



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)

На тему Межгодовая изменчивость характеристик ледовых фаз в Финском заливе Балтийского моря.

Исполнитель Романова Елизавета Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководить кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Густоев Дмитрий Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

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

Лукьянов Сергей Васильевич
(фамилия, имя, отчество)

« ___ » _____ 2022г.

Санкт-Петербург

2022

Содержание

Введение.....	3
1. Описание объекта исследования	4
1.1 Физико-географическая характеристика Финского залива	4
1.2 Климатические условия Финского залива.....	7
1.3 Ледовый режим Финского залива.	9
2. Методология	14
2.1 Первичная статистика.....	14
2.2 Расчет эмпирической функции распределения.....	15
2.3 Тренд.....	16
2.4 Функция спектральной плотности	17
2.5 Расчет автокорреляционной функции.....	17
2.6 Выводы по главе.....	19
3. Анализ результатов изменчивости физических характеристик льда.	20
3.1 Расчет первичной статистики.	20
3.2. Эмпирическая функция распределения и проверка её соответствия нормальному закону.	26
3.4 Расчет функции спектральной плотности	35
3.5 Автокорреляционная функция.....	43
3.6 Выводы к главе.	54
Заключение	56
Список использованной литературы.....	57

Введение

Финский залив является замерзающим заливом и омывает берег города Санкт-Петербург, где располагается крупный морской порт. Ледовые условия Финского залива являются определяющими для прохождения морских судов в зимнее время.

Поэтому мониторинг и прогнозирование ледовой обстановки является актуальной задачей для обеспечения судоходства в данном регионе.

Целью данной работы является прогнозирование дат образования льда на акватории ее полное очищение ото льда и др. с помощью статистических методов.

Решаемые задачи:

1. Формирование общего представления о ледовых фазах Финского залива.
2. Подготовка исходных данных с помощью проведения определенных статистических расчетов (описательная статистика, график временного хода, двумерная гистограмма, тренд, функция спектральной плотности, автокорреляционная функция).
3. Оценка возможности прогноза дат, характеризующих наступление определенной фазы льда и использованием статистических методов.
4. Сравнение и анализ полученных результатов.

В качестве объекта исследования в данной работе выбран город Приморск, находящийся в восточной части Финского залива.

Исходными данными в данной работе служат даты:

- окончательного замерзания, отсчитанные от 30.11 с 1950 – 2005 гг.
- окончательного очищения акватории ото льда, отсчитанные от 31.03 с 1928 – 2006 гг.
- первого появления льда, отсчитанные от 31.10 с 1927 – 2005 гг.
- первого полного замерзания, отсчитанные от 30.11 с 1950 – 2006 гг.
- первого взлома припая, отсчитанные от 31.03 с 1950 – 2005 гг.

- устойчивого появления льда, отсчитанные от 30.11 с 1950 – 2005 гг.

1. Описание объекта исследования

1.1 Физико-географическая характеристика Финского залива

Финский залив самый большой залив Балтийского моря, расположен на северо-востоке Европы, а именно в восточной части Балтийского моря (рис. 1). Он омывает берега России, Эстонии и Финляндии. В восточной части залива располагается Невская губа, Выборгский залив расположен севернее, в южный берег вдаются Копорская, Лужская губы и Нарвский залив. [1]

Площадь Финского залива составляет примерно около 30 тыс. км². Протяженность Финского Залива с востока на запад составляет 420 км, он тянется от Санкт-Петербурга по полуострова Ханко (Финляндия), ширина колеблется от 70 км у входа в залив и достигает максимального значения в 130 км (на меридиане у острова Мощный). Залив мелководен, средняя глубина составляет 38 м, а максимальная составляет 105 м. Что касается Невской Губы, то максимальная глубина составляет 6 метров, минимальная 1 м (у берегов). [2]



Рис. 1 Финский залив

Северный берег Финского залива достаточно скалистый и изрезанный, содержит достаточно много шхеров и островов, наиболее крупные из них Сескар, Мощный, Гогланд, Березовые, Тютерс, Котлин, а также многочисленные мели, банки и бары вдоль берегов. Впадающие реки: на востоке – Нева, на юге – Пирита, Ягала, Нарва, Луга, на севере – Порвоонйоки, Сайменский канал, соединяющий Финский залив с озером Сайма, и др. Самая крупная река, впадающая в Финский залив, является Нева, также она определяет его гидрологический режим. Реки Луга и Нарова, впадающие в залив с южного берега, имеют большое значение для восточной части залива. Общая площадь водосбора залива - 420 000 км (что в 14.3 раза превышает площадь залива). Большая ее часть приходится на такие озера, как

Ладожское, Онежское, Чудское, Сайма, обладающие собственной водосборной системой. [3]

Восточной частью Финского залива называют его часть, которая располагается восточнее острова Гогланд. Ее площадь составляет $12\,500\text{ км}^2$, объем водной массы 276 км^3 . Максимальная глубина восточной части Финского залива наблюдается в районе острова Гогланд и составляет 60 – 65 м, далее двигаясь на восток происходит постепенное уменьшение глубины. [7]

В данной части финского залива наблюдается переходный тип вод. Пресноводные на востоке, а двигаясь на запад соленость в заливе постепенно возрастает и происходит переход на солоноватые воды. Данная картина наблюдается вследствие сильного опреснения Финского залива впадающими в него реками, наибольшее значение оказывает река Нева. Распространение пресной воды в Финском заливе происходит в западном направлении преимущественно на поверхности залива, а движение более соленых вод в виде клина наблюдается в обратном направлении, т.е. в восточном. [7]

Большая часть Финского залива является мелководной зоной, его средняя глубина составляет 38 метров, а максимальная наблюдается у острова Гогланди составляет 105 метров. Возрастание глубин наблюдается от вершины залива к его устью. Дно Финского залива не ровное, на нем преобладают различные гряды, холмы, а также локальные дисперсии различной величины. У шхер Выборгского залива наблюдается наиболее расчлененное дно, в данном месте преобладает холмисто-грядовой рельеф, гряды ориентированы преимущественно в северном направлении. С юга наоборот наблюдается значительно ровное дно, изобаты в данном месте проходят параллельно береговой линии. Восточная часть Финского залива характеризуется, как правило, отмелым береговым склоном, в ней наблюдается ряд подводных террас, которые окаймляют северный и южный берега залива, а также ряд островов, формирование которых произошло в позднем голоцене. [8]

1.2 Климатические условия Финского залива

Климат – это характерный для каждого места Земли многолетний режим погоды, который определяется, непосредственно, географическими условиями данной местности. Представления о климате складываются на основе статистической обработки многолетних метеонаблюдений, а также климатообразующих процессов, непрерывно происходящих при взаимодействии атмосферы с космосом и земной поверхностью, складываются представления о климате. [4]

Финский залив характеризуется достаточно низким содержанием солёности, которая в поверхностных водах достигает 3–6‰ (в вершине залива 2‰ и меньше) (рис. 2). Достаточно сильные колебания совершает уровень воды под влиянием таких факторов как ветер и атмосферное давление. Достаточно большие подъемы уровня наблюдаются в Невской Губе, нагоны св. 3 м вызывали катастрофические наводнения в Санкт – Петербурге. [1]

СОЛЁНОСТЬ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ



Рис. 2 Соленость воды в Финском заливе на поверхности.

Характерный климат для Финского залива – это климат умеренных широт, который находится под влиянием Атлантического океана. Это обуславливается достаточно большим количеством облачных дней в году,

повышенной влажностью и достаточно частым выпадением осадков. Самыми холодными месяцами — это январь и февраль. Среднемесячная температура в это время находится в пределах $-5-9^{\circ}\text{C}$. В суровые зимы температура воздуха на побережье понижается до $-20 - 25^{\circ}\text{C}$, при оттепелях повышается до $+5+10^{\circ}\text{C}$. Самым теплым месяцем в году является июль, когда среднемесячная температура воздуха составляет $+18+20^{\circ}\text{C}$, иногда достигая максимального значения до $+35^{\circ}\text{C}$.

В Финском заливе температура воды в феврале – марте удерживается около 0°C , а своего максимального значения достигает в августе, когда Финский залив прогревается до температуры $+15 - +17^{\circ}\text{C}$ на поверхности, при этом у дна она составляет всего $+2 - +3^{\circ}\text{C}$ (рис. 3). Летний слой температурного скачка располагается на глубине 15 м. В зимнее время конвекция достигает наибольших глубин в 70-80 м. [5]

ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ



Рис. 3 Температура воды в Финском заливе на поверхности.

Направление и скорость ветра на Финском заливе зависит, по большей части, от времени года, но в большинстве случаев наблюдаются южные, юго-западные и западные ветры. Северный и восточный ветры наблюдаются довольно редко. В осенне-зимний период над Финским заливом преобладают более сильные ветры. Сильный западный ветер создает в заливе нагонную волну, которая при подходе к его горлу достаточно сильно увеличивается, тем

самым входя в устье реки Нева может создать наводнение. Появление туманов над Финским заливом чаще всего отмечается осенью и зимой. [9]

1.3 Ледовый режим Финского залива.

Определяющими факторами развития льда в Финском Заливе являются его географическое положение, глубина, интенсивность водообмена с Балтийским морем и распределение залива впадающими в него реками (рис. 4).

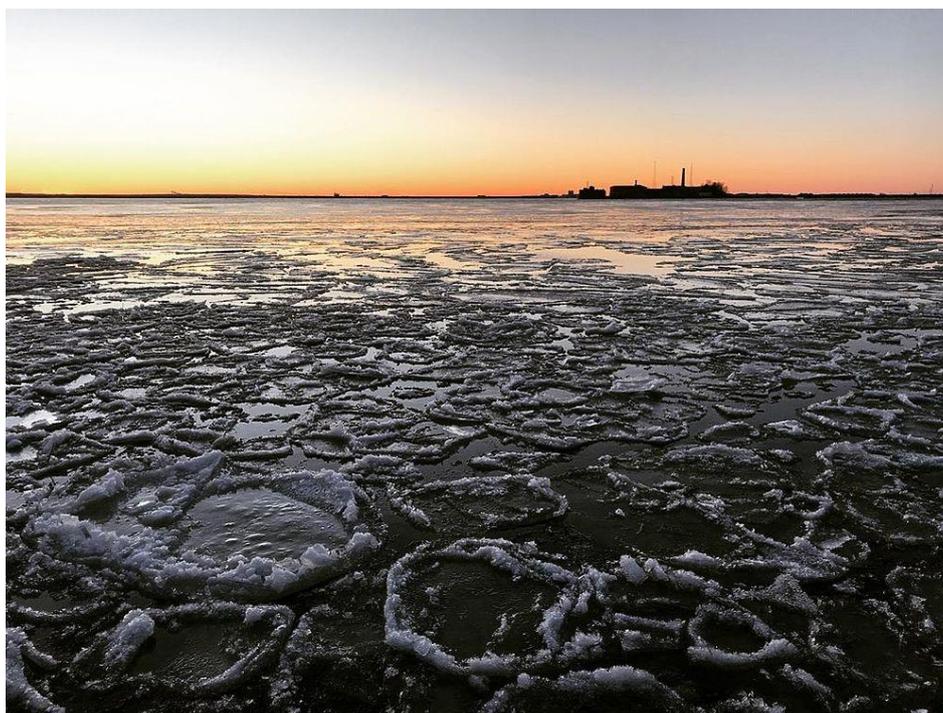


Рис. 4 Образование льда на Финском заливе.

Образование льда на Финском заливе происходит ежегодно, но время его появления и площадь распространения сильно меняются, начиная от практически безледных периодов и до периодов, характеризующихся достаточно большой ледовитостью.[5]Залив начинает замерзать с восточной части и далее на запад.Неподвижный лед образуется от порта Санкт-Петербург и до острова мощный, а также он образуется на шхерах от порта Выборг до полуострова Ханко (рис. 5).



Рис. 5 Ледяные торосы на Финском заливе.

Если зима суровая (рис. 6), то лед распространяется по всей акватории Финского залива на запад. У берегов преобладает припай. Также большую часть занимают нилосовые льды. Молодой лед образуется в центральной части залива и тянется на запад.

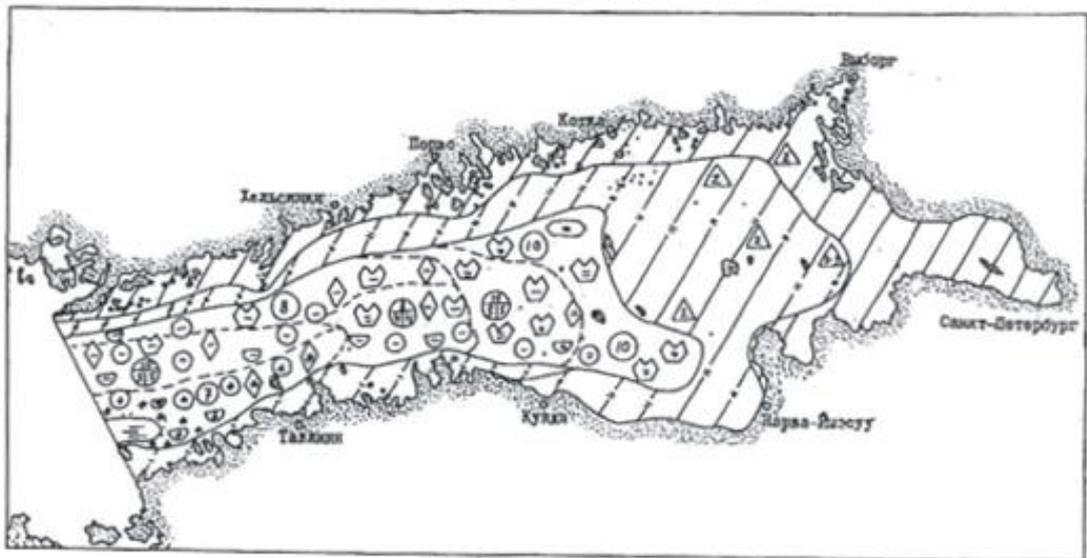


Рис. 6 Ледовая обстановка на Финском заливе в период суровой зимы.

В умеренные зимы (рис.7) ледяной покров также занимает всю площадь залива. У берегов также наблюдается припай, но можно отметить отсутствие ниласовых льдов, на их месте по всей акватории отмечаются молодые льды.

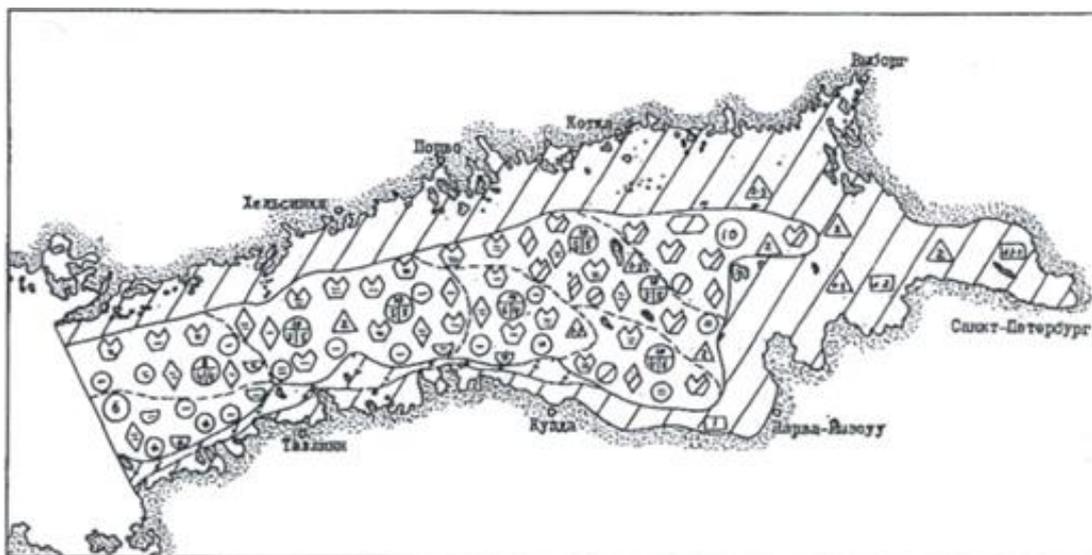


Рис. 7 Ледовая обстановка на Финском заливе в период умеренной зимы.

