия} = \frac{A^2}{2}$$

8. Вклад гармоники:

$$V_k = \frac{(D_k)}{(D_y)}$$

где  $D_k$  - дисперсия гармоники,  $D_y$  - дисперсия исходного ряда.

Для оценки значимости вклада дисперсии гармоники в общую дисперсию ряда, можно использовать аналог коэффициента детерминации  $R^2$ .

Для этого необходимо получить значения для каждой гармоники  $= \sqrt{V_k}$ .

9. Средняя квадратическая погрешность:

$$\sigma_r = \frac{1 - R^2}{\sqrt{N - 2}}$$

10. Для каждой гармоники вычисляется значение критерия Стьюдента  $t^*$  и определяется критическое значение  $t_{кр}(\alpha, \nu)$ . Затем, полученные характеристики подставляются в формулу гармоники:

$$G_k = A_k * \cos * (w_k * t - \phi_k),$$

где  $k$ -номер гармоники.  $t$ -время.

Далее рассчитываются значимые гармоники. Затем эти гармоники суммируются с трендом, который охватывает весь рассматриваемый период. [14, 15].

### 3 Количественные характеристики Эль-Ниньо и их статистическое описание

Для количественного описания Эль-Ниньо используется среднегодовые и среднемесячные данные 3-х главных индексов:

- Глобальный климатический индекс (Niño (3+4)) с 1870 по 2022 г.;
- Индекс Южной осцилляции (Southern Oscillation Index (SOI)) с 1870 по 2022 г.;
- Многомерный индекс (Multivariate ENSO index: MEI) с 1979 по 2022 г.

Отрицательные значения индекса MEI свидетельствуют о фазе Эль-Ниньо, а положительные — о фазе Ла-Нинья.

#### 3.1 Изменение индексов Эль-Ниньо

##### 3.1.1 Описательные статистики

Среднегодовые значения индексов предоставляют возможность построить график, иллюстрирующий среднегодовую динамику характеристики.

В таблице 3.1 представлены основные статистические параметры индексов.

Таблица 3.1 - Статистические параметры среднегодовых значений индексов

| Параметр индексов                               | SOI с 1870 по 2022 г. | N (3+4) с 1870 по 2022 г. | MEI (1979 по 2022 г.) | Ед. изм. |
|-------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|----------|
| Среднее арифметическое значение                 | -0,04                 | -0,11                     | -0,06                 | °С       |
| Дисперсия                                       | 0,54                  | 0,33                      | 0,58                  | °С       |
| Среднее квадратическое (стандартное) отклонение | 0,73                  | 0,57                      | 0,76                  | °С       |
| Коэффициент вариации                            | -1790,95              | -530,91                   | -1179,96              | °С       |
| Минимум                                         | -1,80                 | -1,28                     | -1,59                 | °С       |
| Максимум                                        | 2,14                  | 1,47                      | 1,34                  | °С       |
| Размах вариации                                 | 3,94                  | 2,75                      | 2,93                  | °С       |
| коэффициент асимметрии                          | 0,03                  | 0,21                      | 0,06                  |          |
| Коэффициент эксцесса                            | 0,18                  | -0,37                     | -0,63                 |          |

Анализируя данные (таблица 3.1), самое высокое среднее значение у индекса Южной осцилляции = -0,04 °С, самое низкое у Глобального климатического индекса = -0,11 °С.

### 3.1.2 Корреляционный анализ

Таблица 3.2 - Корреляционная матрица

|                   | SOI<br>январь | SOI<br>июль | SOI<br>год | N (3+4)<br>январь | N (3+4)<br>июль | N (3+4)<br>год | MEI<br>январь | MEI<br>июль | MEI<br>год |
|-------------------|---------------|-------------|------------|-------------------|-----------------|----------------|---------------|-------------|------------|
| SOI январь        | 1             |             |            |                   |                 |                |               |             |            |
| SOI июль          | 0,155         | 1           |            |                   |                 |                |               |             |            |
| SOI год           | 0,442         | 0,784       | 1          |                   |                 |                |               |             |            |
| N (3+4)<br>январь | -0,862        | -0,095      | -0,490     | 1                 |                 |                |               |             |            |
| N (3+4) июль      | 0,012         | -0,660      | -0,704     | 0,062             | 1               |                |               |             |            |
| N (3+4) год       | -0,370        | -0,674      | -0,892     | 0,485             | 0,850           | 1              |               |             |            |
| MEI январь        | -0,919        | -0,109      | -0,471     | 0,952             | -0,045          | 0,399          | 1             |             |            |
| MEI июль          | -0,127        | -0,853      | -0,877     | 0,135             | 0,833           | 0,828          | 0,108         | 1           |            |
| MEI год           | -0,517        | -0,723      | -0,958     | 0,545             | 0,694           | 0,920          | 0,542         | 0,868       | 1          |

Что мы видим из таблицы 3.2: в январе очень высокая стат. связь между параметрами. В Июле она несколько ослабевает, особенно между SOI и N

( $r = -0,66$ ). Для годовых значений параметров связь носит почти функциональный характер ( $r > 0,92$ ). Январские значения параметров

относительно слабо коррелируют с их годовыми значениями. Корреляция июльских значений с годовыми значениями почти в 2 раза выше.

### 3.1.3 Выделение и анализ тренда

Изменение индексов имеет неравномерный характер. В таблице 3.3 представлены оценки линейного тренда индексов за два периода: с 1870 по 2022 годы для индексов SOI и N (3+4), а также с 1979 по 2022 годы для индекса MEI. В числовом виде представлены следующие характеристики:

Коэффициент детерминации  $R^2$ , который отражает долю объясненной дисперсии исходного процесса трендом.

Величина тренда, выраженная в градусах Цельсия на каждые 10 лет.

Таблица 3.3 - Оценки линейных трендов индексов

| Индекс                    | $R^2$   | °C / 10 лет |
|---------------------------|---------|-------------|
| SOI с 1870 по 2022 г.     | -0,0011 | -0,011      |
| N (3+4) с 1870 по 2022 г. | 0,0016  | 0,016       |
| MEI (1979 по 2022 г.)     | -0,0239 | -0,239      |

Как видно из рисунка 3.1-3.7 в SOI тренд есть, в N(3+4) нет.

1979 год считается началом нового интенсивного потепления. Получается, в ТПО Эль-Ниньо оно не выражено. Только в атмосфере SOI и MEI. В MEI с 1979 года есть значимый тренд.

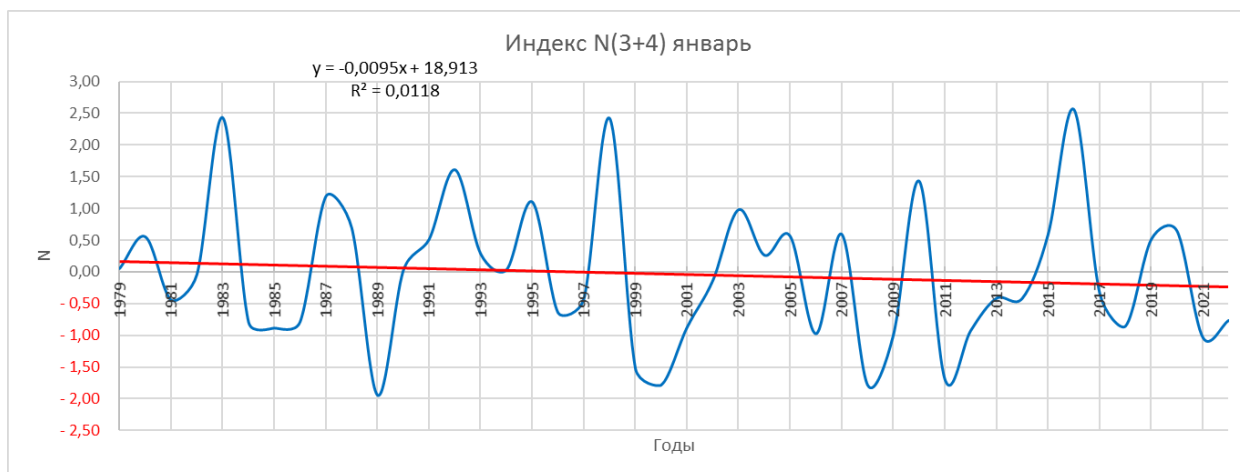


Рисунок 3.1 – Значения глобального климатического индекса (Niño (3+4)) с 1979 по 2022 г. и линия тренда (Январь)

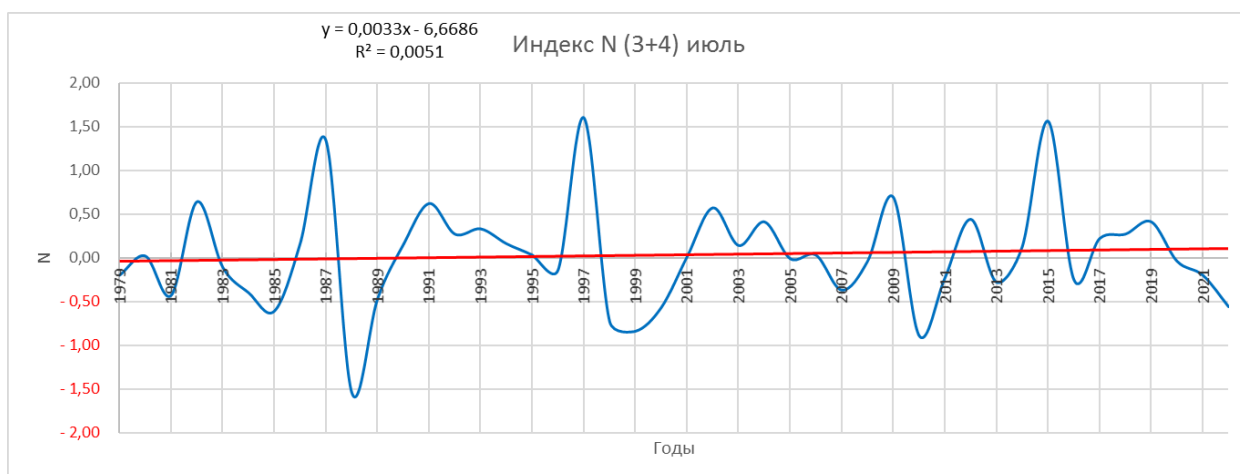


Рисунок 3.2 – Значения глобального климатического индекса (Niño (3+4)) с 1979 по 2022 г. и линия тренда (Июль)