В мягкие зимы (рис. 8) лед наблюдается в основном у берегов в основном в восточной части, в южном побережье в данное время лед не наблюдается. Также можно отметить наличие припая в северо – восточной части залива. Здесь так же отсутствуют нилосовые льды. Концентрация молодого льда сосредоточена в восточной части Финского залива, далее на запад наблюдается чистая вода.

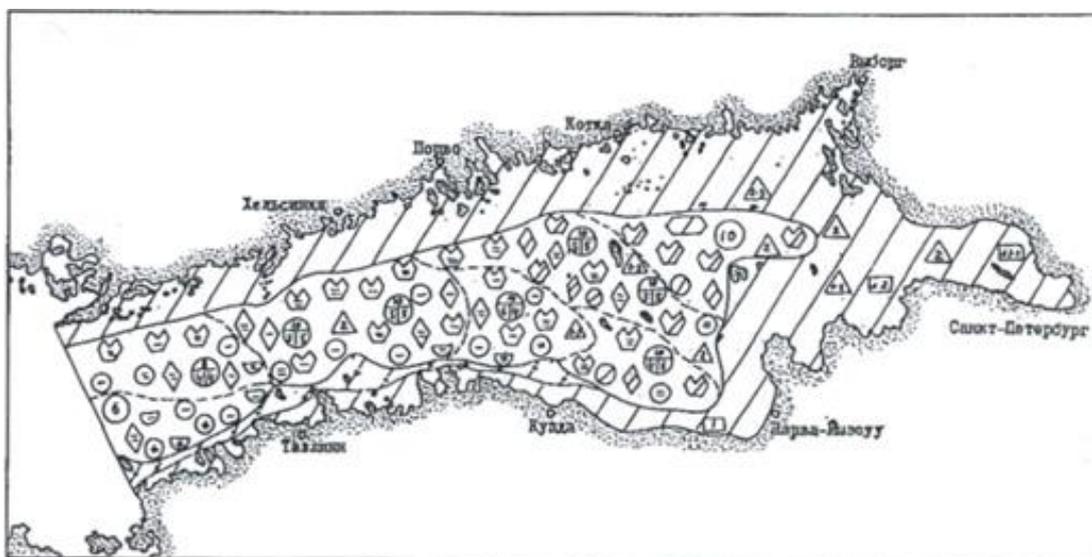


Рис. 8 Ледовая обстановка на Финском заливе в период мягкой зимы.

В среднем возникновение льда на Финском заливе приходится на ноябрь – декабрь, начиная с акватории Невской губы, в январе лед покрывает северные внешние шхеры. Распространение льда на востоке доходит до

острова Сескар. Лед на Финском заливе максимального значения он достигает только к февралю – марту. Очищение Финского залива ото льда обычно происходит в марте – апреле, а в суровые зимы – во второй половине мая. [5]

Интенсивное ледообразование наблюдалось в восточной части Финского залива в ночные часы, толщина льда на всех постах увеличилась на 2 – 3 см. Также можно отметить сохранение слабого дрейфа льда в восточном направлении. Полностью заполнены приносным льдом оказались акватории Лужской и Капорской губ, а на участках с чистой водой образовался темный нилас. Весь плавучий лед равномерно распределен по всей восточной части Финского залива. Кромка начальных видов льдов в ночные часы распространилась на запад и ушла за маяк Вайндло. Количество льда на данной акватории постепенно увеличивалось.

На конец февраля текущего года припай наблюдался: на акватории Невской губы до долготы восточной оконечности острова Котлин, на всей акватории Сестрорецкой отмели, в Выборгском заливе, в проливе Бьеркезунд - толщиной 30-50 см, со снегом на льду до 1 см в виде наста. В районе Кронштадта и Ломоносова сохраняется припай узкой полосой вдоль берега от 100 до 500 м, за ним - очень сплоченный дрейфующий неподвижный серобелый и серый лед. [6]

Очень сплоченный дрейфующий лед наблюдается мористиедамбы до долготы, на которой располагается маяк Толбухин. Далее наблюдается очень сплоченный лед до долготы маяка Соммерс, толщина его составляет 15-35 см. Далее наблюдаются пятна и полосы сплошного темного ниласа до долготы острова Мохни, а далее на запад наблюдается чистая вода. Также наличие очень сплоченного плавучего льда можно отметить на акваториях Лужской и Копорской губ, а также на подходах к ним, толщина данного льда составляет 10-20 см. [6]

На конец февраля 2022 года в Финском заливе можно отметить, что также продолжиться слабое ледообразование в ночные часы. Но это явление не окажет влияния на площадь и толщину льда. [6]

1.4 Выводы по главе

Являясь самым большим заливом Балтийского моря, Финский залив очень интересный объект для изучения. Под воздействием климата, характерного для умеренных широт – зимой Финский залив покрывается льдом, интенсивность которого зависит от суровости зимы, а летом прогревается до температуры 18°C. Данная акватория характеризуется достаточно низкой соленостью из-за распреснения залива речными стоками.

Ледообразование в заливе начинается с востока на запад. Первое появление льда в среднем приходится на ноябрь. А устойчивый ледяной покров формируется только к февралю.

Получение данных о ледяной обстановке на Финском заливе является очень важным параметром, тк здесь находится крупный морской порт, и данная информация является необходимой для прохождения морских судов.

2. Методология

В данной работе используются данные о состоянии ледовой обстановки на Финском заливе в районе города Приморск. Мы имеем 6 рядов данных, которые обозначают сутки, отсчитанные от определенной даты. А именно, это ряды:

- Даты окончательного замерзания, отсчитанные от 30.11 с 1950 – 2005 гг.
- Даты окончательного очищения ото льда, отсчитанные от 31.03 с 1928 – 2006 гг.
- Даты первого появления льда, отсчитанные от 31.10 с 1927 – 2005 гг.
- Даты первого полного замерзания, отсчитанные от 30.11 с 1927 – 2005 гг.
- Даты первого взлома припая, отсчитанные от 31.03 с 1950 – 2005 гг.
- Даты установившегося появления льда, отсчитанные от 30.11 с 1950 – 2005 гг.

Данные были любезно предоставлены сотрудником главной геофизической обсерватории (ГГО) в учебных целях.

В работе с данными использовались следующие программы.

В программе «Excel2016» производились статические расчеты, такие как: Первичная статистика с помощью пакета «Анализ данных»; построение графика временного хода; расчет тренда; расчет эмпирической функции распределения, а также проверка ее нормальному закону; расчет функции спектральной плотности; расчет автокорреляционной функции.

Для построения графика спектральной плотности использовалась программа AsapWinверсии 1.10 от 22.01.2011. Данная программа предназначена для экстраполяции временных серий статистико-вероятностными методами.

2.1 Первичная статистика

Расчет первичной статистики производился с помощью пакета «Анализ данных», были рассчитаны следующие величины:

- Среднее арифметическое значение (1)

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (1)$$

- Дисперсия (2)

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

- Стандартное отклонение (3)

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (3)$$

- Размах вариации (4)

$$R = \max - \min \quad (4)$$

- Коэффициент вариации (5)

$$C = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (5)$$

- Эксцесс (6)

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 - 3n\sigma^4}{n\sigma^4} \quad (6)$$

2.2 Расчет эмпирической функции распределения.

Сама по себе функция распределения показывает соотношение между возможными значениями случайной величины и вероятностями их появления. Если функция распределения рассчитывается по выборке, то она называется эмпирической.

Количество интервалов для эмпирической функции распределения определяется по формуле (7):

$$k_{max} \cong 5 \lg n \quad (7)$$

Для определения размаха интервала применяем следующую формулу (8):

$$\Delta X_k = \frac{X_{max} - X_{min}}{k_{max}} \quad (8)$$

Для того чтобы оценить частоту m_k , она обозначает определённое количество членов выборки, попавших в интервал, воспользуемся пакетом «Анализ Данных» в Excel в модуле «Гистограмма».

Значения частоты нормального закона вычисляются по следующей формуле (9):

$$n_k^* = f(x_k, \bar{x}, \sigma) \cdot \Delta X_k \cdot N \quad (9)$$

Формула для расчета статистического критерия χ^2 (10):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k_{max}} \frac{(m_k - n_k)^2}{n_k} \quad (10)$$

2.3 Тренд

С помощью пакета «Анализ данных» и модуля «Регрессия» производится расчет коэффициентов регрессии.

Далее идет проверка на значимость коэффициента корреляции r . Проверка нулевой гипотезы осуществляется с использованием критерия Стьюдента (11):

$$t^* = \frac{|r|}{\sigma_r}, \quad \sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{N - 2}} \quad (11)$$

$t_{кр}$ рассчитывается с помощью функции Excel «СТЮДРАСПОБР»

Далее сравниваем t^* и $t_{кр}$. Если $t^* > t_{кр}$, то коэффициент корреляции значим и тренд есть. Если $t^* < t_{кр}$, то коэффициент корреляции не значим, следовательно, как в нашем случае, тренда нет.

2.4 Функция спектральной плотности

Для ряда отклонений была построена функция спектральной плотности в программе Asarwin.

Формула гармоники (12):

$$G_k = A_k \cos(\omega_k \cdot t - \varphi_k), \quad \omega_k = 2\pi/T_k \quad (12)$$

На основании коэффициентов Фурье (13) определяются характеристики гармоники:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [x_i \sin(\omega_k \cdot t_i)], \quad b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [x_i \cos(\omega_k \cdot t_i)] \quad (13)$$

где: k -номер гармоники, A_k - амплитуда гармоники, ω_k - частота гармоники, T_k - период гармоники, φ_k - фаза гармоники, t -время.

Формулы для определения характеристик гармоник:

- Амплитуда гармоники (14):

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (14)$$

- Фаза гармоники (15):

$$\varphi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k} \pm \pi \quad (15)$$

- Дисперсия гармоники (16):

$$D_k = \frac{A_k^2}{2} \quad (16)$$

- Вклад гармоники в общую дисперсию ряда (17):

$$V_k = \frac{D_k}{D_y} \quad (17)$$

2.5 Расчет автокорреляционной функции

Автокорреляция – это корреляция статистического ряда самого с собой при разных сдвигах во времени.

Формула для вычисления коэффициента автокорреляции $r(\tau)$ (18):

$$r(\tau) = \frac{1}{\sigma_x^2(N-1-\tau)} \sum_{i=1}^{N-\tau} (x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x}) \quad (18)$$

где N – длина реализации, τ – сдвиг, который меняется от 1 до максимума.

Формула для расчета $t_{кр}$:

$$r_{кр}(\tau) = \frac{-\sqrt{N-\tau-1} + \sqrt{N-\tau-1+4t_{кр}^2}}{2t_{кр}} \quad (19)$$

где N – длина реализации, τ – сдвиг АКФ; $t_{кр}(\alpha, \nu = N-\tau-1)$ – критерий Стьюдента.

Анализируя АКФ рассматривают следующие пункты:

1. Инерционность процесса
2. Периодичность процесса
3. Тип процесса
4. Возможность автопрогноза

Если есть возможность сделать автопрогноз, то он выгоняется на основе модели парной линейной регрессии.

Уравнение авторегрессии первого порядка (20):

$$(x_{i+k} = a_1 x_i + a_0 + \varepsilon, \quad 20)$$

Где k - заблаговременность прогноза

Для того, чтобы рассчитать стандартную ошибку независимого прогноза будем использовать формулу (21):

$$\sigma_{\varepsilon n} = \sqrt{\frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} (\varepsilon_i^2)} \quad \varepsilon_i = x_{\text{факт}} - x_{\text{пр}}, \quad (21)$$

Где N_n – длина независимой выборки; $x_{\text{факт}}$ – фактические значения независимой выборки; $x_{\text{пр}}$ – соответствующие тем же моментам времени, рассчитанные по модели значения.

Затем мы сравниваем стандартную ошибку независимого прогноза со стандартным отклонением зависимой выборки. Если $\sigma_{\text{ен}} < \sigma_y$, из этого следует что данная модель может быть использована для прогноза, тк ее внутренняя структура остается неизменной во времени. [11]

2.6 Выводы по главе.

Все вышеупомянутые расчеты используются в статистическом анализе данных характеристик. Используя их можно выявить определенные закономерности в том или ином физическом процессе и спрогнозировать дальнейшие события. Правда физические процессы подвержены влиянию большого числа различных факторов, что не гарантирует высокое качество получившихся прогнозов.

3. Анализ результатов изменчивости физических характеристик льда.

3.1 Расчет первичной статистики.

Для шести рядов значений, таких как:

- Даты окончательного замерзания, отсчитанные от 30.11 с 1950 – 2005 гг.
- Даты окончательного очищения ото льда, отсчитанные от 31.03 с 1928 – 2006 гг.
- Даты первого появления льда, отсчитанные от 31.10 с 1927 – 2005 гг.
- Даты первого полного замерзания, отсчитанные от 30.11 с 1927 – 2005 гг.
- Даты первого взлома припая, отсчитанные от 31.03 с 1950 – 2005 гг.
- Даты установившегося появления льда, отсчитанные от 30.11 с 1950 – 2005 гг.

Были проведены расчеты описательной статистики и построены графики временного хода соответствующих дат в период с 1950 по 2005 гг. Данные расчетов представлены в таблицах 1 – 6 и на рисунках 6 – 12.

Таблица 1. Описательная статистика. Даты окончательного замерзания льда, отсчитанные от 31.10 с 1950 по 2005 гг.

Среднее	35,67
Стандартная ошибка	2,39
Медиана	33,00
Мода	35,00
Стандартное отклонение	17,76
Дисперсия выборки	315,45
Эксцесс	0,04
Асимметричность	0,66
Интервал	72,00
Минимум	7,00
Максимум	79,00
Коэффициент вариации	80,38

Таблица 2. Описательная статистика. Даты окончательного очищения ото льда, отсчитанные от 31.03 с 1928 по 2006 гг.

Среднее	29,84
Стандартная ошибка	1,07

Медиана	30
Мода	35
Стандартное отклонение	8,79
Дисперсия выборки	77,32
Эксцесс	0,21
Асимметричность	0,13
Минимум	7
Максимум	52
Коэффициент вариации	76,54

Таблица 3. Описательная статистика. Даты первого появления льда, отсчитанные от 31.10 с 1927 по 2005 гг.

Среднее	43,925
Стандартная ошибка	2,12
Медиана	42,5
Мода	75
Стандартное отклонение	13,43
Дисперсия выборки	180,43
Эксцесс	0,67
Асимметричность	0,72
Коэффициент вариации	49,91
Минимум	22
Максимум	75

Таблица 4. Описательная статистика. Даты первого полного замерзания льда, отсчитанные от 30.11 с 1927 по 2005 гг.

Среднее	27,76
Стандартная ошибка	2,28
Медиана	25
Мода	22
Стандартное отклонение	14,79
Дисперсия выборки	218,72
Эксцесс	-0,29
Асимметричность	0,65
Коэффициент вариации	92,80
Минимум	2
Максимум	60

Таблица 5. Описательная статистика. Даты первого взлома припая, отсчитанные от 31.03 с 1950 по 2006 гг.

Среднее	16,29
Стандартная ошибка	1,75
Медиана	18,5
Мода	23
Стандартное отклонение	13,10
Дисперсия выборки	171,52
Эксцесс	10,49

Асимметричность	-2,40
Коэффициент вариации	400,8772
Минимум	-49
Максимум	35

Таблица 6. Описательная статистика. Даты устойчивого появления льда, отсчитанные от 31.11 с 1950 по 2005 гг.

Среднее	20,13
Стандартная ошибка	1,89
Медиана	17
Мода	22
Стандартное отклонение	14,02
Дисперсия выборки	196,48
Эксцесс	0,62
Асимметричность	0,77
коэффициент вариации	154,65
Минимум	-11
Максимум	57

На основании исходных данных и расчетов описательной статистики (табл. 1-6) были построены графики изменчивости дат. (Рис 9-14).

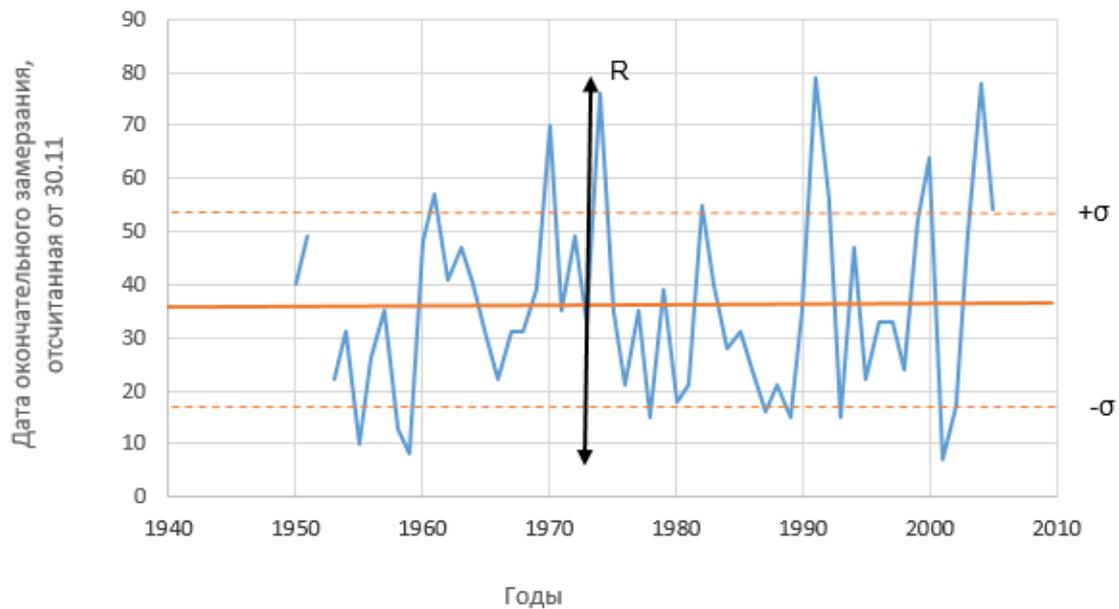


Рис. 9 График изменчивости дат первого замерзания льда, отсчитанных от 31.10 с 1950 по 2005 гг.

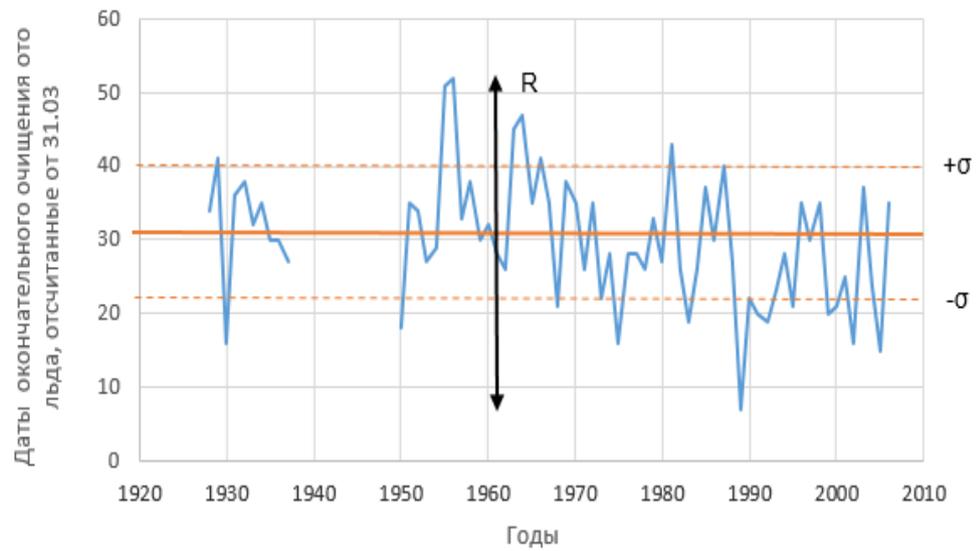


Рис. 10 график изменчивости дат окончательного очищения ото льда, отсчитанных от 31.03 с 1928 по 2006 гг.

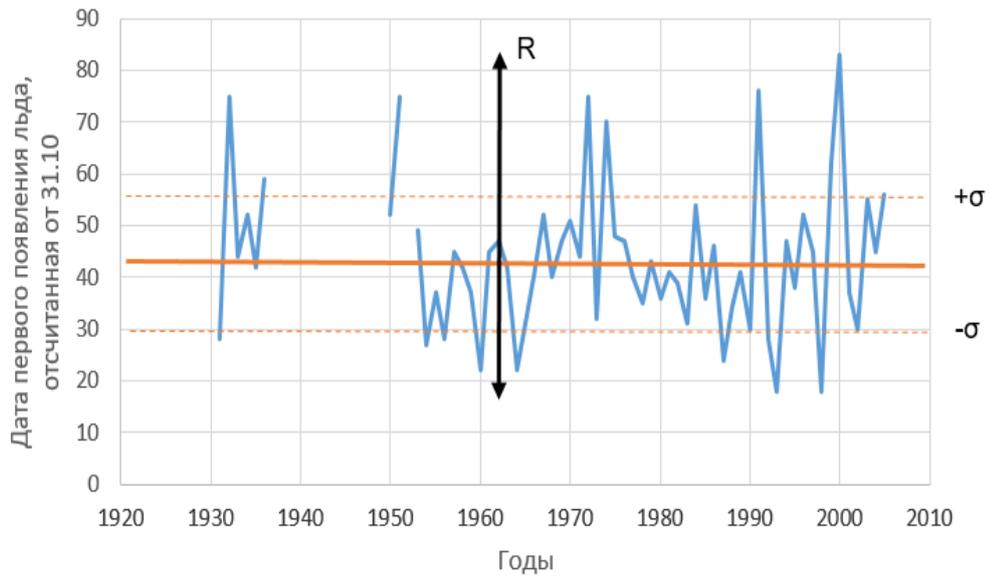


Рис. 11 График изменчивости дат первого появления льда, отсчитанных от 31.10 с 1927 по 2005 гг.

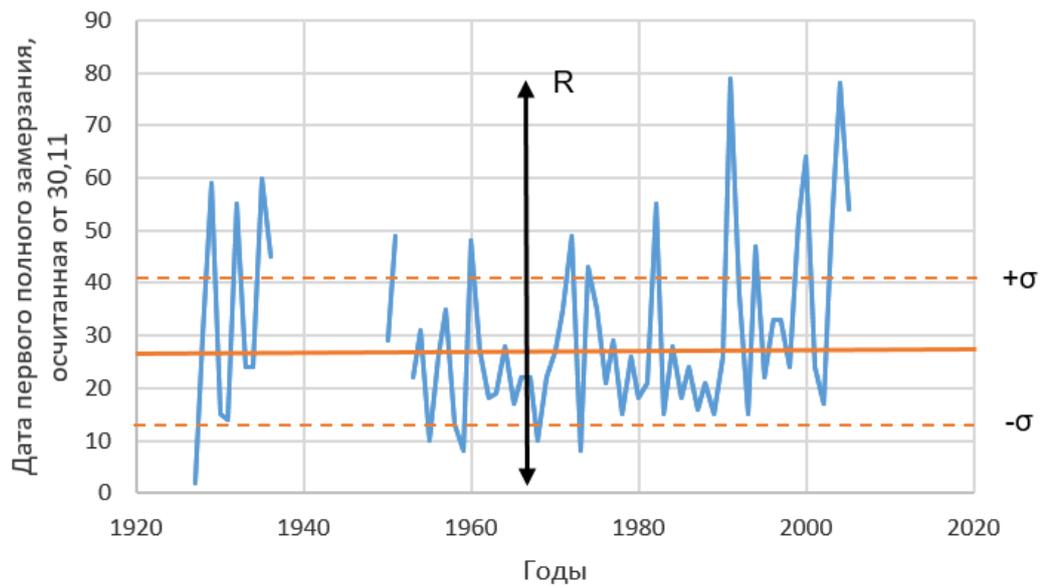


Рис. 12 график изменчивости дат первого полного замерзания, отсчитанных от 30.11 с 1927 по 2005 гг.

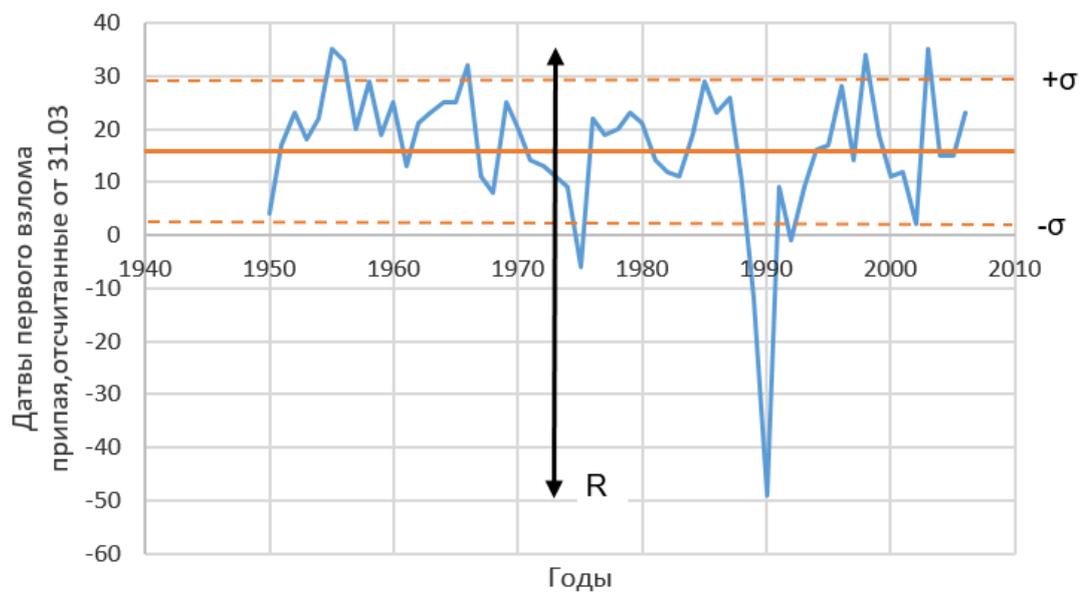


Рис. 13 график изменчивости дат первого полного взлома припая, отсчитанных от 31.03 с 1950 по 2006 гг.

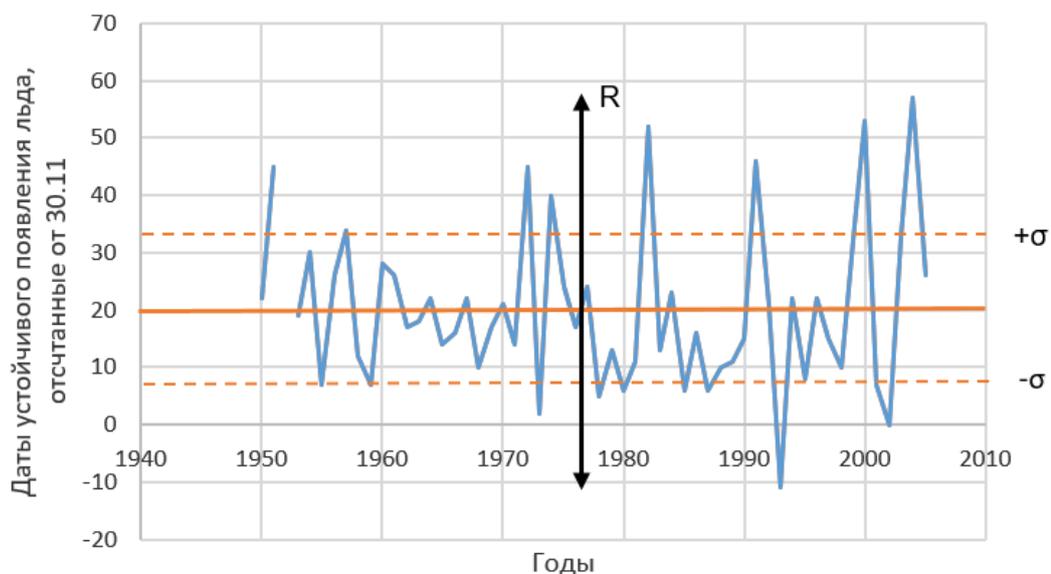


Рис. 14 график изменчивости дат устойчивого появления льда, отсчитанных от 30.11 с 1950 по 2005 гг.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что среднее значение даты окончательного замерзания Финского залива, вблизи города Приморск, приходится 35,67 сутки, отсчитанные от 30.11, минимальное значение составляет 7 суток и наблюдается в 2001 году, а максимальное значение превышает минимальное почти в 7 раз и составляет 79 суток в 1991 году. Среднее значение окончательного очищения ото льда приходится на 32 сутки, отсчитанные от 31.03. Минимальное значение за весь период составляет 7 суток и приходится на 1989 год, а максимальное значение составляет 52 суток в 1956 году. Средняя дата первого появления льда за весь период, отсчитанная от 31.10 приходится на 43 сутки. Минимальное значение составляет 22 суток в 1960 году, а максимальное 75 в 1951 году. Первое полное замерзание Финского залива вблизи города Приморск в среднем приходится на 27 сутки, отсчитанные от 30.11. Минимальное значение составляет 2 суток в 1927 году, а максимальное 60 суток в 1925 году. Первый взлом припая в среднем происходит на 16 сутки, отсчитанные от 31.03. Максимальное значение составляет 35 сутки в 1955 году, а минимальное значение составляет 49 суток до наступления 31.03 и приходится на 1990 г. Устойчивое появление припая сформировалось за весь период в среднем на 22

сутки. Минимальное значение составляет 11 суток до наступления 30.11 в 1993 году, а максимальное 57 в 2004 году, отсчитанные после данной даты.

Размах вариации для дат окончательного замерзания составляет 72 дня, для дат окончательного очищения ото льда 45 дней, для дат первого появления льда 53 дня, для дат первого полного замерзания 58 дней, для дат первого взлома припая 84 дня, для дат устойчивого появления припая 58 дней.

Для дат окончательного замерзания, отсчитанных от 30.11 дисперсия составляет 315,45, а связанное с ней СКО ряда составляет 17,76. Для дат окончательного очищения от льда дисперсия составляет 77,32, СКО - 8,79. Для дат первого появления льда дисперсия составляет 180,43, СКО - 13,43. Дисперсия для дат первого полного замерзания составляет 218,72, а СКО - 14,79. Для дат первого взлома припая дисперсия составляет 171,52, а СКО - 13,10. Для дат устойчивого появления льда дисперсия составляет 196,48, а СКО - 14,02. Дисперсия и связанное с ней СКО характеризуют среднее рассеяние значений ряда от среднего арифметического значения.

Коэффициент вариации для ряда дат окончательного замерзания льда составляет 80,38%, для ряда дат окончательного очищения ото льда -76,54%, для ряда дат первого появления льда - 49,91%, для дат первого полного замерзания - 92,80%, для ряда дат первого полного взлома припая - 400,87%, для дат устойчивого появления льда 154.65%, что больше 33% это говорит о том что у рядов изменчивость характеристики высокая и выборка не может считаться однородной.

3.2. Эмпирическая функция распределения и проверка её соответствия нормальному закону.

Для всех шести рядов данных была проведена проверка соответствия ЭФР нормальному закону распределения, результаты рассчитанного критерия χ^2 и $\chi^2_{кр}$ занесены в таблицу 7.