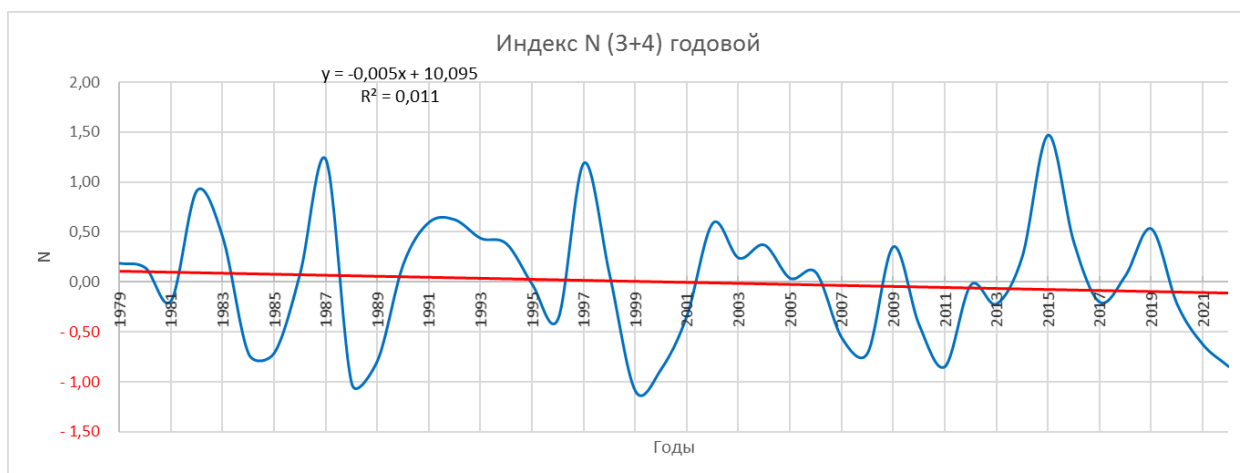


Рисунок 3.3 – Значения глобального климатического индекса (Niño (3+4)) с 1979 по 2022 г. и линия тренда (Годовой)

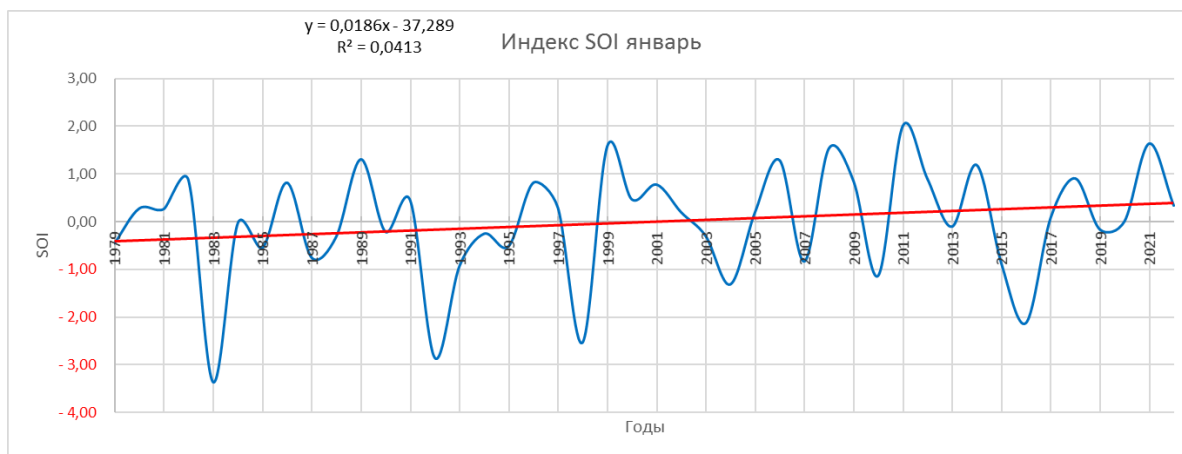


Рисунок 3.4 – Значения Индекса Южной осцилляции (Southern Oscillation Index (SOI)) с 1979 по 2022 г. и линия тренда (Январь)

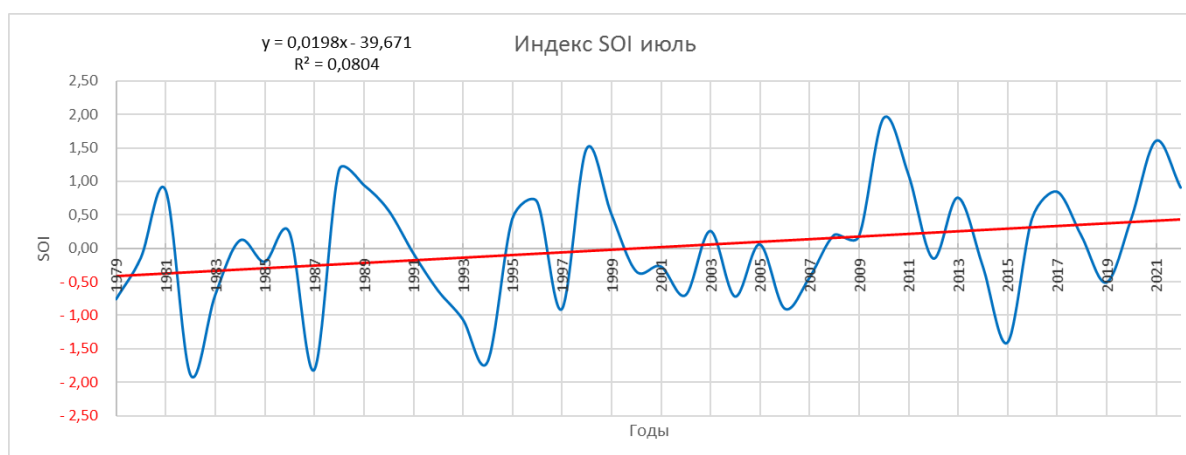


Рисунок 3.5 – Значения Индекса Южной осцилляции (Southern Oscillation Index (SOI)) с 1979 по 2022 г. и линия тренда (Июль)



Рисунок 3.6 – Значения Индекса Южной осцилляции (Southern Oscillation Index (SOI)) с 1979 по 2022 г. и линия тренда (Годовой)

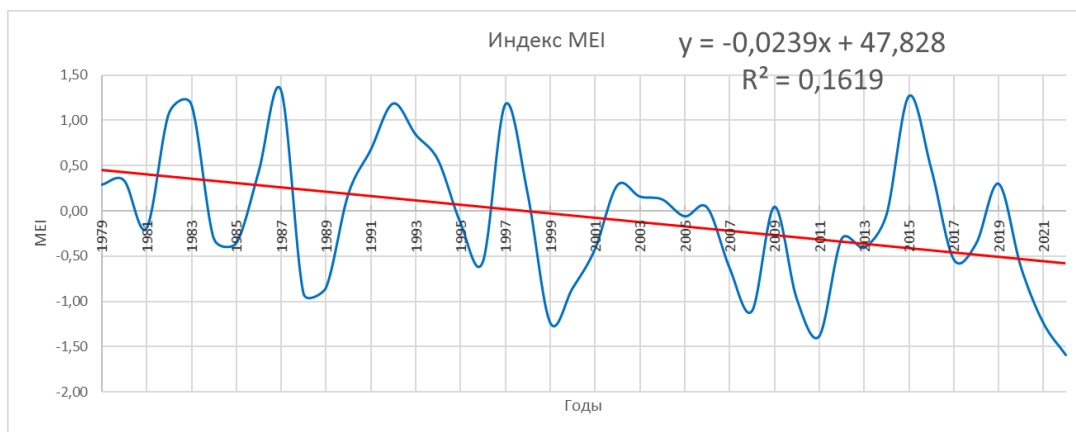


Рисунок 3.7 – Значения многомерного индекса (Multivariate ENSO index: MEI) с 1979 по 2022 г. и линия тренда (Годовой)

Как видно из рисунка 3.8-3.13 в SOI и N(3+4) тренды незначимые.

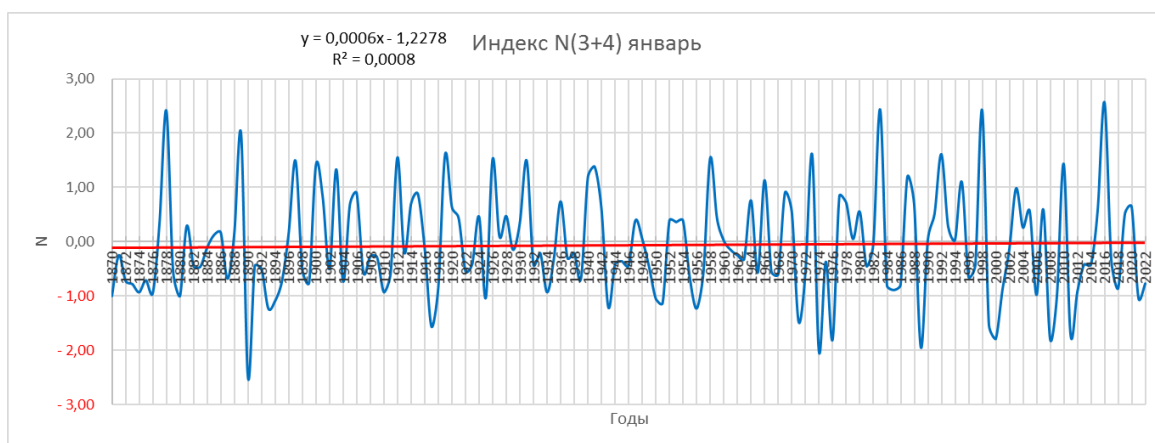


Рисунок 3.8 – Значения глобального климатического индекса (Niño (3+4)) с 1870 по 2022 г. и линия тренда (Январь)

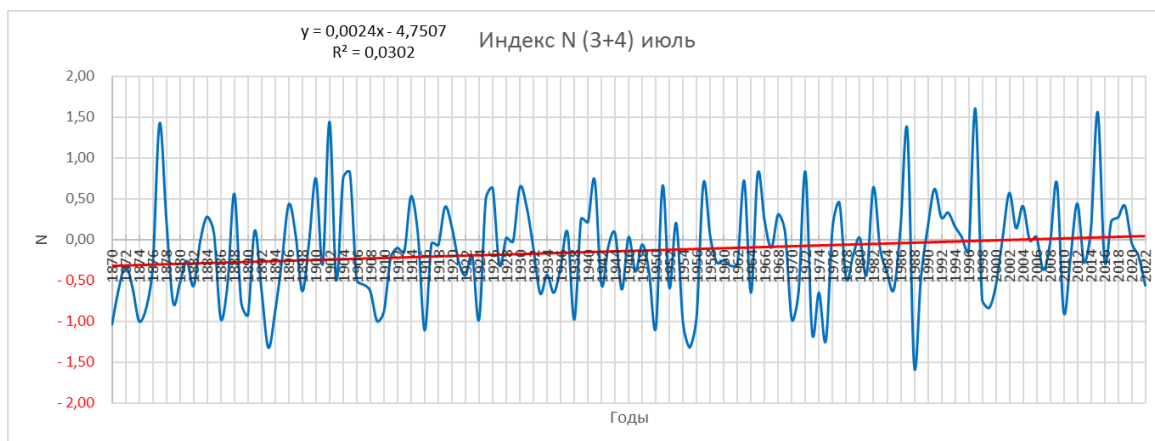


Рисунок 3.9 – Значения глобального климатического индекса (Niño (3+4)) с 1870 по 2022 г. и линия тренда (Июль)