	χ^2	$\chi^2_{кр}$
Даты окончательного очищения ото льда, отсчитанные от 31.03	24,38	11,07
Даты окончательного замерзания, отсчитанные от 30.11	9,94	11,07
Даты первого появления льда, отсчитанные от 31.10	31,46	11,07
Даты первого полного замерзания, отсчитанные от 30.11	220,78	11,07
Даты первого взлома припая, отсчитанные от 31.03	44,88	11,07
Даты устойчивого появления льда, отсчитанные от 30.11	16,04	11,07

Таблица 7. результаты рассчитанного критерия χ^2 и $\chi^2_{кр}$.

Анализируя выше представленную таблицу можно сделать вывод, что для дат окончательного замерзания статистический критерий χ^2 составил 9,94, а $\chi^2_{кр}$ составил 11,07, следовательно, $\chi^2 < \chi^2_{кр}$, это означает что статистически критерий близок к нулю и ЭФР соответствует нормальному закону, так же на характеристику влияет большое число равнозначных факторов. Во всех остальных случаях можно заметить, что $\chi^2 > \chi^2_{кр}$, Это означает, что различия между ЭФР и нормальным законом статистически значимы и ЭФР не соответствует нормальному закону, и среди факторов, влияющих на данную характеристику есть один или несколько преобладающих.

Затем были построены гистограммы, такие как эмпирическая функция распределения (ЭФР) и соответствующий ей нормальный закон. (рис 15 - 26).

Для дат первого появления льда, отсчитанных от 31.10 с 1950 по 2005 гг.

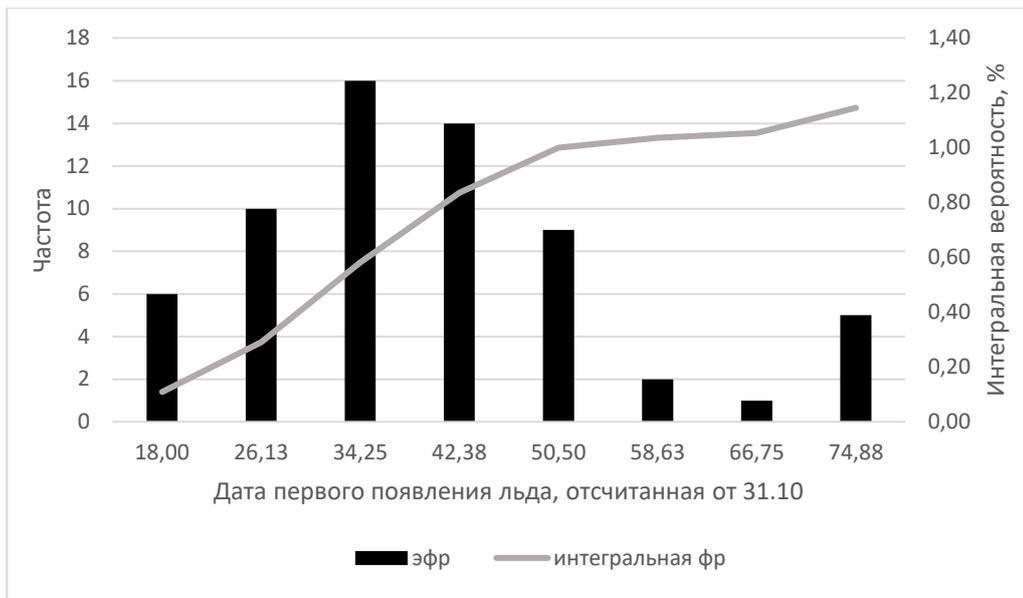


Рис. 15 Эмпирическая функция распределения дат первого появления льда, отсчитанных от 31.10 с 1950 по 2005 гг.

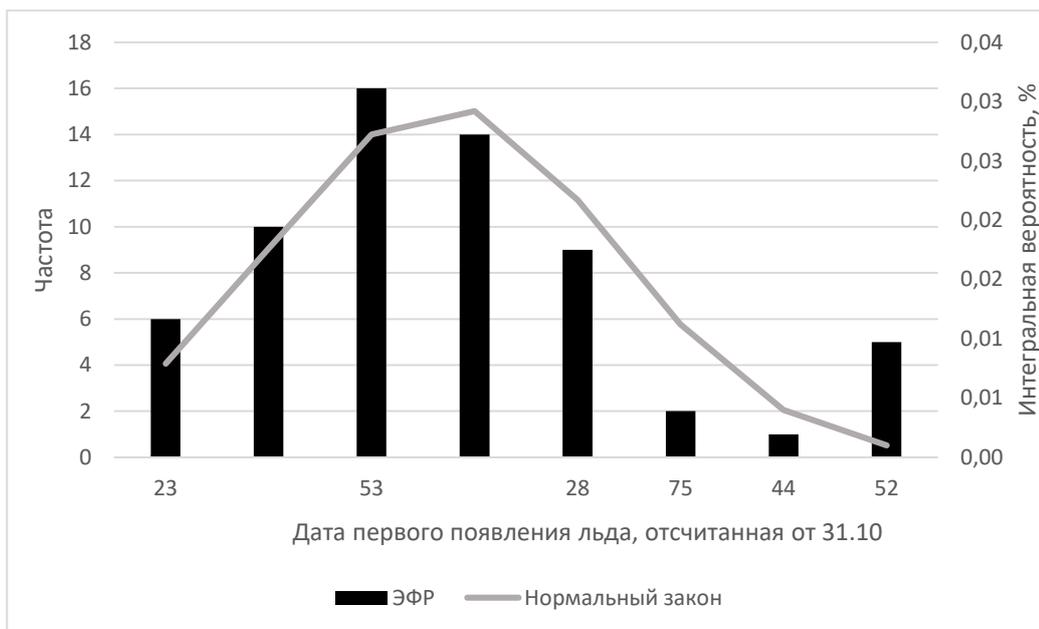


Рис. 16 Эмпирическая функция распределения и соответствующий ей нормальный закон, дат первого появления льда отсчитанные от 31.10 с 1950 по 2005 гг.

Анализируя данную ЭФР можно сказать, что медиана составляет 34,25 суток, данное распределение является двухмодальным, первая мода составляет 34,25 и показывает относительно поздние сутки появления льда, отсчитанные от 31.10, а вторая мода составляет 74,88 и показывает относительно ранние сутки появления льда, отсчитанные от 31.10.

Для дат окончательного очищения ото льда, отсчитанных от 31.03 с 1928 по 2006 гг.

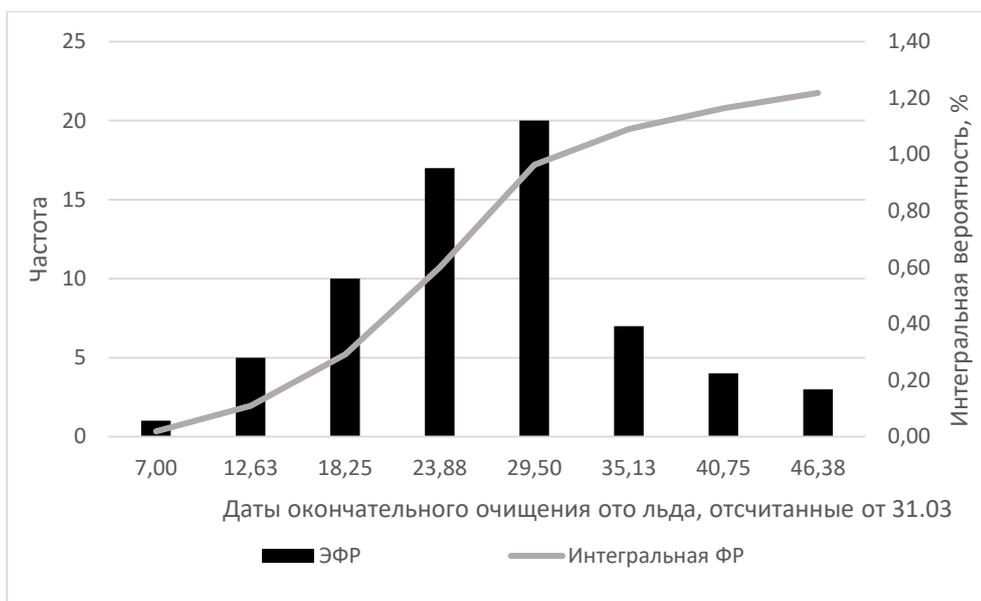


Рис. 17. Эмпирическая функция распределения дат окончательного очищения ото льда, отсчитанных от 31.03 с 1928 по 2006 гг.

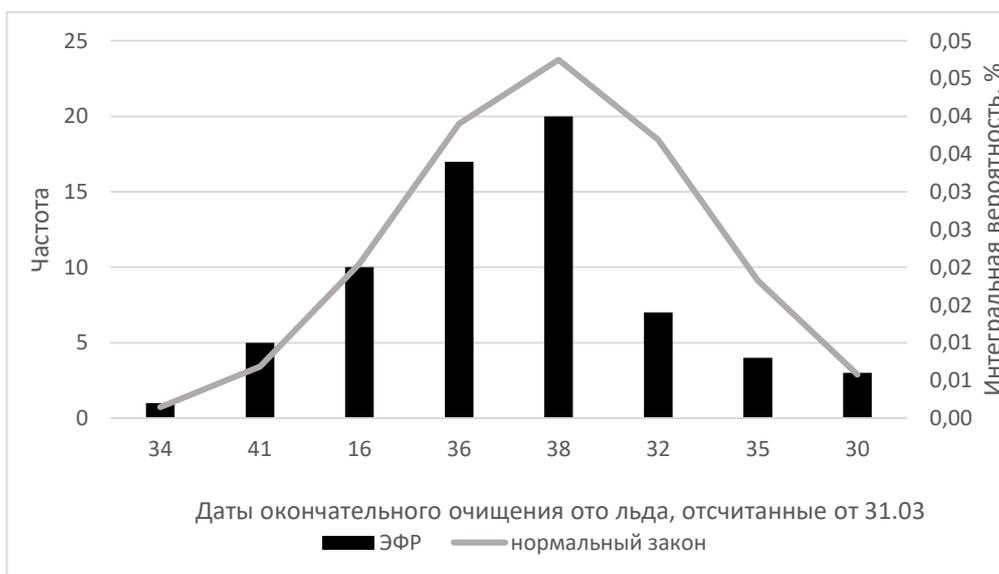


Рис. 18. Эмпирическая функция распределения и соответствующий ей нормальный закон, дат окончательного очищения ото льда, отсчитанных от 31.03 с 1928 по 2006 гг.

Анализируя полученные результаты можно сделать выводом том, что медиана составляет 21 сутки. Данное распределение является одномодальным, мода составляет 29,50суток, отсчитанные от 31.03. У данного ряда наблюдений асимметрия составляет $0,31 < 0$, это говорит о том, что ЭФР

обладает отрицательным «хвостом», это так же говорит нам о том, что медиана и основная масса наблюдений превышают среднее значение.

Ассиметрия у данного ряда составляет $0,31 < 0$, следовательно ЭФР имеет отрицательный «хвост», это говорит о том, что основная масса наблюдений, в том числе и медиана превышают среднее значение.

Для дат окончательного замерзания, отсчитанных от 30.11 с 1950 по 2005 гг.

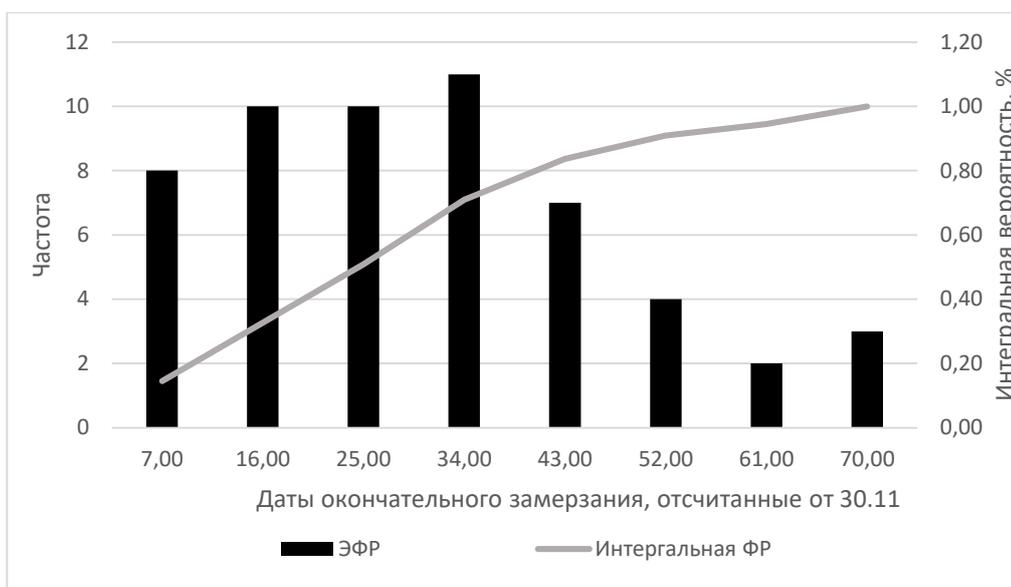


Рис. 19. Эмпирическая функция распределения дат окончательного замерзания льда, отсчитанных от 30.11 с 1950 по 2005 гг.

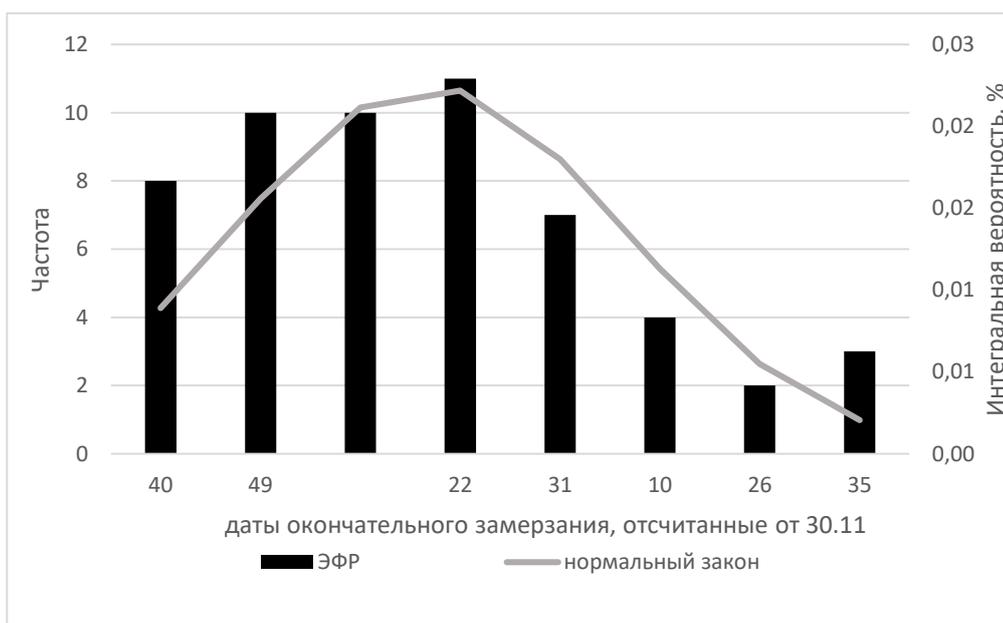


Рис. 20. Эмпирическая функция распределения и соответствующий ей нормальный закон, дат окончательного замерзания, отсчитанных от 30.11 с 1950 по 2005 гг.

Для данного ряда значений медиана составляет 25 суток, данное распределение является двухмодальным. Первая мода составляет 34 сутки, и показывает относительно ранние даты окончательного замерзания, отсчитанные от 30.11. Вторая мода составляет 70 суток и показывает относительно поздние даты окончательного замерзания.

Даты первого полного замерзания, отсчитанные от 30.11 с 1927 по 2005 гг.

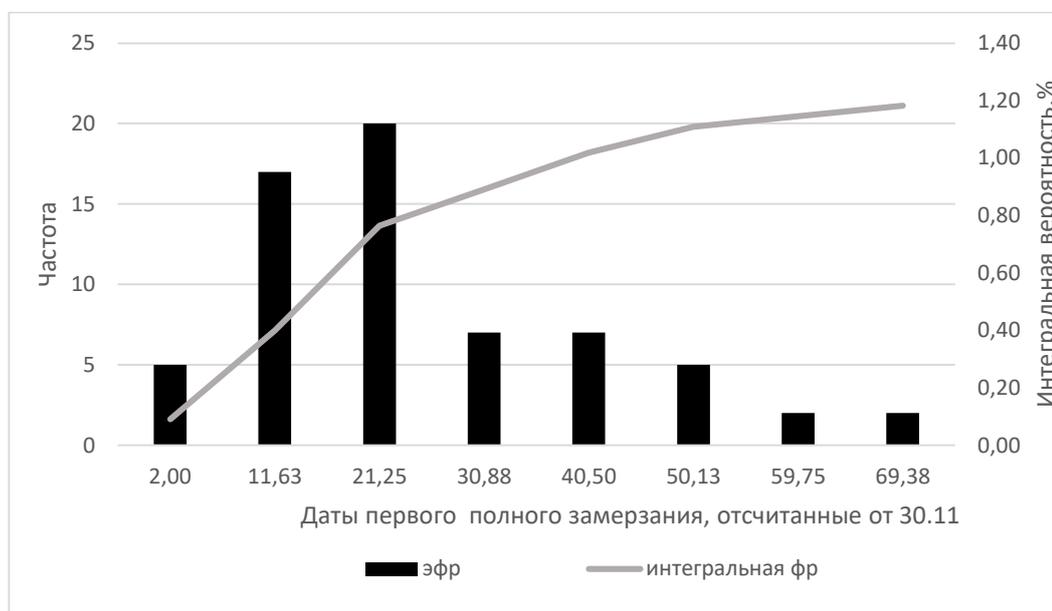


Рис. 21. Эмпирическая функция распределения дат полного замерзания льда, отсчитанных от 30.11 с 1927 по 2005 гг.

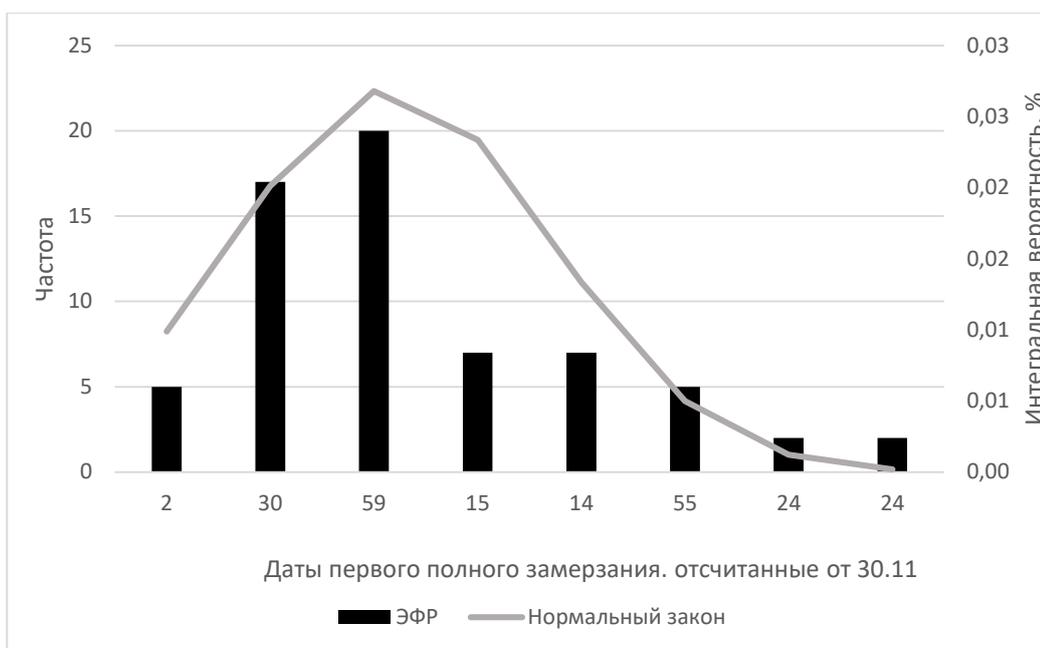


Рис. 22. Эмпирическая функция распределения и соответствующий ей нормальный закон, дат первого полного замерзания, отсчитанных от 30.11 с 1927 по 2005 гг.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что медиана составляет 11,63 сутки, отсчитанные от 30.11. Данное распределение является одномодальным. Мода составляет 21,25 сутки, отсчитанные от 30.11.

Даты первого взлома припая, отсчитанные от 31.03.

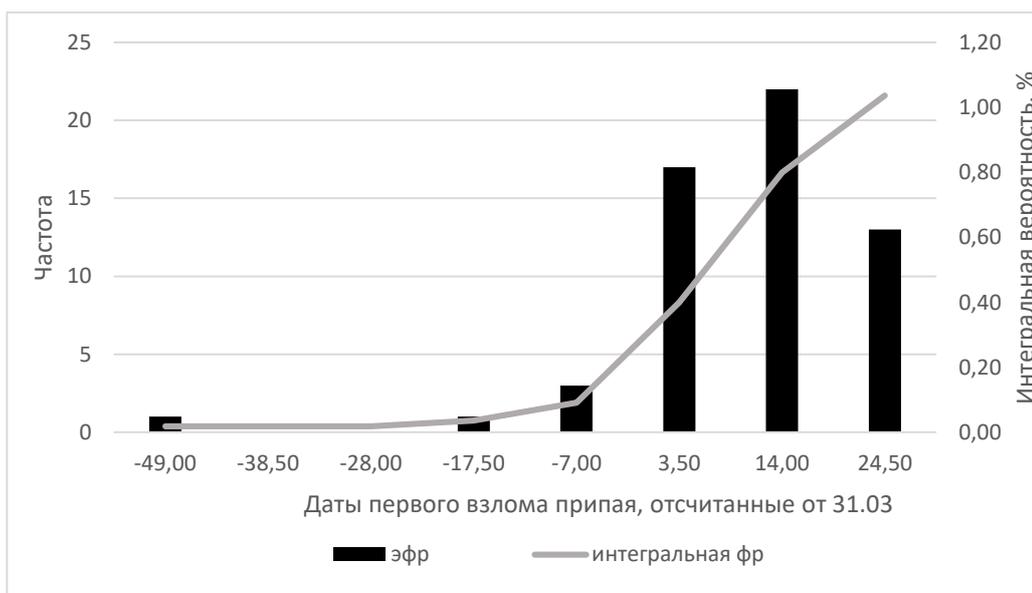


Рис. 23. Эмпирическая функция распределения дат первого взлома припая, отсчитанных от 31.03 с 1950 по 2006 гг.

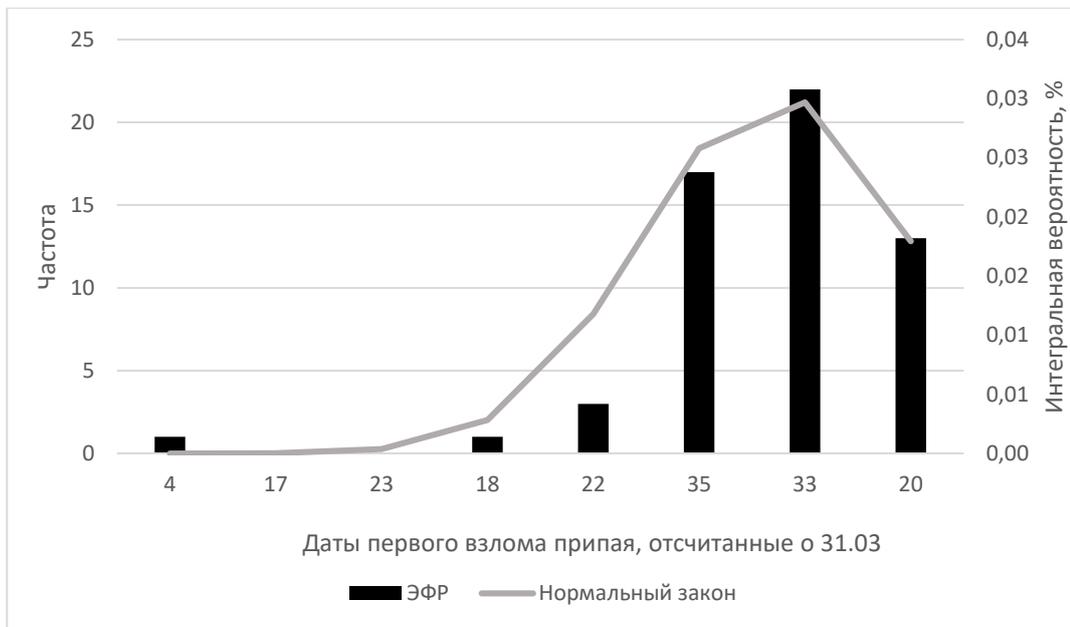


Рис. 24. Эмпирическая функция распределения и соответствующий ей нормальный закон дат первого взлома припая, отсчитанных от 31.03 с 1950 по 2006 гг.

Анализируя полученную ЭФР можно сделать вывод, что медиана составляет 3,5 сутки, отсчитанные от 31.03. Данное распределение является двухмодальным. Первая мода показывает относительно ранние даты первого взлома припая и составляют 49 дней до наступления 31.03. Вторая мода составляет 14 дней и характеризует относительно поздние даты взлома припая, отсчитанные от 31.03.

Даты устойчивого появления льда, отсчитанные от 30.11.

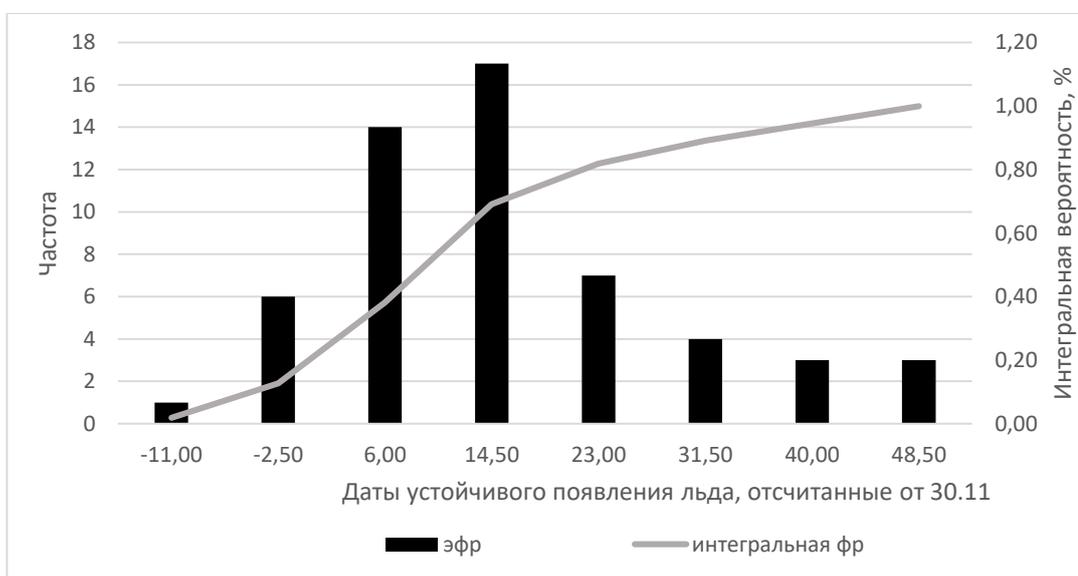


Рис. 25 Эмпирическая функция распределения дат устойчивого появления льда, отсчитанных от 30.11 с 1950 по 2005 гг.

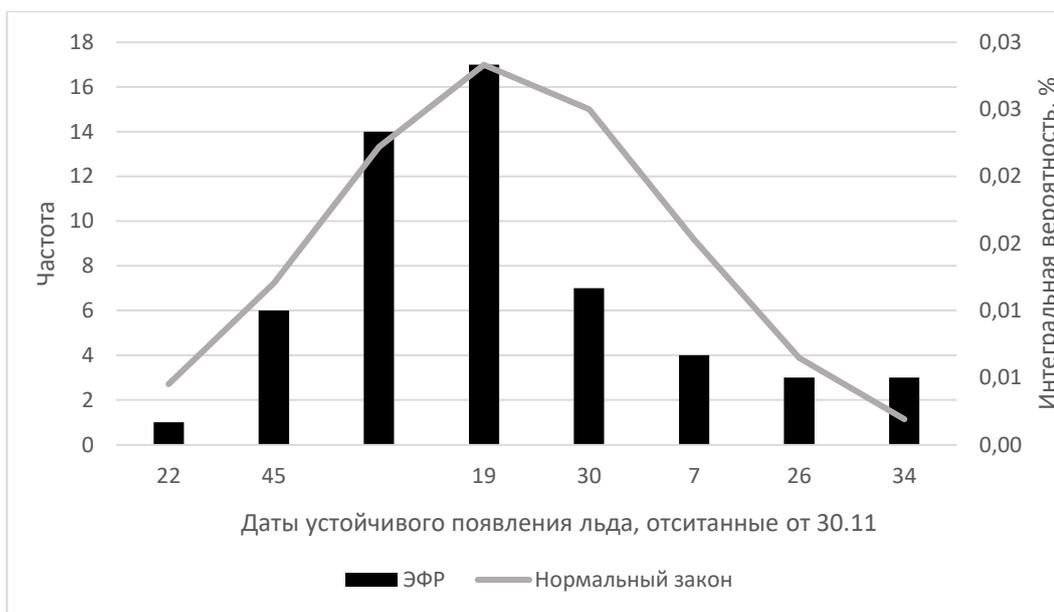


Рис. 26 Эмпирическая функция распределения и соответствующий ей нормальный закон дат устойчивого появления льда, отсчитанных от 30.11 с 1950 по 2005 гг.

Анализируя ЭФР можно сказать, что медиана составляет 10 суток, отсчитанных от 30.11. Данная ЭФР имеет одномодальное распределение. Мода составляет 14,5 сутки, отсчитанные от 30.11.

Также была посчитана асимметрия вышеперечисленных рядов. Данные расчетов занесены в таблицу 8.

	Асимметрия
Даты окончательного очищения ото льда, отсчитанные от 31.03	0,31
Даты окончательного замерзания, отсчитанные от 30.11	0,66
Даты первого появления льда, отсчитанные от 31.10	0,72
Даты первого полного замерзания, отсчитанные от 30.11	0,65
Даты первого взлома припая, отсчитанные от 31.03	-2,4
Даты устойчивого появления льда, отсчитанные от 30.11	0,77

Таблица 8. Рассчитанные значения асимметрии для всех рядов.

Анализируя выше представленную таблицу можно сделать вывод о том, что в данном случае все значения асимметрии меньше 0, а, следовательно, данные ЭФР имеют отрицательный «хвост» и из чего можно сделать вывод, что основная масса наблюдений, в том числе и медиана превышают среднее значение.

3.3 Расчет трендовой составляющей

Для рядов, показывающих определённое количество суток, отсчитанных от определенной даты для каждого из шести природных явлений, были рассчитаны характеристики линейного и нелинейного трендов как линейной регрессии.

В таблице 9 представлены рассчитанные коэффициенты корреляции для каждого из шести рядов.

	Линейный		Нелинейный	
	t*	tkp	t*	tkp
Даты окончательного очищения ото льда, отсчитанные от 31.03	1,08	2,00	1,15	2,00
Даты окончательного замерзания, отсчитанные от 30.11	0,12	2,01	0,15	2,01
Даты первого появления льда, отсчитанные от 31.10	0,00	2,00	0,12	2,00
Даты первого полного замерзания, отсчитанные от 30.11	0,33	2,00	1,12	2,00
Даты первого взлома припая, отсчитанные от 31.03	0,32	2,00	0,51	2,00
Даты устойчивого появления льда, отсчитанные от 30.11	0,00	2,01	0,45	2,01

Анализируя выше представленную таблицу можно сделать вывод, о том, что во всех случаях t* не перевешивает значения tkp, следовательно, данные коэффициенты не значимы.