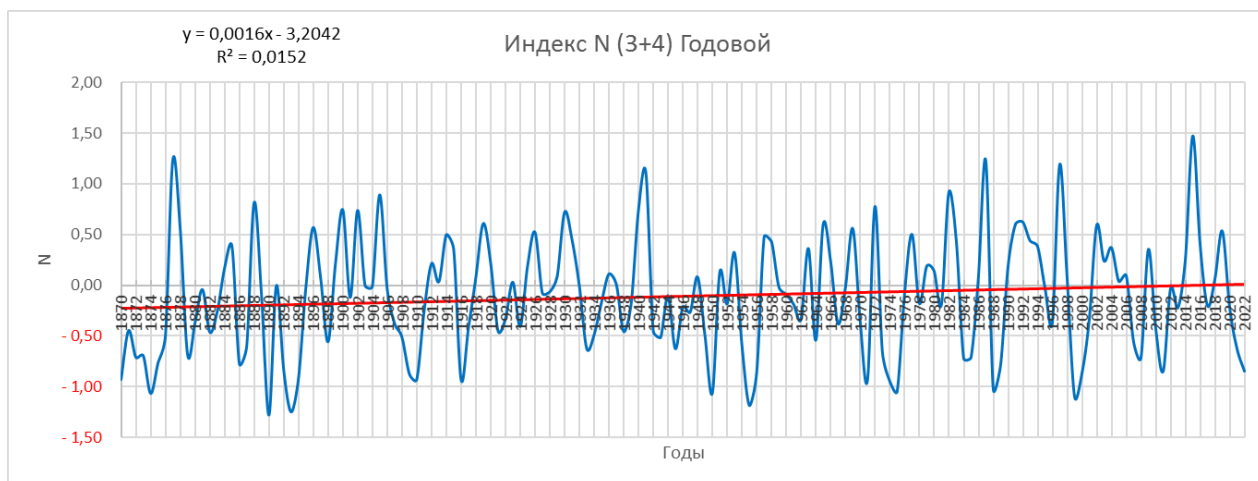


Рисунок 3.10 – Значения глобального климатического индекса (Niño (3+4)) с 1870 по 2022 г. и линия тренда (Годовой)

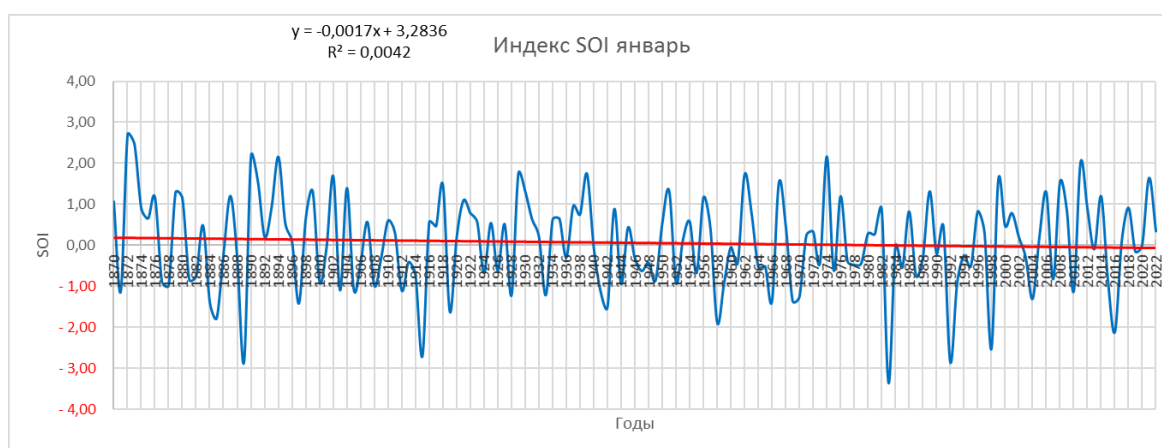


Рисунок 3.11 – Значения Индекса Южной осцилляции (Southern Oscillation Index (SOI)) с 1870 по 2022 г. и линия тренда (Январь)

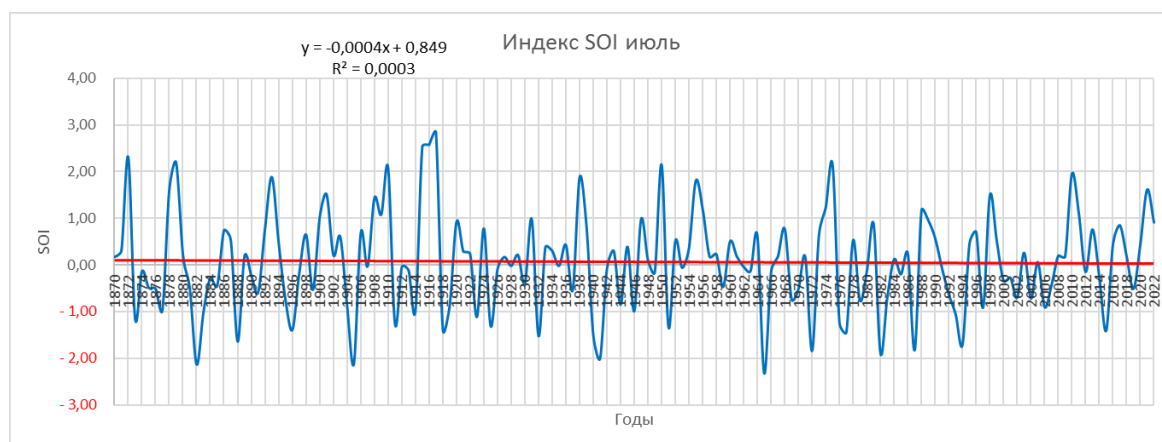


Рисунок 3.12 – Значения Индекса Южной осцилляции (Southern Oscillation Index (SOI)) с 1870 по 2022 г. и линия тренда (Июль)

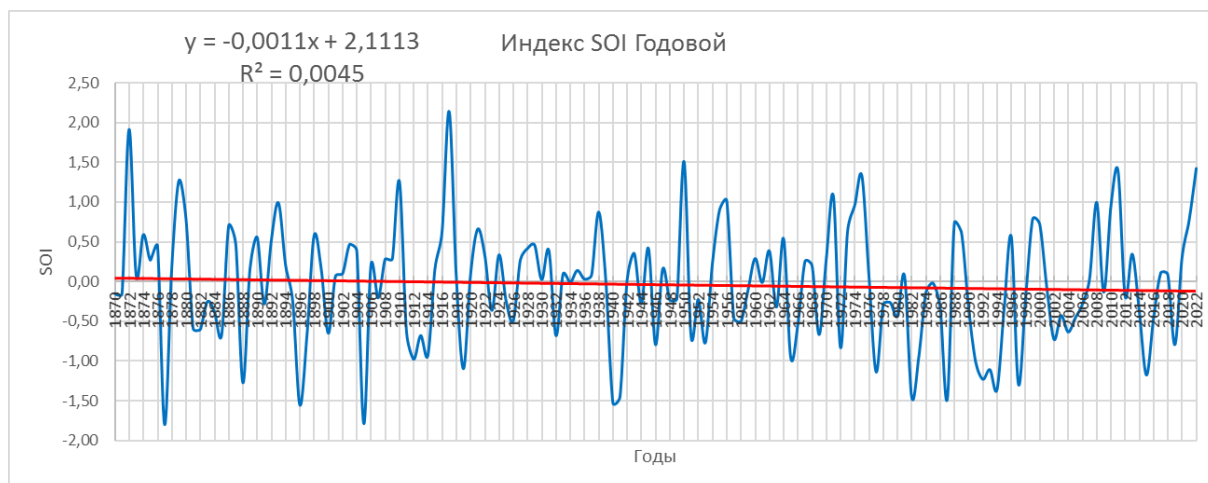


Рисунок 3.13 – Значения Индекса Южной осцилляции (Southern Oscillation Index (SOI)) с 1870 по 2022 г. и линия тренда (Годовой)

### 3.1.4 Спектральный и гармонический анализ

Далее рассмотрим спектральный и гармонический анализ для среднегодовых значений.

В Past4 провели спектральный анализ среднемесячных и среднегодовых значений, полученные результаты использовались для гармонического анализа.

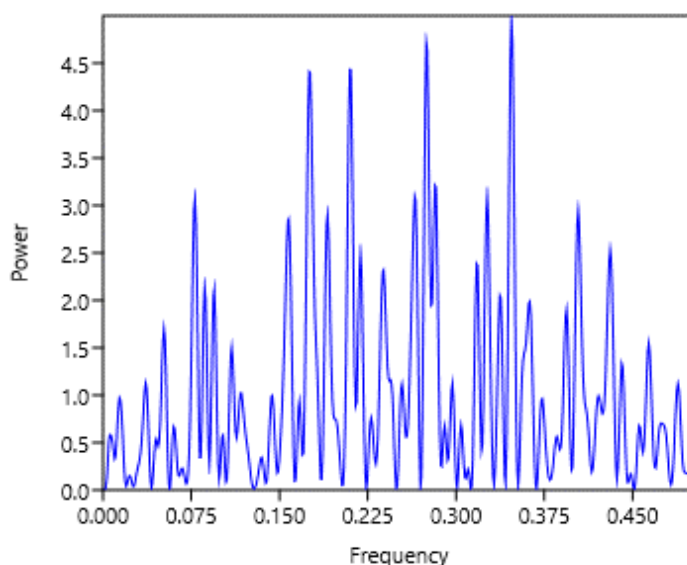


Рисунок 3.14 - Периодограмма для ряда отклонений от тренда среднемесячных значений индекса N (3+4) Январь

Путем вычислений были получены характеристики 4 основных гармоник.