3.4 Расчет функции спектральной плотности

Из-за отсутствия тренда в рядах данных. Мы вычитаем среднее значение из исходного ряда, тем самым получив ряд отклонений. Далее строим график спектральной плотности функции используя программу «AsapWin».

График спектральной плотности функции для ряда дат окончательного замерзания, отсчитанных от 30.11 представлен на рис. 27.

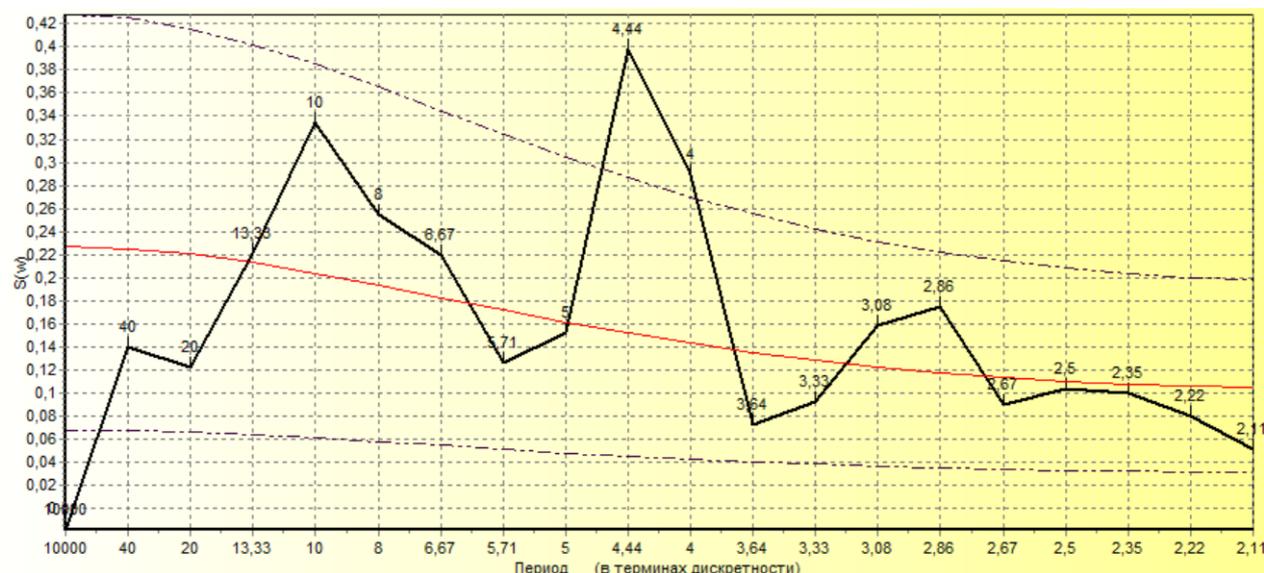


Рис. 27 График спектральной плотности для ряда дат окончательного замерзания, отсчитанных от 30.11

Анализируя полученный график можно сказать о наличии двух ярко выраженных пиков с дискретностью 10 лет и 4,44 года. Данный результат можно связать с определенными температурными аномалиями.

Далее представлен график восстановленных значений исходного ряда отклонений. Рис. 28.

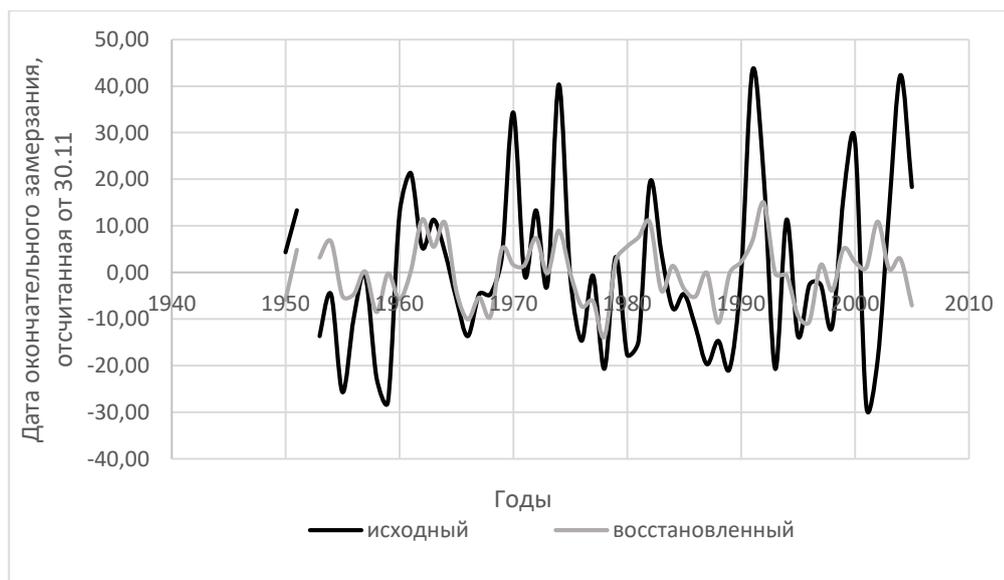


Рис. 28 Ряд исходных и восстановленных значений дат окончательного замерзания, отсчитанных от 30.11

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, о том что восстановленные значения достаточно плохо описывают исходные значения дат окончательного замерзания, отсчитанных от 30.11. Суммарный вклад гармоник в данный ряд составляет 0,33 и следовательно данный ряд сформирован под воздействием многих различных факторов.

График спектральной плотности для дат окончательного очищения ото льда, отсчитанных от 31.03 (рис. 29)

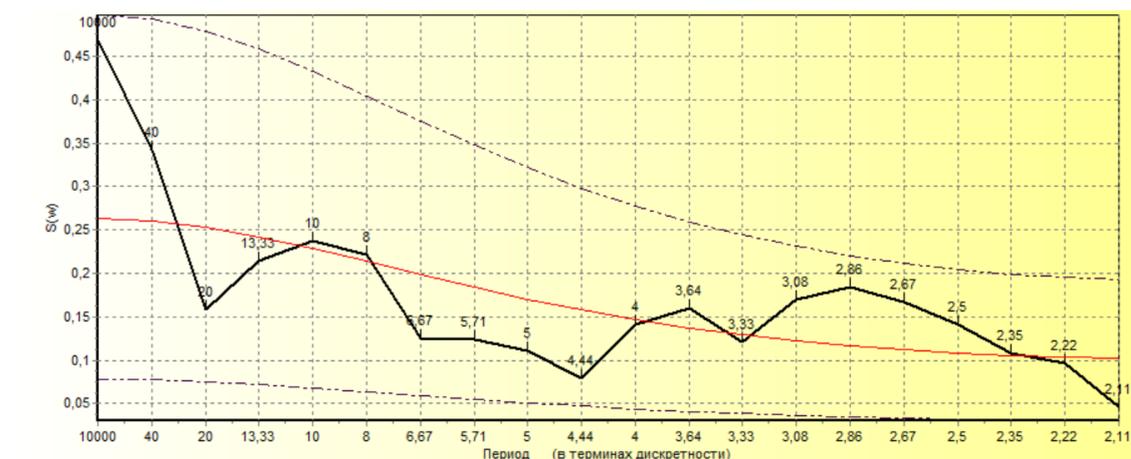


Рис. 29 График спектральной плотности для ряда дат окончательного очищения ото льда, отсчитанных от 31.03

Анализируя данный график можно сделать вывод об отсутствии ярко выраженных пиков периодограммы. Особо выражены пики с периодом 1000, 10 и 2,66 лет. Следовательно, данная характеристика не так сильно подвергалась воздействию климатических аномалий по сравнению с предыдущей.

График исходных и восстановленных значений ряда отклонений (рис. 30).

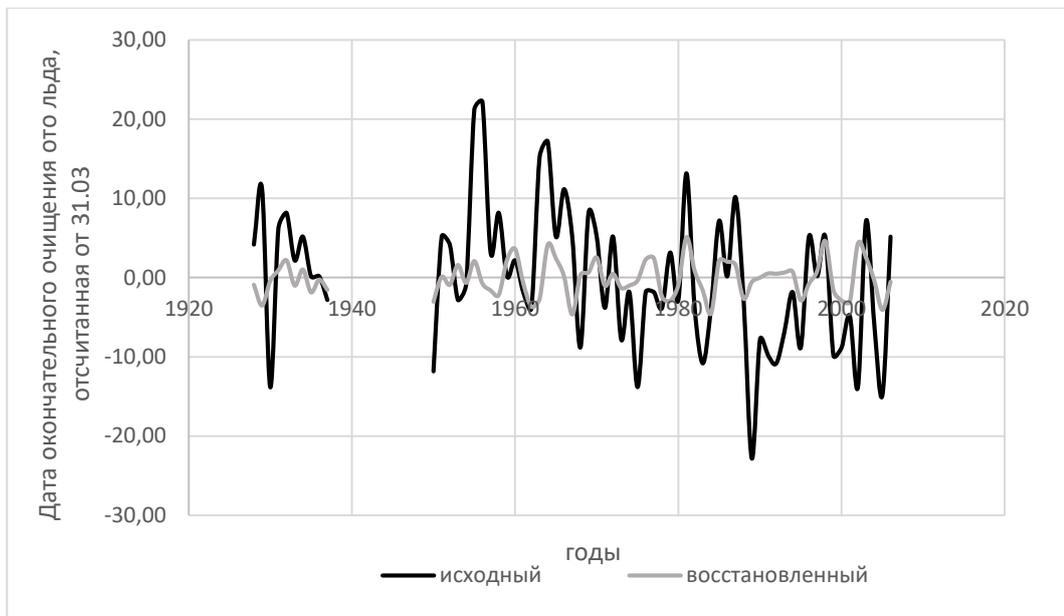


Рис. 30 График исходных и восстановленных значений дат окончательного очищения ото льда, отсчитанных от 31.03

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том на характеристику влияет большое число различных факторов, тк суммарный вклад гармоник в данный ряд незначителен и составляет 0,07, что говорит нам о том что данный ряд не гармонической породы.

График спектральной плотности для дат первого появления льда, отсчитанных от 31.10 (рис. 31)

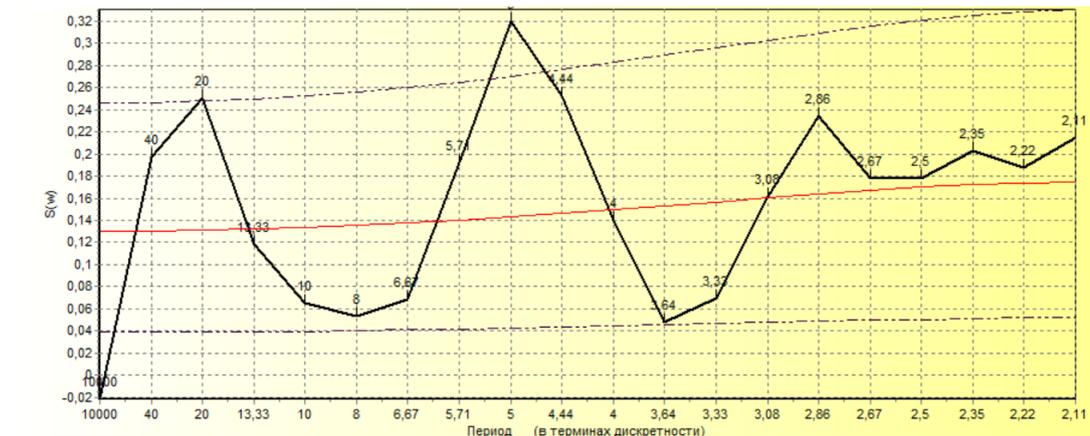


Рис. 31 График спектральной плотности дат первого появления льда, отсчитанных от 31.10.

На данном рисунке мы наблюдаем несколько явно выраженных пиков с периодами в 20, 5 и 2,66 лет. Данные результаты были сформированы под влиянием различных климатических аномалий.

График исходных и восстановленных значений данного ряда отклонений (рис. 32)



Рис. 32 График исходных и восстановленных значений для ряда дат первого полного замерзания.

Глядя на рис. 32 можно сделать вывод о том что описание исходного ряда рядом восстановленных значений достаточно плохо. О чем также говорит и суммарный вклад гармоник в данный ряд составляет 0,14. Это говорит нам о том, что данная характеристика сформировалась под влиянием различных факторов.

График спектральной плотности для дат первого полного замерзания, отсчитанных от 30.11 (Рис. 33)

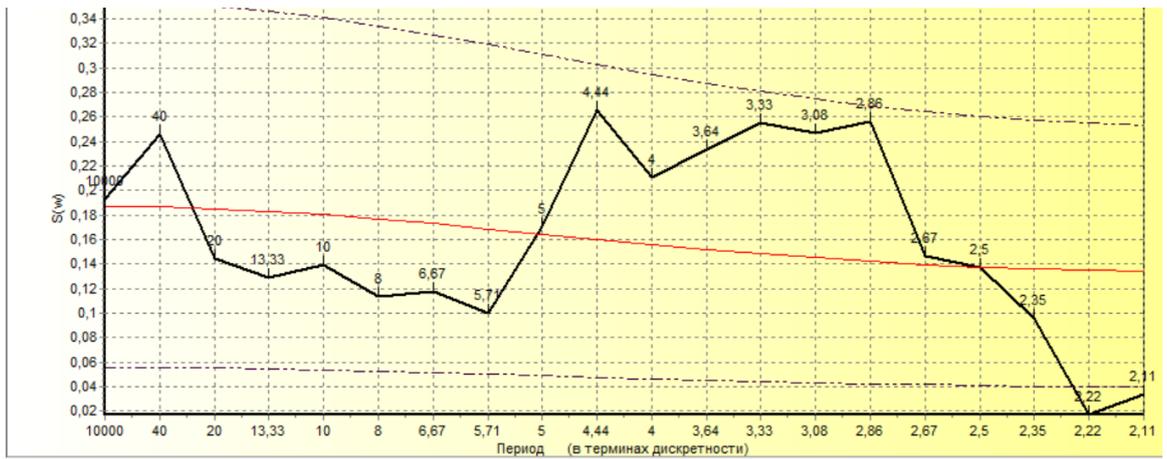


Рис. 33 График спектральной плотности для дат первого полного замерзания, отсчитанных от 30.11.

Глядя на данный график можно заметить наличие пиков с периодами 40, 4,44 и 2,66 лет. Период 2,66 лет повторяется неоднократно, следовательно, наши ряды данных подвергаются определенным климатическим факторам с данной дискретностью.

График исходных и восстановленных значений для данного ряда отклонений (рис. 34)

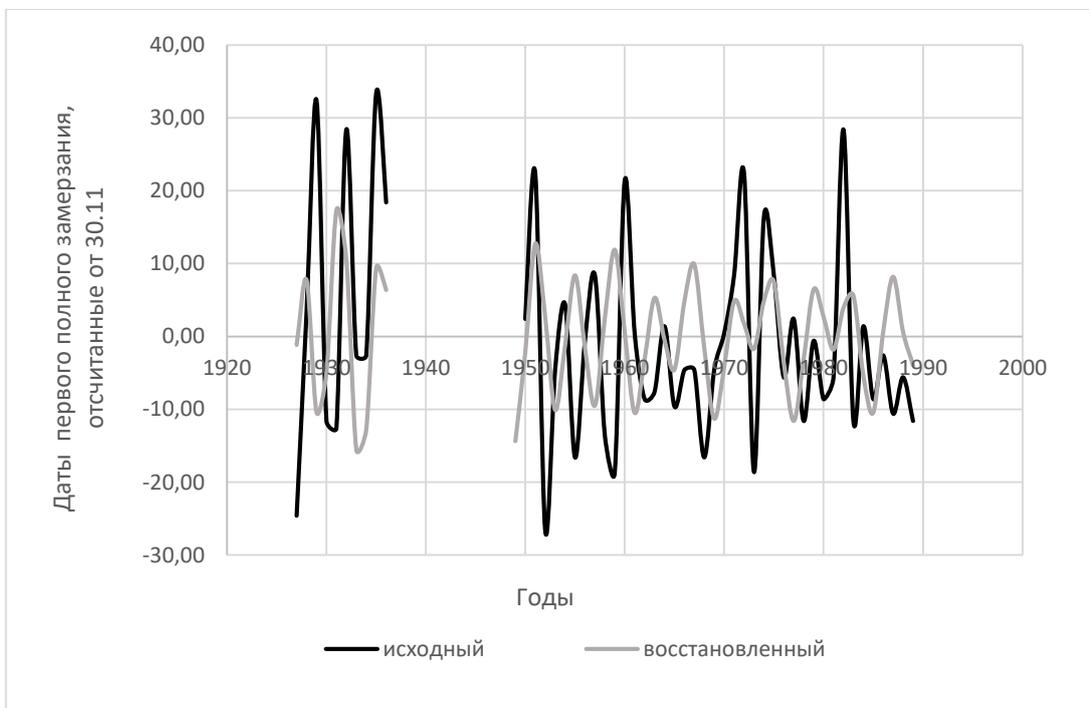


Рис. 34 График исходных и восстановленных значений для ряда дат первого полного замерзания, отсчитанных от 30.11

Анализируя полученный график можно прийти к выводу, что восстановленный ряд значений уже лучше описывает исходный ряд, но все еще недостаточно хорошо, об этом нам и говорит суммарный вклад гармоник в данный ряд, который составляет 0,13. Следовательно данная характеристика тоже подвергается воздействию большого количества внешних факторов.