Таблица 3.4 – Параметры гармоник глобального климатического индекса (Niño (3+4)) с 1870 по 2022 г. Январь

| Параметры гармоник                  | Гармоника 1 | Гармоника 2 | Гармоника 3  | Гармоника 4  |
|-------------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Частота, 1/год                      | 0,18        | 0,21        | 0,27         | 0,35         |
| Период, год                         | 5,71        | 4,77        | 3,64         | 2,88         |
| Частота, рад/год                    | 1,10        | 1,32        | 1,73         | 2,18         |
| К-т Фурье а <sub>k</sub>            | 0,10        | -0,33       | -0,24        | 0,04         |
| К-т Фурье b <sub>k</sub>            | 0,31        | -0,01       | 0,24         | -0,35        |
| A, °C                               | 0,33        | 0,33        | 0,34         | 0,35         |
| Фаза, рад                           | 0,29        | 1,53        | -0,77        | -0,10        |
| Фаза, год                           | 0,27        | 1,16        | -0,45        | -0,05        |
| Дисперсия гармоник, °C <sup>2</sup> | 0,05        | 0,05        | 0,06         | 0,06         |
| Дисперсия исх.ряда, °C <sup>2</sup> | 0,93        | 0,93        | 0,93         | 0,93         |
| Вклад гармоник в ряд откл от ТПО    | 0,06        | 0,06        | 0,06         | 0,06         |
|                                     |             |             |              |              |
|                                     | Гармоника 5 | Гармоника 7 | Гармоника 11 | Гармоника 16 |
| Коэффициент корреляции              | 0,24        | 0,24        | 0,25         | 0,25         |
| срКВ погрешность                    | 0,06        | 0,06        | 0,06         | 0,06         |
| Критерий Стьюдента t*               | 3,92        | 3,92        | 4,09         | 4,23         |
| t <sub>кр</sub>                     | 1,98        | 1,98        | 1,98         | 1,98         |
| значимость t* > t <sub>кр</sub>     | значим      | значим      | значим       | значим       |

Далее получили сумму значимых гармоник.

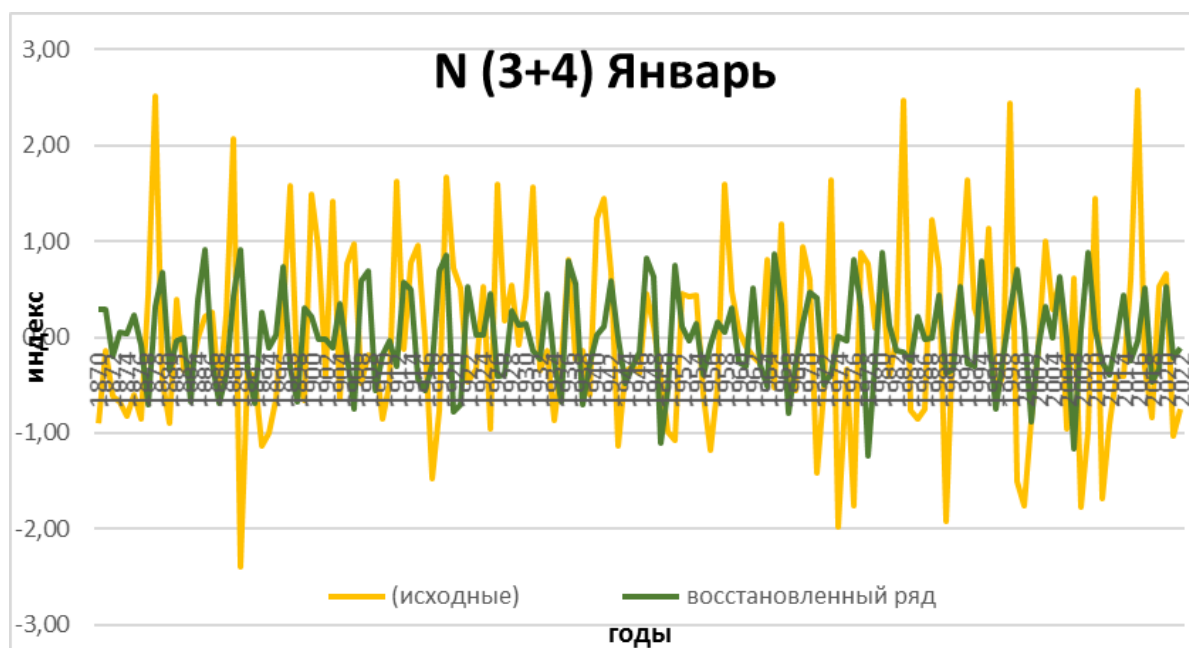


Рисунок 3.15 - Совмещенный график исходных и восстановленных среднемесячных значений индекса N (3+4) Январь

Из рисунка 3.15 можно сделать вывод, что восстановленные значения недостаточно точно отражают изменения исходных значений.

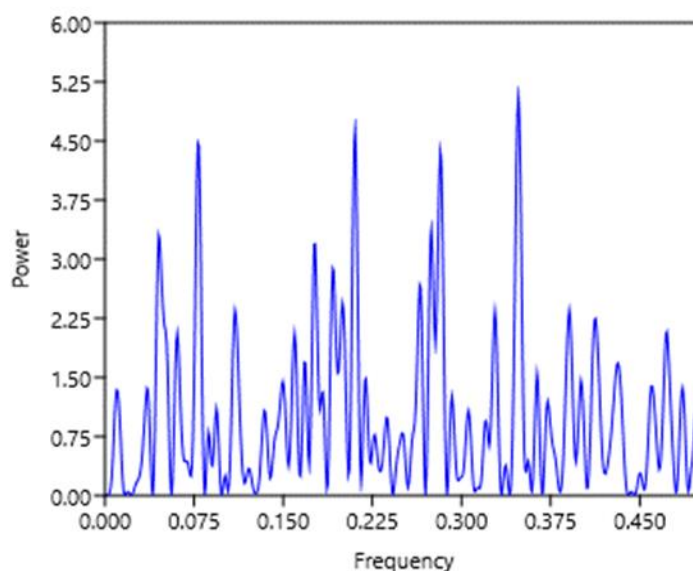


Рисунок 3.16 – Периодограмма для ряда отклонений от тренда среднемесячных значений индекса N (3+4) Июль

Таблица 3.5 – Параметры гармоник глобального климатического индекса (Niño (3+4)) с 1870 по 2022 г. Июль

| Параметры гармоник                  | Гармоника 1 | Гармоника 2 | Гармоника 3  | Гармоника 4 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| Частота, 1/год                      | 0,08        | 0,21        | 0,28         | 0,35        |
| Период, год                         | 12,80       | 4,75        | 3,55         | 2,87        |
| Частота, рад/год                    | 0,49        | 1,32        | 1,77         | 2,19        |
| К-т Фурье ak                        | -0,13       | 0,20        | 0,15         | -0,21       |
| К-т Фурье bk                        | -0,15       | 0,06        | -0,13        | 0,05        |
| A, °C                               | 0,20        | 0,21        | 0,20         | 0,22        |
| Фаза, рад                           | 0,71        | 1,26        | -0,86        | -1,35       |
| Фаза, год                           | 1,45        | 0,96        | -0,49        | -0,62       |
| Дисперсия гармоник, °C <sup>2</sup> | 0,02        | 0,02        | 0,02         | 0,02        |
| Дисперсия исх.ряда, °C <sup>2</sup> | 0,35        | 0,35        | 0,35         | 0,35        |
| Вклад гармоник в ряд откл от ТПО    | 0,06        | 0,06        | 0,06         | 0,07        |
|                                     |             |             |              |             |
|                                     | Гармоника 3 | Гармоника 9 | Гармоника 12 | Гармоник 14 |
| Коэффициент корреляции              | 0,24        | 0,25        | 0,24         | 0,26        |
| срКВ погрешность                    | 0,06        | 0,06        | 0,06         | 0,06        |
| Критерий Стьюдента t*               | 3,93        | 4,09        | 3,87         | 4,29        |
| tкр                                 | 1,98        | 1,98        | 1,98         | 1,98        |
|                                     |             |             |              |             |
| значимость t*>tкр                   | значим      | значим      | значим       | значим      |

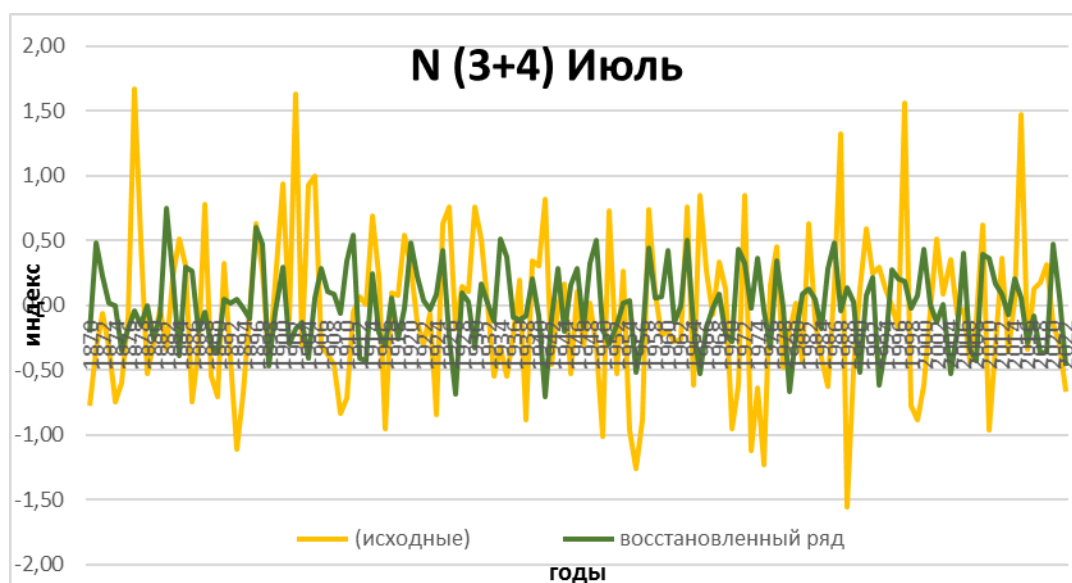


Рисунок 3.17 - Совмещенный график исходных и восстановленных среднемесячных значений индекса N (3+4) Июль

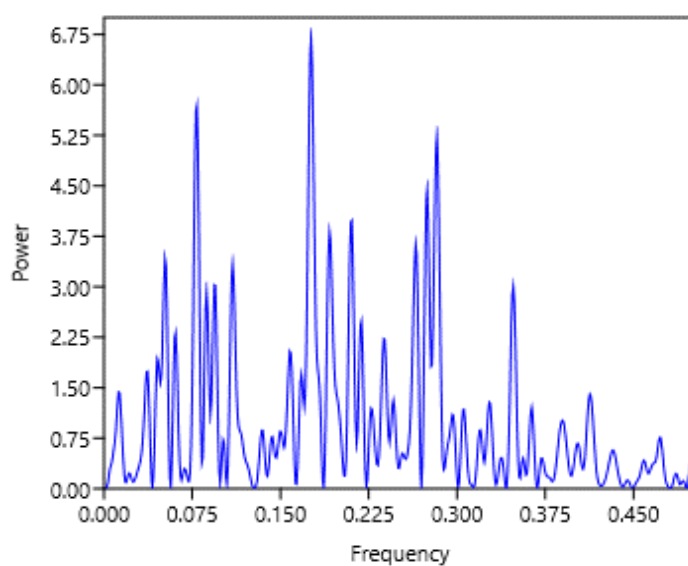


Рисунок 3.18 – Периодограмма для ряда отклонений от тренда значений индекса N (3+4) Годовой

Таблица 3.6 – Параметры гармоник глобального климатического индекса (Niño (3+4)) с 1870 по 2022 г. Годовой

| Параметры гармоник                  | Гармоника 1 | Гармоника 2 | Гармоника 3  | Гармоника 4  |
|-------------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Частота, 1/год                      | 0,08        | 0,18        | 0,27         | 0,28         |
| Период, год                         | 12,67       | 5,70        | 3,64         | 3,53         |
| Частота, рад/год                    | 0,50        | 1,10        | 1,73         | 1,78         |
| К-т Фурье $a_k$                     | 0,21        | -0,23       | -0,19        | 0,05         |
| К-т Фурье $b_k$                     | 0,05        | 0,07        | -0,05        | 0,20         |
| $A$ , °C                            | 0,22        | 0,24        | 0,19         | 0,21         |
| Фаза, рад                           | 1,34        | -1,26       | 1,31         | 0,23         |
| Фаза, год                           | 2,70        | -1,14       | 0,76         | 0,13         |
| Дисперсия гармоник, °C <sup>2</sup> | 0,02        | 0,03        | 0,02         | 0,02         |
| Дисперсия исх.ряда, °C <sup>2</sup> | 0,32        | 0,32        | 0,32         | 0,32         |
| Вклад гармоник в ряд откл от ТПО    | 0,07        | 0,09        | 0,06         | 0,07         |
|                                     |             |             |              |              |
|                                     | Гармоника 3 | Гармоника 8 | Гармоника 14 | Гармоника 15 |
| Коэффициент корреляции              | 0,27        | 0,30        | 0,24         | 0,26         |
| срКВ погрешность                    | 0,06        | 0,06        | 0,06         | 0,06         |
| Критерий Стьюдента $t^*$            | 4,66        | 5,18        | 3,94         | 4,39         |
| $t_{кр}$                            | 1,98        | 1,98        | 1,98         | 1,98         |
|                                     |             |             |              |              |
| значимость $t^* > t_{кр}$           | значим      | значим      | значим       | значим       |

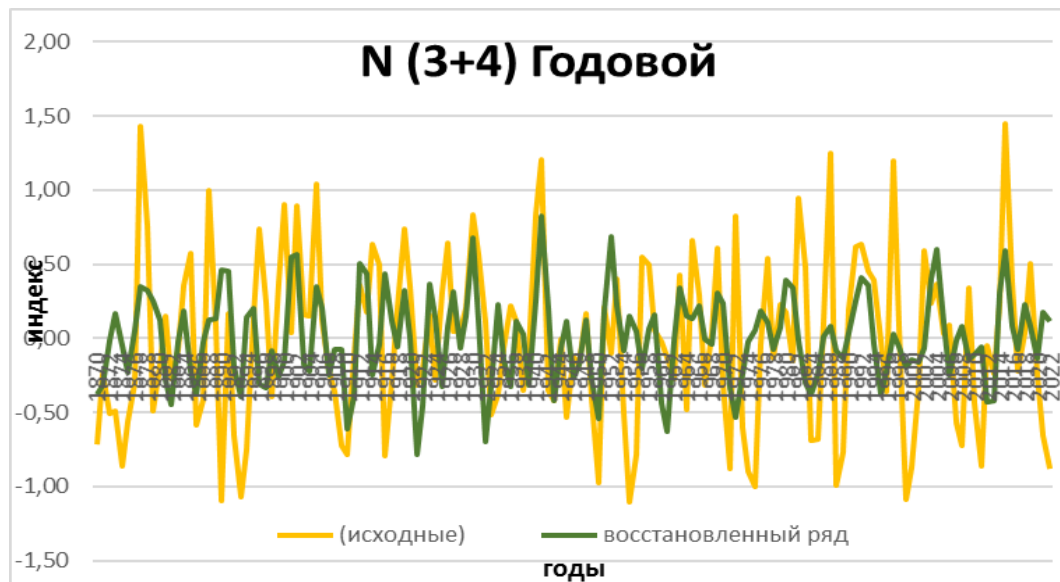


Рисунок 3.19 - Совмещенный график исходных и восстановленных значений индекса N (3+4) Годовой

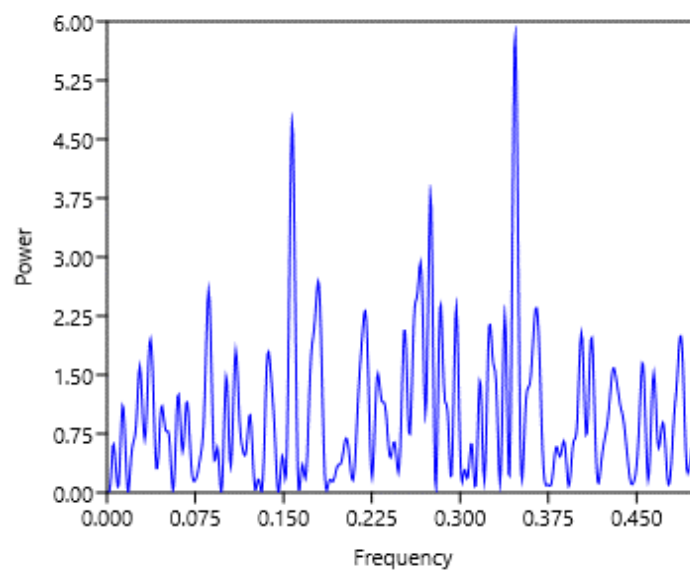


Рисунок 3.20 – Периодограмма для ряда отклонений от тренда значений индекса SOI Январь

Таблица 3.7 – Параметры гармоник Индекса Южной осцилляции  
(Southern Oscillation Index (SOI)) с 1870 по 2022 г. Январь

| Параметры гармоник                  | Гармоника 1 | Гармоника 2 | Гармоника 3  |
|-------------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| Частота, 1/год                      | 0,16        | 0,27        | 0,35         |
| Период, год                         | 6,37        | 3,64        | 2,88         |
| Частота, рад/год                    | 0,99        | 1,73        | 2,18         |
| К-т Фурье ak                        | 0,38        | 0,30        | -0,12        |
| К-т Фурье bk                        | 0,10        | -0,18       | 0,42         |
| A, °C                               | 0,39        | 0,35        | 0,44         |
| Фаза, рад                           | 1,32        | -1,03       | -0,28        |
| Фаза, год                           | 1,34        | -0,59       | -0,13        |
| Дисперсия гармоник, °C <sup>2</sup> | 0,08        | 0,06        | 0,10         |
| Дисперсия исх.ряда, °C <sup>2</sup> | 1,26        | 1,26        | 1,26         |
| Вклад гармоник в ряд откл от ТПО    | 0,06        | 0,05        | 0,08         |
|                                     |             |             |              |
|                                     | Гармоника 2 | Гармоника 7 | Гармоника 12 |
| Коэффициент корреляции              | 0,25        | 0,22        | 0,28         |
| срКВ погрешность                    | 0,06        | 0,06        | 0,06         |
| Критерий Стьюдента t*               | 4,08        | 3,54        | 4,71         |
| tкр                                 | 1,98        | 1,98        | 1,98         |
|                                     |             |             |              |
| значимость t*>tкр                   | значим      | значим      | значим       |

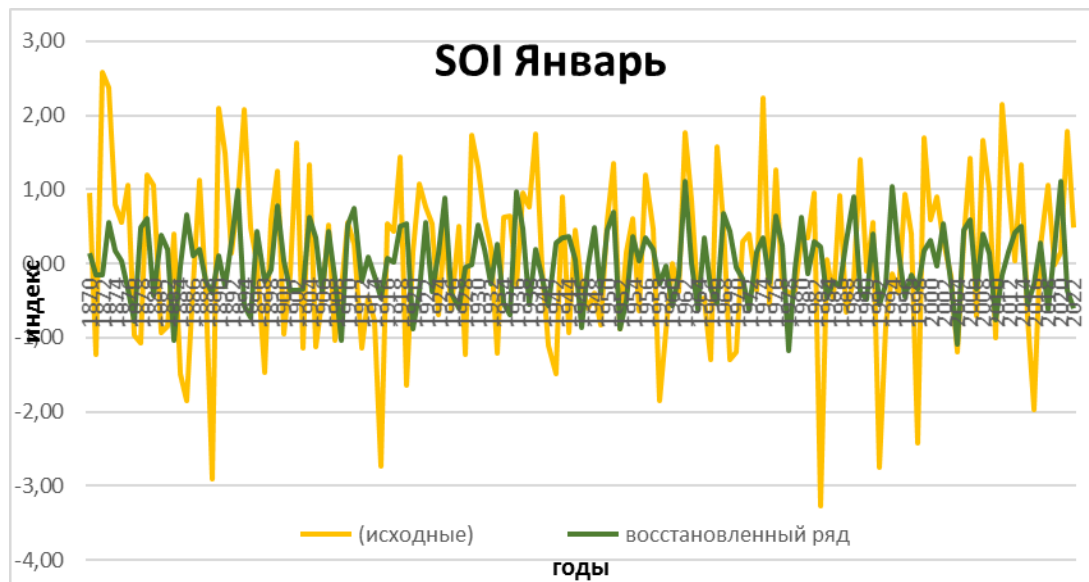


Рисунок 3.21 - Совмещенный график исходных и восстановленных значений индекса SOI Январь

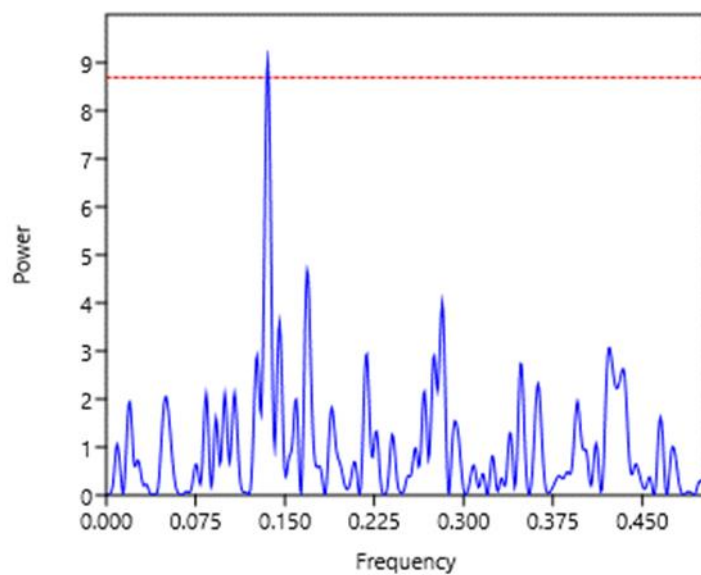


Рисунок 3.22 – Периодограмма для ряда отклонений от тренда значений индекса SOI Июль