График спектральной плотности функции для дат первого взлома припая. Отсчитанных от 31.03 (рис. 35)

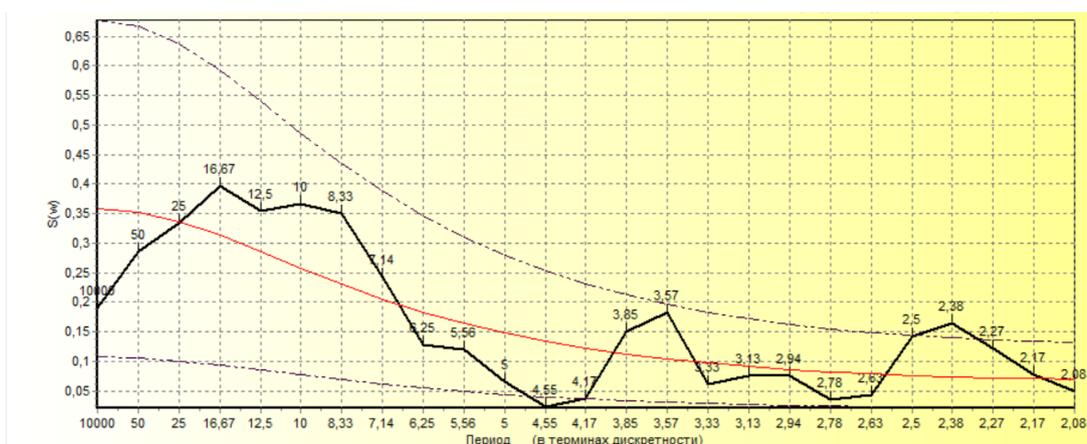


Рис. 35 График спектральной плотности для дат первого взлома припая, отсчитанных от 31.03.

На данном рисунке мы наблюдаем три пика с периодами в 16,67, 3,57 и 2,66 лет. Характеристика, которая наиболее сильно влияет на данное природное явление наблюдается с периодом 16,67 лет.

График исходных и восстановленных значений дат первого взлома припая, отсчитанных от 31.03. (рис. 36)



Рис. 37 График исходных и восстановленных значений дат первого взлома припая, отсчитанных от 31.03.

Анализируя полученный график можно сделать вывод, что восстановленные значения достаточно плохо описывают исходный график и общий вклад гармоник в дисперсию ряда составляет 0,34, что не является высоким значением.

График спектральной плотности для дат устойчивого появления льда отсчитанных от 30.11. (рис. 38)

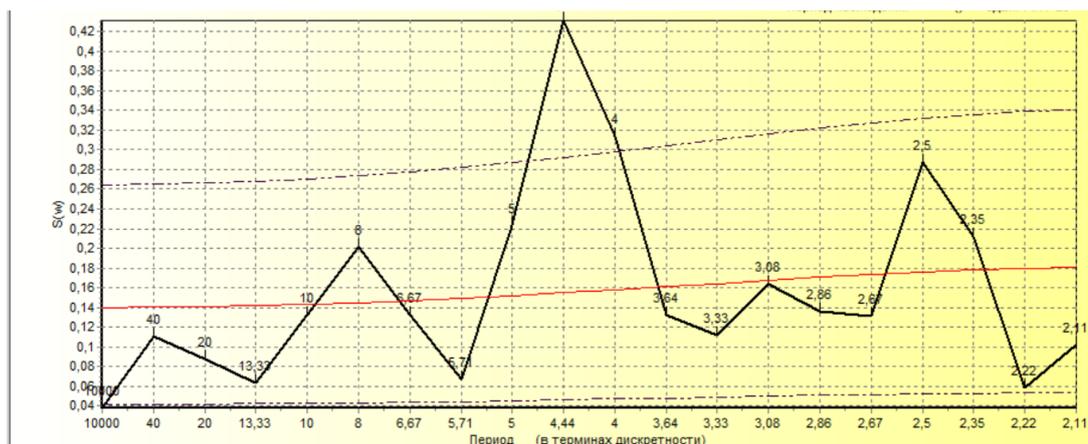


Рис. 38 График спектральной плотности для дат устойчивого появления льда, отсчитанных от 30.11

Анализируя данный график можно отметить наличие нескольких ярко выраженных пиков с периодами в 40, 8, 4, 44, 3, 65 и 2, 5 лет.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что на данную характеристику больше всего влияет фактор, период которого составляет 4,44 лет.

Совмещенный график исходных и восстановленных значений для дат устойчивого появления льда, отсчитанных от 30.11 (рис. 39)

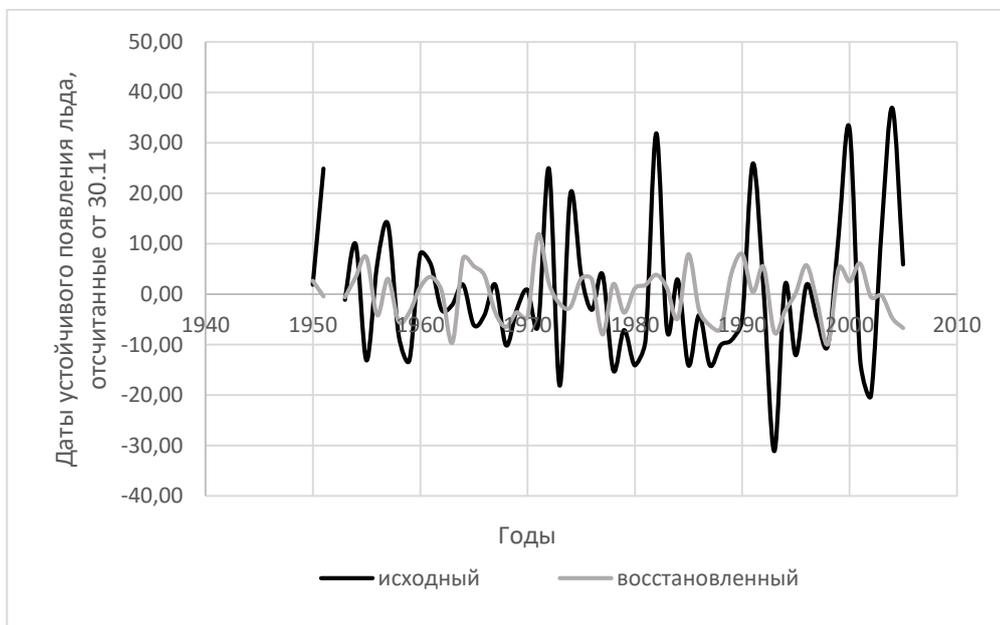


Рис. 39 Совмещенный график исходных и восстановленных значений для дат устойчивого появления льда, отсчитанных от 30.11

Анализируя данный график также можно прийти к выводу, что восстановленный ряд плохо описывает ряд исходных значений. Суммарный вклад гармоник составляет 0,13, что достаточно мало. Следовательно, наша характеристика подвергается влиянию на нее различных факторов.

3.5 Автокорреляционная функция

Удалив из исходного ряда среднее значение и сумму гармоник, мы получили ряд, состоящий из нециклических колебаний и шума, который подвергли автокорреляции. И так поступили с каждым из шести рядов данных.

Для ряда дат окончательного замерзания, отсчитанных от 30.11 рассчитали автокорреляцию и уровни значимости, построим график (рис. 40)

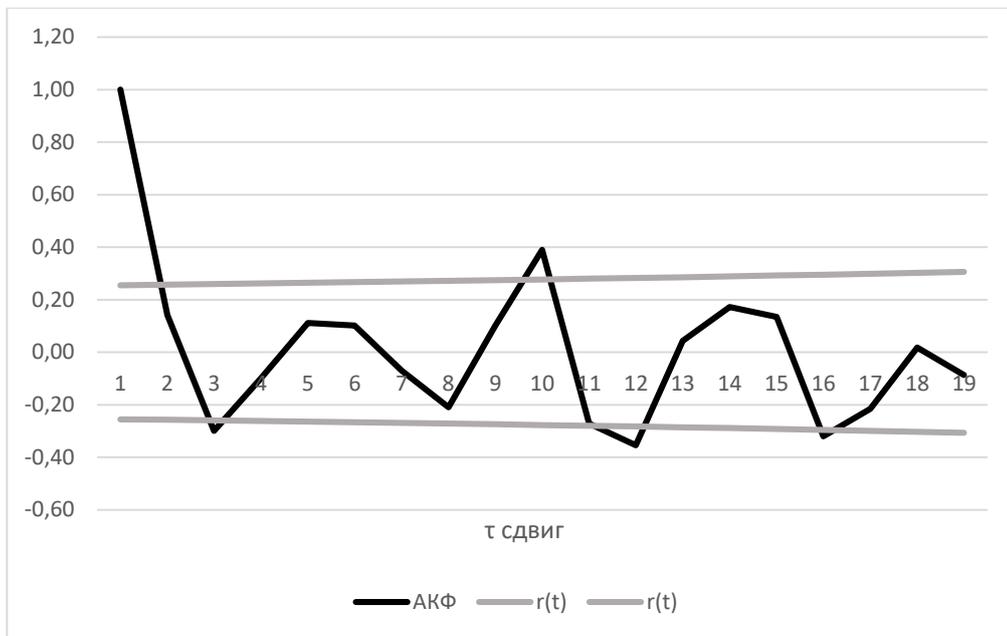


Рис. 40 Автокорреляционная функция ряда дат окончательного замерзания, отсчитанных от 30.11

Анализ АКФ

1. Инерционность процесса.

Данный параметр определяется по радиусу корреляции (τ^2 кор), который в данном случае составляет 2 года. Следовательно, можно сделать вывод о том, что процесс является малоинерционным.

2. Периодичность процесса.

Можно сделать вывод о наличии одного локального максимума, характеризующего в исследуемом процессе наличие колебания с периодом в 10 лет.

3. Тип процесса.

Циклические колебания.

Данная АКФ не представляет собой белый шум, что технически позволяет сделать прогноз. Т.к. значимые коэффициенты автокорреляции отмечаются на сдвигах отличных от нуля.

Проверка качества модели.

1. Адекватность по Фишеру

Сформируем нулевую гипотезу: $H_0: D_y = D_\varepsilon$, альтернативную $H_0: D_y \neq D_\varepsilon$. Найдем значения F^* и $F_{кр}$ и сравним их. По критерию Фишера: $F^* < F_{кр}$ ($0,49 < 4,03$), следовательно, модель не адекватна по критерию Фишера.

2. Стандартная ошибка модели

Стандартная ошибка независимого прогноза составляет $\sigma_\varepsilon = 16,54^\circ\text{C}$, стандартное отклонение зависимой выборки составляет $\sigma_{OKZ} = 16,47^\circ\text{C}$; $16,54 < 16,47$, следовательно, внутренняя структура изменчивости характеристики изменяется со временем и модель нельзя использовать для прогноза.

Для ряда дат окончательного очищения ото льда, отсчитанных от 31.03 была рассчитана автокорреляция и уровни значимости (Рис.41)

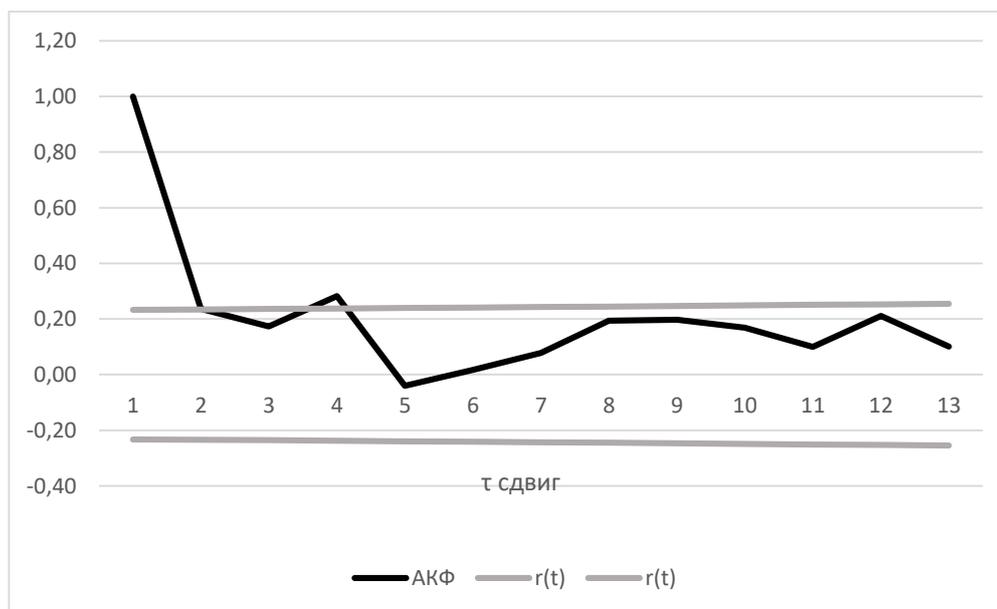


Рис. 41 Автокорреляционная функция ряда дат окончательного очищения ото льда, отсчитанных от 31.03

Анализ АКФ

1. Инерционность процесса.

Данный параметр определяется по радиусу корреляции (τ^2 кор), который в данном случае составляет 2 года. Следовательно, можно сделать вывод о том, что процесс является малоинерционным.

2. Периодичность процесса.

Можно сделать вывод о наличии одного локального максимума, характеризующего в исследуемом процессе наличие колебания с периодом в 4 года.

3. Тип процесса.

Циклические колебания

Данная АКФ не представляет собой белый шум, что технически позволяет

сделать прогноз. Т.к. значимые коэффициенты автокорреляции отмечаются на сдвигах отличных от нуля.

Проверка качества модели.

1. Адекватность по Фишеру

Сформируем нулевую гипотезу: $H_0: D_y = D_\varepsilon$, альтернативную $H_0: D_y \neq D_\varepsilon$. Найдем значения F^* и $F_{кр}$ и сравним их. По критерию Фишера: $F^* < F_{кр}$ ($0,1 < 4,0$), следовательно, модель не адекватна по критерию Фишера.

2. Стандартная ошибка модели

Стандартная ошибка независимого прогноза составляет $\sigma_\varepsilon = 8,36^\circ\text{C}$, стандартное отклонение зависимой выборки составляет $\sigma_{OOL} = 8,30^\circ\text{C}$; $8,30 > 8,36$, следовательно, внутренняя структура изменчивости характеристики изменяется со временем и модель нельзя использовать для прогноза.