Таблица 3.8 – Параметры гармоник Индекса Южной осцилляции  
(Southern Oscillation Index (SOI)) с 1870 по 2022 г. Июль

| Параметры гармоник               | Гармоника 1 | Гармоника 2 | Гармоника 3 | Гармоника 4  |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Частота, 1/год                   | 0,14        | 0,15        | 0,17        | 0,28         |
| Период, год                      | 7,37        | 6,87        | 5,93        | 3,55         |
| Частота, рад/год                 | 0,85        | 0,91        | 1,06        | 1,77         |
| К-т Фурье $a_k$                  | -0,24       | -0,19       | -0,35       | -0,25        |
| К-т Фурье $b_k$                  | 0,45        | -0,25       | 0,11        | 0,23         |
| $A, ^\circ C$                    | 0,51        | 0,32        | 0,37        | 0,34         |
| Фаза, рад                        | -0,49       | 0,65        | -1,25       | -0,84        |
| Фаза, год                        | -0,57       | 0,71        | -1,18       | -0,47        |
| Дисперсия гармоник, $^\circ C^2$ | 0,13        | 0,05        | 0,07        | 0,06         |
| Дисперсия исх.ряда, $^\circ C^2$ | 1,09        | 1,09        | 1,09        | 1,09         |
| Вклад гармоник в ряд откл от ТПО | 0,12        | 0,05        | 0,06        | 0,05         |
|                                  |             |             |             |              |
|                                  | Гармоника 6 | Гармоника 7 | Гармоника 9 | Гармоника 12 |
| Коэффициент корреляции           | 0,34        | 0,22        | 0,25        | 0,23         |
| срКВ погрешность                 | 0,05        | 0,06        | 0,06        | 0,06         |
| Критерий Стьюдента $t^*$         | 6,49        | 3,41        | 4,08        | 3,67         |
| $t_{кр}$                         | 1,98        | 1,98        | 1,98        | 1,98         |
|                                  |             |             |             |              |
| значимость $t^* > t_{кр}$        | значим      | значим      | значим      | значим       |

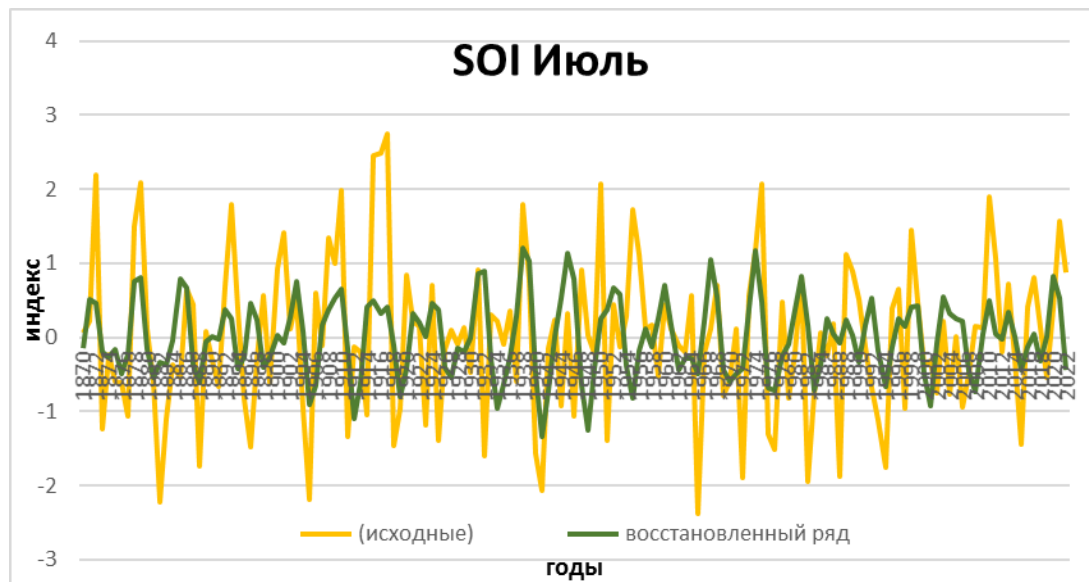


Рисунок 3.23 - Совмещенный график исходных и восстановленных значений индекса SOI Июль

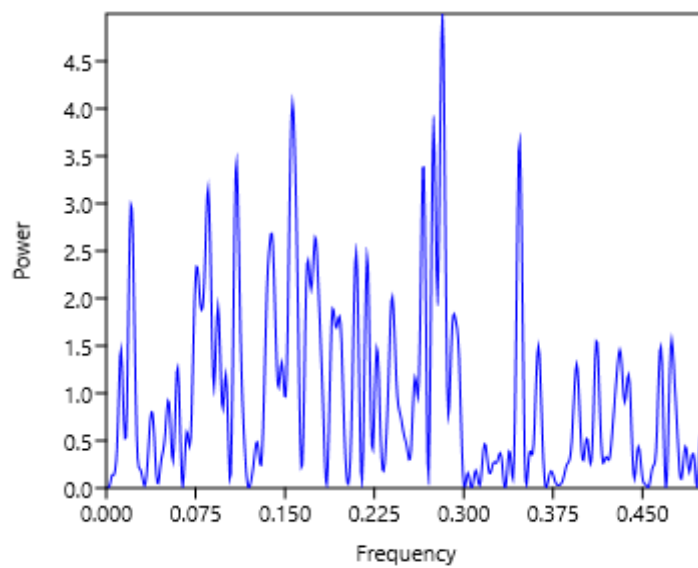


Рисунок 3.24 – Периодограмма для ряда отклонений от тренда значений индекса SOI Годовой

Таблица 3.9 – Параметры гармоник Индекса Южной осцилляции (SOI) с 1870 по 2022 г. Годовой

| Параметры гармоник               | Гармоника 1 | Гармоника 2  | Гармоника 3  |
|----------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Частота, 1/год                   | 0,16        | 0,28         | 0,35         |
| Период, год                      | 6,40        | 3,55         | 2,88         |
| Частота, рад/год                 | 0,98        | 1,77         | 2,18         |
| К-т Фурье $a_k$                  | -0,10       | -0,11        | -0,22        |
| К-т Фурье $b_k$                  | -0,22       | 0,24         | -0,03        |
| $A, ^\circ C$                    | 0,24        | 0,27         | 0,23         |
| Фаза, рад                        | 0,43        | -0,45        | 1,44         |
| Фаза, год                        | 0,44        | -0,25        | 0,66         |
| Дисперсия гармоник, $^\circ C^2$ | 0,03        | 0,04         | 0,03         |
| Дисперсия исх.ряда, $^\circ C^2$ | 0,54        | 0,54         | 0,54         |
| Вклад гармоник в ряд откл от ТПО | 0,05        | 0,07         | 0,05         |
|                                  |             |              |              |
|                                  | Гармоника 6 | Гармоника 12 | Гармоника 13 |
| Коэффициент корреляции           | 0,23        | 0,26         | 0,22         |
| срКВ погрешность                 | 0,06        | 0,06         | 0,06         |
| Критерий Стьюдента $t^*$         | 3,69        | 4,25         | 3,45         |
| $t_{кр}$                         | 1,98        | 1,98         | 1,98         |
|                                  |             |              |              |
| значимость $t^* > t_{кр}$        | значим      | значим       | значим       |

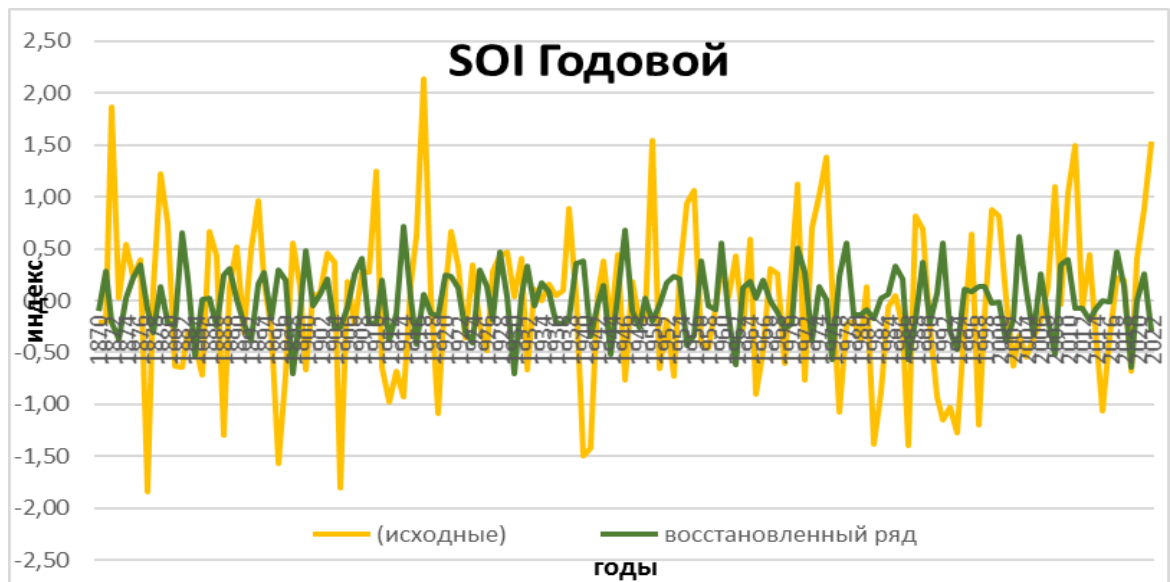


Рисунок 3.25 - Совмещенный график исходных и восстановленных значений индекса SOI Годовой

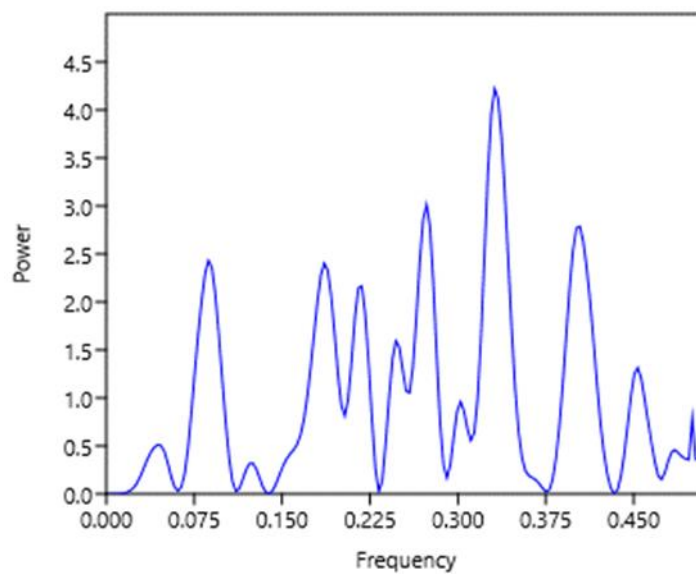


Рисунок 3.26 – Периодограмма для ряда отклонений от тренда значений индекса MEI Январь

Таблица 3.10 – Параметры гармоник многомерного индекса (Multivariate ENSO index: MEI) с 1979 по 2022 г. Январь

| Параметры гармоник                  | Гармоника 1 | Гармоника 2 | Гармоника 3 | Гармоника 4 | Гармоника 5 | Гармоника 6 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Частота, 1/год                      | 0,09        | 0,19        | 0,22        | 0,27        | 0,33        | 0,40        |
| Период, год                         | 11,47       | 5,37        | 4,59        | 3,66        | 3,02        | 2,47        |
| Частота, рад/год                    | 0,55        | 1,17        | 1,37        | 1,72        | 2,08        | 2,54        |
| К-т Фурье $a_k$                     | -0,37       | -0,43       | 0,25        | 0,01        | 0,46        | 0,46        |
| К-т Фурье $b_k$                     | 0,23        | 0,11        | -0,34       | 0,49        | 0,36        | 0,13        |
| $A$ , °C                            | 0,44        | 0,44        | 0,42        | 0,49        | 0,58        | 0,48        |
| Фаза, рад                           | -1,01       | -1,32       | -0,64       | 0,03        | 0,91        | 1,29        |
| Фаза, год                           | -1,84       | -1,13       | -0,47       | 0,02        | 0,44        | 0,51        |
| Дисперсия гармоник, °C <sup>2</sup> | 0,10        | 0,10        | 0,09        | 0,12        | 0,17        | 0,11        |
| Дисперсия исх.ряда, °C <sup>2</sup> | 0,89        | 0,89        | 0,89        | 0,89        | 0,89        | 0,89        |
| Вклад гармоник в ряд откл от ТПО    | 0,11        | 0,11        | 0,10        | 0,14        | 0,19        | 0,13        |
|                                     |             |             |             |             |             |             |
|                                     | Гармоника 1 | Гармоника 2 | Гармоника 3 | Гармоника 4 | Гармоника 5 | Гармоника 6 |
| Коэффициент корреляции              | 0,33        | 0,33        | 0,32        | 0,37        | 0,44        | 0,36        |
| срКВ погрешность                    | 0,10        | 0,10        | 0,10        | 0,09        | 0,08        | 0,10        |
| Критерий Стьюдента $t^*$            | 3,25        | 3,32        | 3,06        | 3,90        | 5,20        | 3,69        |
| $t_{кр}$                            | 2,02        | 2,02        | 2,02        | 2,02        | 2,02        | 2,02        |
|                                     |             |             |             |             |             |             |
| значимость $t^* > t_{кр}$           | значим      | значим      | значим      | значим      | значим      | значим      |

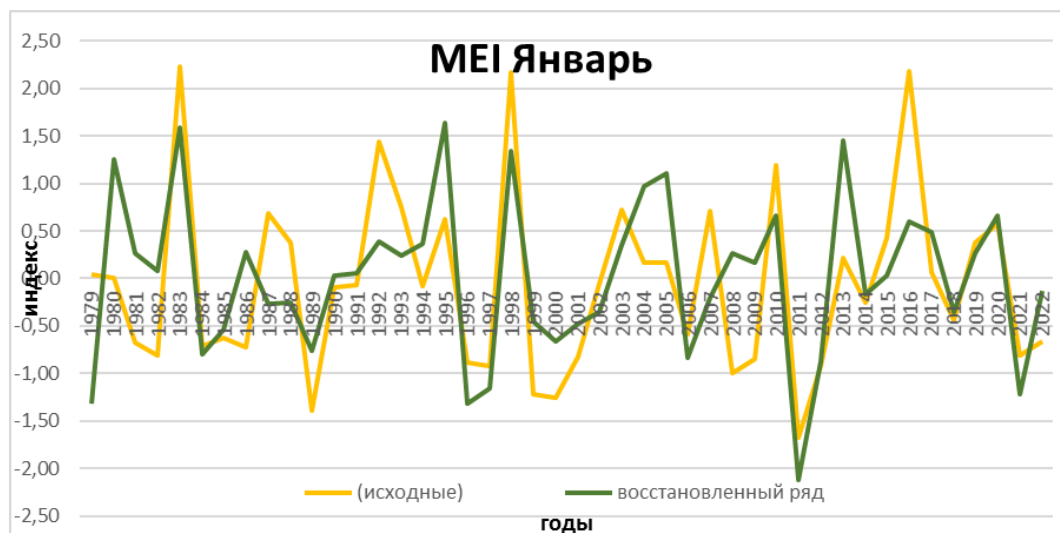


Рисунок 3.27 - Совмещенный график исходных и восстановленных значений индекса MEI Январь

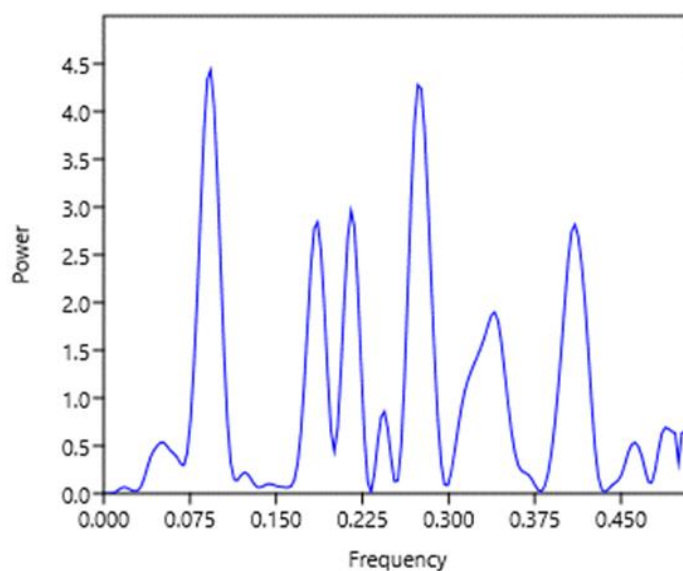


Рисунок 3.28 – Периодограмма для ряда отклонений от тренда значений индекса MEI Июль

Таблица 3.11 – Параметры гармоник многомерного индекса (Multivariate ENSO index: MEI) с 1979 по 2022 г. Июль

| Параметры гармоник                  | Гармоника 1 | Гармоника 2 | Гармоника 3 | Гармоника 4 | Гармоника 5 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Частота, 1/год                      | 0,09        | 0,19        | 0,22        | 0,27        | 0,41        |
| Период, год                         | 10,75       | 5,37        | 4,65        | 3,66        | 2,44        |
| Частота, рад/год                    | 0,58        | 1,17        | 1,35        | 1,72        | 2,58        |
| К-т Фурье ак                        | 0,12        | -0,33       | 0,29        | -0,59       | 0,10        |
| К-т Фурье bk                        | -0,60       | -0,37       | -0,41       | 0,09        | -0,48       |
| A, °C                               | 0,61        | 0,49        | 0,50        | 0,60        | 0,49        |
| Фаза, рад                           | -0,20       | 0,72        | -0,62       | -1,43       | -0,20       |
| Фаза, год                           | -0,34       | 0,62        | -0,46       | -0,83       | -0,08       |
| Дисперсия гармоник, °C <sup>2</sup> | 0,19        | 0,12        | 0,13        | 0,18        | 0,12        |
| Дисперсия исх.ряда, °C <sup>2</sup> | 0,92        | 0,92        | 0,92        | 0,92        | 0,92        |
| Вклад гармоник в ряд откл от ТПО    | 0,20        | 0,13        | 0,14        | 0,19        | 0,13        |
|                                     |             |             |             |             |             |
|                                     | Гармоника 1 | Гармоник 2  | Гармоника 3 | Гармоника 4 | Гармоник 5  |
| Коэффициент корреляции              | 0,45        | 0,36        | 0,37        | 0,44        | 0,36        |
| срКВ погрешность                    | 0,08        | 0,10        | 0,09        | 0,08        | 0,10        |
| Критерий Стьюдента t*               | 5,43        | 3,80        | 3,92        | 5,23        | 3,72        |
| tkp                                 | 2,02        | 2,02        | 2,02        | 2,02        | 2,02        |
|                                     |             |             |             |             |             |
| значимость t*>tkp                   | значим      | значим      | значим      | значим      | значим      |

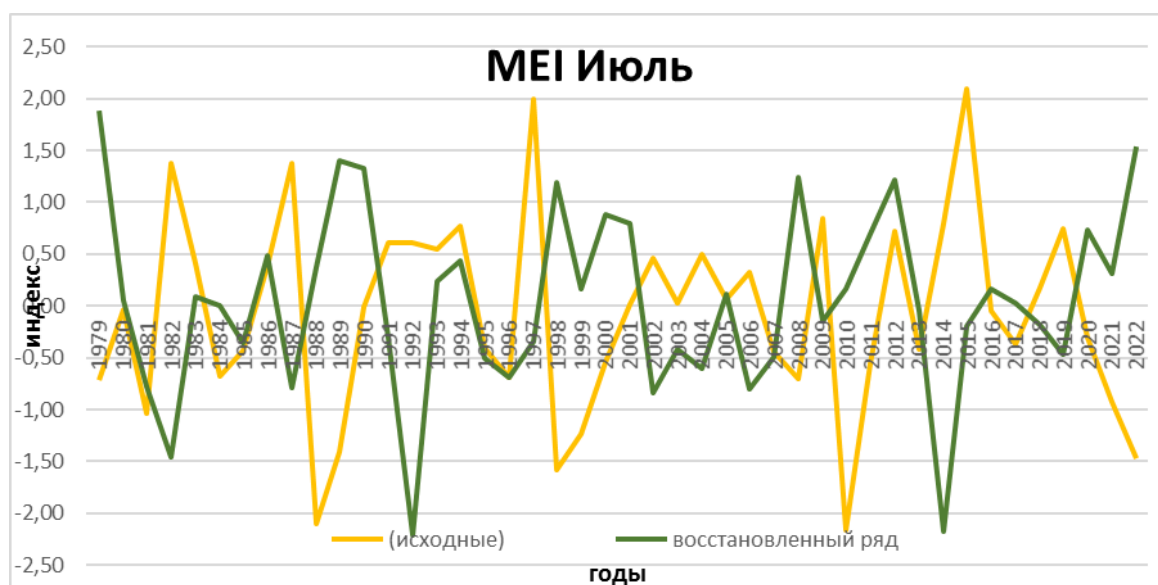


Рисунок 3.29 - Совмещенный график исходных и восстановленных значений индекса MEI Июль

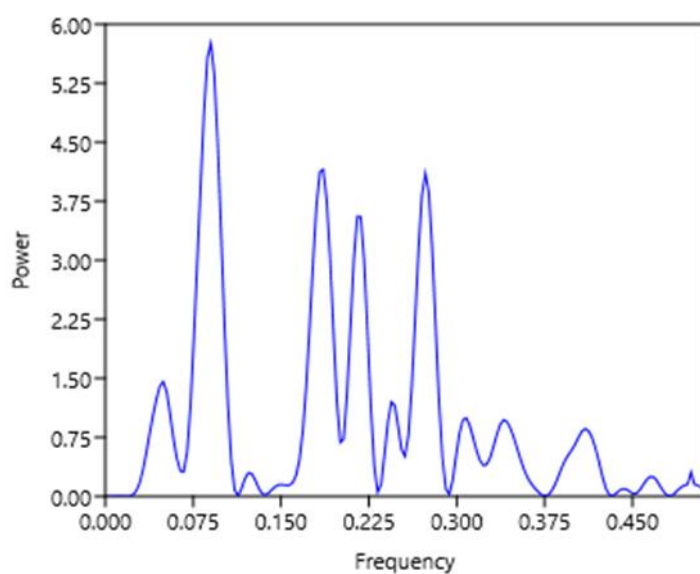


Рисунок 3.30 – Периодограмма для ряда отклонений от тренда значений индекса MEI Годовой

Таблица 3.12 – Параметры гармоник многомерного индекса (Multivariate ENSO index: MEI) с 1979 по 2022 г. Годовой

| Параметры гармоник                  | Гармоника 1 | Гармоника 2 | Гармоника 3 | Гармоника 4 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Частота, 1/год                      | 0,09        | 0,19        | 0,22        | 0,27        |
| Период, год                         | 10,97       | 5,37        | 4,65        | 3,66        |
| Частота, рад/год                    | 0,57        | 1,17        | 1,35        | 1,72        |
| К-т Фурье ak                        | -0,50       | -0,39       | 0,09        | -0,36       |
| К-т Фурье bk                        | -0,04       | -0,20       | -0,39       | 0,23        |
| A, °C                               | 0,50        | 0,44        | 0,40        | 0,43        |
| Фаза, рад                           | 4,64        | 4,23        | -0,24       | -1,00       |
| Фаза, год                           | 8,10        | 3,62        | -0,18       | -0,58       |
| Дисперсия гармоник, °C <sup>2</sup> | 0,13        | 0,10        | 0,08        | 0,09        |
| Дисперсия исх.ряда, °C <sup>2</sup> | 0,49        | 0,49        | 0,49        | 0,49        |
| Вклад гармоник в ряд откл от ТПО    | 0,26        | 0,20        | 0,16        | 0,19        |
|                                     |             |             |             |             |
|                                     | Гармоника 1 | Гармоника 2 | Гармоника 3 | Гармоника 4 |
| Коэффициент корреляции              | 0,51        | 0,44        | 0,41        | 0,43        |
| срКВ погрешность                    | 0,07        | 0,08        | 0,09        | 0,09        |
| Критерий Стьюдента t*               | 6,87        | 5,26        | 4,53        | 5,05        |
| tкр                                 | 2,02        | 2,02        | 2,02        | 2,02        |
|                                     |             |             |             |             |
| значимость t*>tкр                   | значим      | значим      | значим      | значим      |

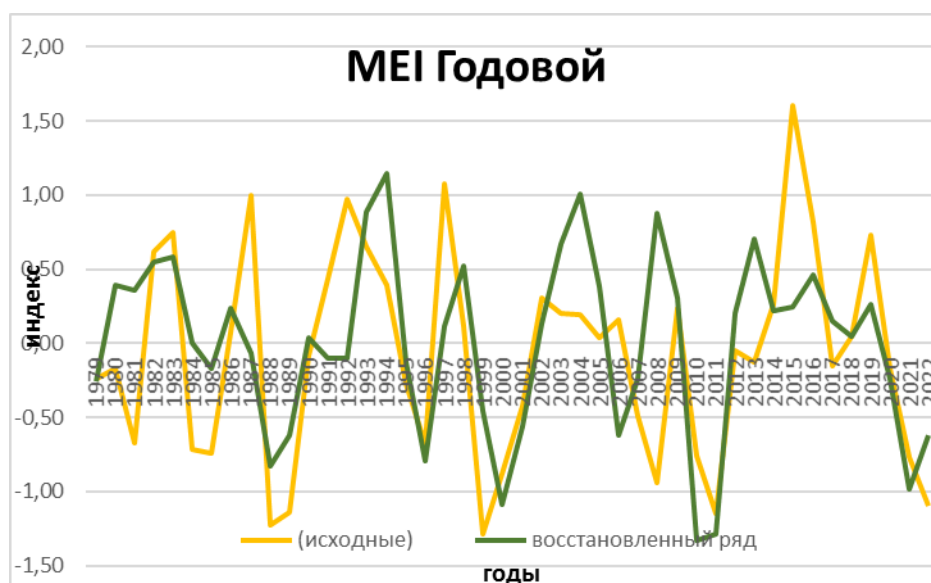


Рисунок 3.31 - Совмещенный график исходных и восстановленных значений индекса MEI Годовой

Исходя из полученных значений, несмотря на статистическую значимость, с содержательной точки зрения они носят случайный характер. Хотя тренды получились и значимые, но они настолько малы, что вряд ли они имеют существенное значение с точки зрения описания межгодовой изменчивости индекса MEI.

Вывод: межгодовая изменчивость индекса Эль-Ниньо с 1870 г. носит случайный характер и развивается по типу модели “белый шум”.

В MEI есть значимый тренд с 1979 года.

## Заключение

В результате выполненной работы получены следующие выводы:

1) Существуют определенные различия в индексах Эль-Ниньо. N(3+4) характеризуют только ТПО, а MEI характеризует сразу 6 характеристик: температуру, ветер, давление и т.д. Вследствие этого видно, что эти метеорологические характеристики ведут себя по иному, чем температура воды и за счет этих индексов получается определенное различие между MEI и N(3+4). Хотя корреляция между ними достаточно высокая. Эль-Ниньо обычно повторяется каждые 2—7 лет в различных регионах Земли.

2) В данной выпускной квалификационной работе были произведены статистические расчеты по данным индексов N (3+4), SOI, MEI, такие как описательные статистики, корреляционный анализ, тренд временного ряда, спектральный и гармонический анализ Фурье.

3) Показано, что межгодовая изменчивость индексов N(3+4) и SOI за длительный период времени (1870-2022 гг.) для средних годовых значений, а также для отдельных месяцев года (январь и июль) носит в основном случайный характер, ибо наиболее сильные гармоники вносят малый (3- 6 %) вклад в изменчивость указанных индексов, а их тренды являются незначимыми.

4) Как известно, 1979 год считается началом последнего интенсивного глобального потепления. Однако глобальное потепление проявляется в индексах SOI и MEI. При этом в индексе SOI отмечается положительный тренд, а в индексе MEI – хорошо выраженный отрицательный тренд. В индексе N(3+4) тренд отсутствует.

## Список использованных источников

1. Нечволодов Л.В., Лобов А.Л., Овинова Н.В. и др. // Метеорология и гидрология. 1999. №6. С.53-65.
2. Гущина Д.Ю., Девиэт Б., Петросянц М.А. // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 2000. Т.36. №5. С.581-604.
3. Мохов И.И., Елисеев А.В., Хворостьянов Д.В. // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 2000. Т.36. №6. С.741-751.
4. Нелепо А.Б., Калашников З.Р., Хунджуа Г.Г. Энергетика взаимодействия между океаном и атмосферой в зоне действия феномена Эль-Ниньо // Труды III конференции “Физические проблемы экологии”. М., 2002. №10. С.118-123.
5. Baturin N.G., Niiler P.P. // J. of Geophysical Research. 1997. V.102. NO. C13. P.27, 771-777, 793.
6. Webster P.J., Palmer T.N. // Nature. 1997. V.390. P.562-564.
7. Бондаренко А.Л. // Водные ресурсы. 1998. Т.25. №4. С.510-512.
8. Бондаренко А.Л., Жмур В.В., Филиппов Ю.Г., Щевьев В.А. О переносе масс воды морскими и океанскими долгопериодными волнами // Морской гидрофизический журнал. Севастополь. 2004. №5. С.24-34.
9. Бондаренко А.Л., Жмур В.В. // Метеорология и гидрология. 2004. №11. С.39-52.
10. Wolter K. and Timlin M.S. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext) // Int. J. Climatol. — 2011. — Vol. 31, Iss. 7. — P. 1074–1087. DOI: 10.1002/joc.2336.
11. Железнова И.В., Гущина Д.Ю. Аномалии циркуляции в центрах действия атмосферы в период восточно-тихоокеанского и центрально-тихоокеанского Эль-Ниньо // Метеорол. и гидрол. — 2016. — № 11. — С. 41–55.

12. Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific // Mon. Wea. Rev. — 1969. — Vol. 97, № 3. — P. 163–172. DOI: 10.1175/1520-0493(1969)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2.
13. <https://psl.noaa.gov/enso/data.html>
14. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008.
15. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации» – СПб.: РГГМУ, 2010.
16. 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)
17. 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)
18. 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)
19. Малинин В.Н., Смирнов М.А. Изменчивость уровня в тропической зоне Тихого океана и Эль-Ниньо — Южное колебание, 2022
20. Серых И. В. О роли Эль-Ниньо — Глобальной атмосферной осцилляции в межгодовой изменчивости гидрометеорологических процессов // Гидрометеорология и экология. 2021. № 63. С. 329—370.
21. Осипов А. М., Гущина Д. Ю. Эль-Ниньо 2015—2016 гг.: эволюция, механизмы, сопутствующие удаленные аномалии // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. № 3. С. 54—81. doi: 10.21513/2410-8758-2018-3-54-81.
22. Бондаренко А. Л., Серых И. В. О формировании явления Эль-Ниньо — Ла-Нинья Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 57—63.

23. Железнова И. В. 2015. Отклик в система океан-атмосфера на каноническое Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки. Дис. канд. геогр. наук. - М., 264 с.

24. Матвеева Т.А. Изменение характеристик Эль-Ниньо и Ла-Нинья в климатах прошлого и будущего: дис. ... канд. геогр. наук Москва, 2018. С.168