Для ряда дат первого появления льда, отсчитанных от 31.10 была рассчитана автокорреляция и уровни значимости (Рис.42)

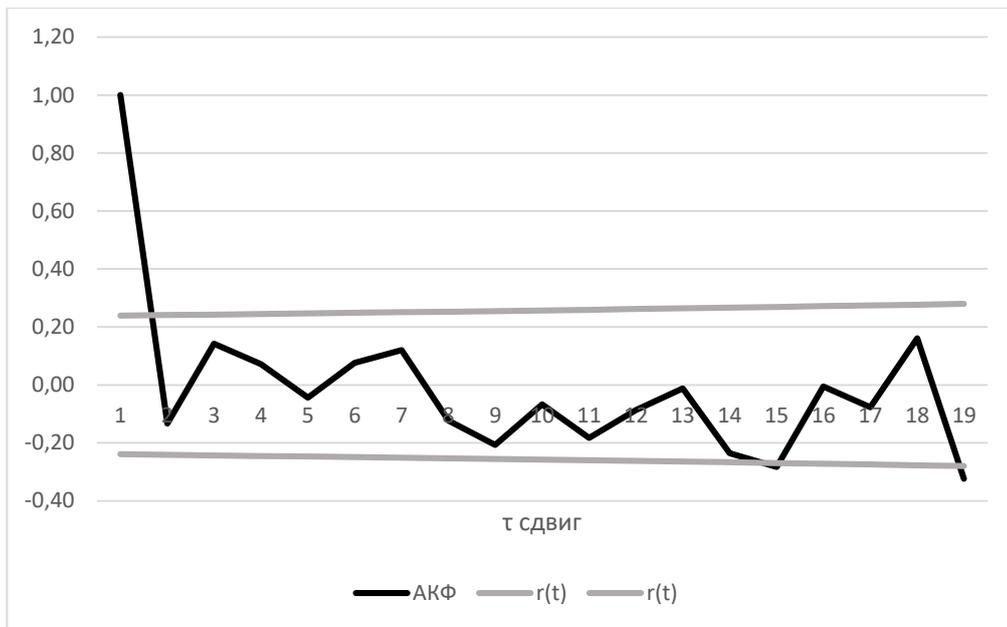


Рис. 42 Автокорреляционная функция ряда дат окончательного очищения ото льда, отсчитанных от 31.03

Анализ АКФ

1. Инерционность процесса.

Данный параметр определяется по радиусу корреляции (τ^2 кор), который в данном случае составляет 1,9 лет. Следовательно, можно сделать вывод о том, что процесс является малоинерционным.

2. Периодичность процесса.

На рис. 42 нет значимых локальных максимумов

3. Тип процесса.

Циклические колебания и «белый шум»

АКФ представляет собой «белый шум». Следовательно, технически нельзя сделать автопрогноз. Но у нас имеется значимый коэффициент корреляции на пятнадцатом сдвиге. Тогда заблаговременность автопрогноза определится, как сдвиг, при котором коэффициент автокорреляции значим, в данном случае для среднемесячных сдвиг составляет 15, автопогноз будем делать на 15 лет.

Проверка качества модели.

1. Адекватность по Фишеру

Сформируем нулевую гипотезу: $H_0: D_y = D_\varepsilon$, альтернативную $H_0: D_y \neq D_\varepsilon$. Найдем значения F^* и $F_{кр}$ и сравним их. По критерию Фишера: $F^* < F_{кр}$ ($0,001 < 4,05$), следовательно, модель не адекватна по критерию Фишера.

2. Стандартная ошибка модели

Стандартная ошибка независимого прогноза составляет $\sigma_\varepsilon = 13,48^\circ\text{C}$, стандартное отклонение зависимой выборки составляет $\sigma_{OOL} = 13,34^\circ\text{C}$; $13,48 > 13,34$, следовательно, внутренняя структура изменчивости характеристики изменяется со временем и модель нельзя использовать для прогноза.

Для ряда дат первого взлома припая, отсчитанных от 31.10 была рассчитана автокорреляция и уровни значимости (Рис.43)

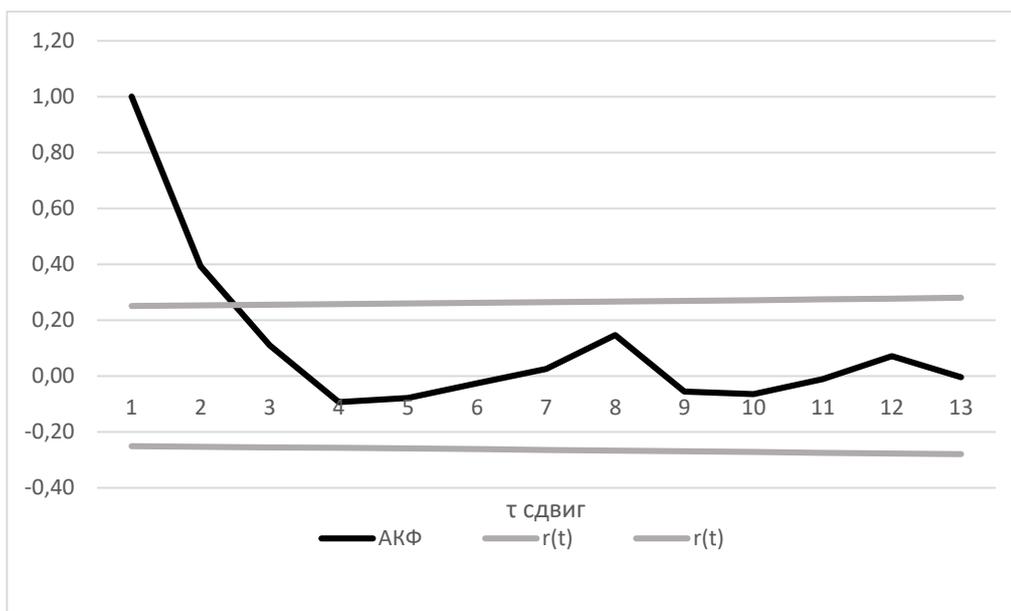


Рис. 43 Автокорреляционная функция ряда дат первого взлома припая, отсчитанных от 30.11

Данный график представляет собой «белый шум», а, следовательно, мы не можем сделать прогноз.

Для ряда дат первого полного замерзания, отсчитанных от 31.03 была рассчитана автокорреляция и уровни значимости (Рис.44)

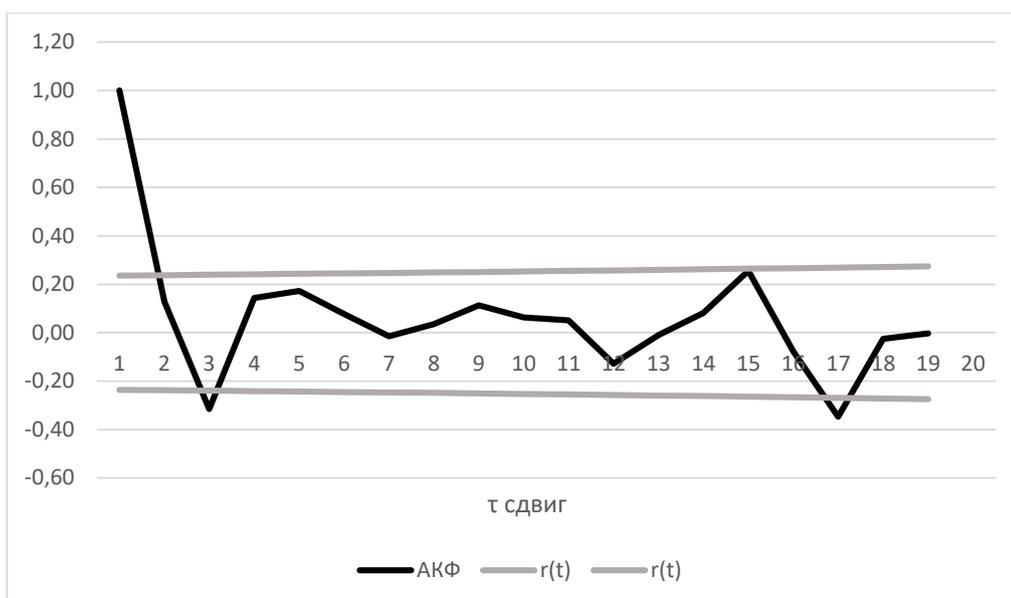


Рис. 44 Автокорреляционная функция ряда дат первого полного замерзания, отсчитанных от 31.03

Анализ АКФ

1. Инерционность процесса.

Данный параметр определяется по радиусу корреляции (τ^2 кор), который в данном случае составляет 2 года. Следовательно, можно сделать вывод о том, что процесс является малоинерционным.

2. Периодичность процесса.

На рис. 44 нет значимых локальных максимумов

3. Тип процесса.

Циклические колебания и «белый шум».

АКФ представляет собой «белый шум». Следовательно, технически нельзя сделать автопрогноз. Но у нас имеется значимый коэффициент корреляции на третьем сдвиге. Тогда заблаговременность автопрогноза определится, как сдвиг, при котором коэффициент автокорреляции значим, в данном случае для среднемесячных сдвиг составляет 3, автопогноз будем делать на 3 года.

Далее с помощью пакета «Анализ данных» и модуля «Регрессия» была рассчитаны параметры и коэффициенты регрессии, по которым будет проводиться оценка качества модели.

Проверка качества модели.

1. Адекватность по Фишеру

Сформируем нулевую гипотезу: $H_0: D_y = D_\varepsilon$, альтернативную $H_0: D_y \neq D_\varepsilon$. Найдем значения F^* и $F_{кр}$ и сравним их. По критерию Фишера: $F^* < F_{кр}$ ($1,25 < 4,00$), следовательно, модель не адекватна по критерию Фишера.

2. Стандартная ошибка модели

Стандартная ошибка независимого прогноза составляет $\sigma_\varepsilon = 17,84$, стандартное отклонение зависимой выборки составляет $\sigma_{OOL} = 17,88$; $17,84 < 17,88$, следовательно, внутренняя структура изменчивости характеристики не меняется со временем и модель можно использовать для прогноза.

3. Проверка на значимость коэффициентов регрессии.

Сформулируем нулевую гипотезу: $H_0 = a$, $H_0 = b$ и альтернативную $H_1 \neq a$, $H_1 \neq b$. Найдем значения $at^*(-1,11)$, $bt^*(0,12)$ и $t_{кр}(2,0)$ и сравним их.

$-1,11 < 2,0$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается и коэффициент регрессии не значим.

$4,7 > 2,0$, следовательно, мы применяем нулевую гипотезу и коэффициент регрессии значим.

4. Коэффициент детерминации равен $0,02$ ($0,02 < 0,70$). Значит независимых переменных недостаточно для описания дисперсии исходного ряда, следовательно, автопрогноз можно считать не очень хорошим.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что модель не должна хорошо описывать исходный ряд.

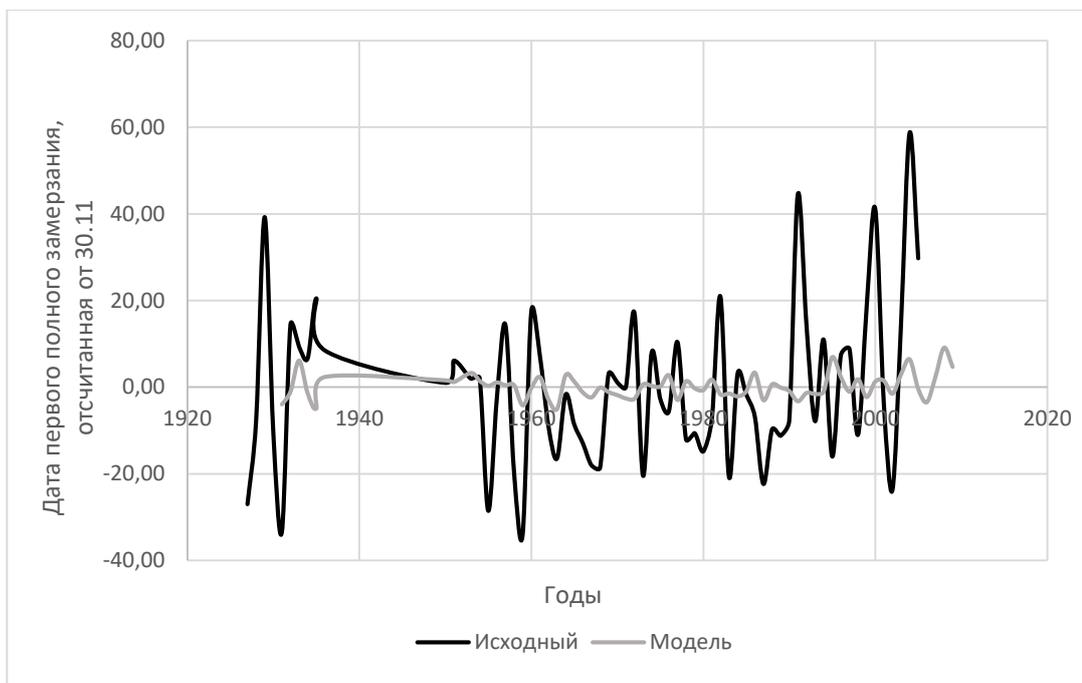


Рис. 45 Ряд фактических значений и модель

Но несмотря на это у нас есть возможность сделать прогноз дат первого полного замерзания, отсчитанных от 30.11 с заблаговременностью 3 года. (Рис. 46)



Рис. 46 Совмещенный график восстановленных и фактических значений дат первого полного замерзания. Отсчитанных от 30.11

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что восстановленные значения достаточно хорошо описывают исходный ряд.

Для ряда дат устойчивого появления льда, отсчитанных от 30.11 была рассчитана автокорреляция и уровни значимости (Рис.47)

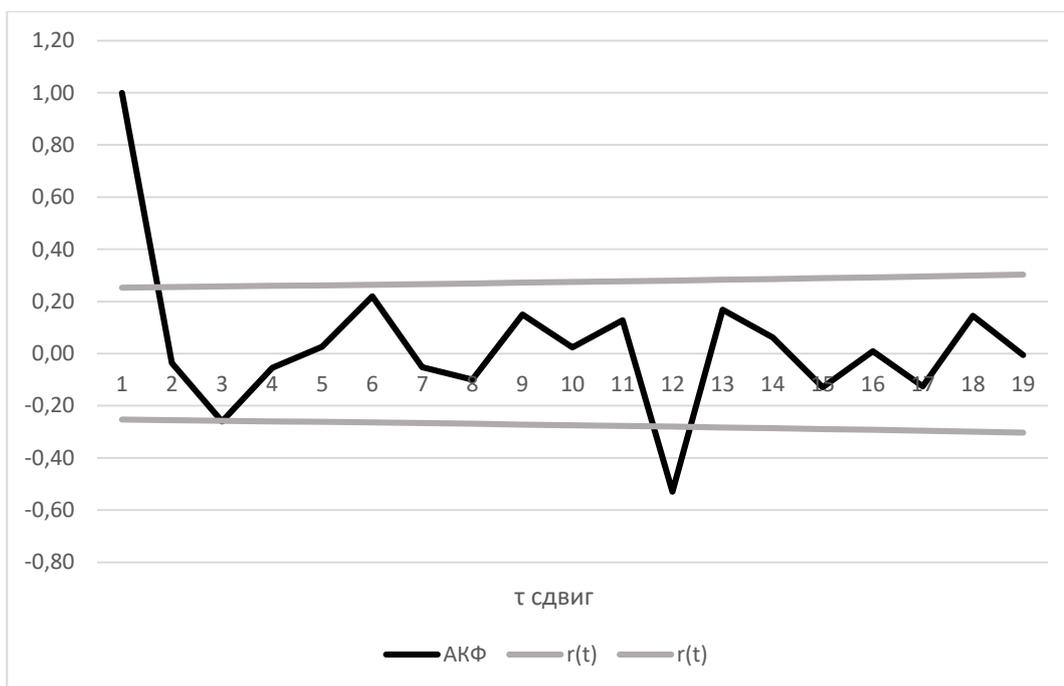


Рис. 47 Автокорреляционная функция ряда дат устойчивого появления льда, отсчитанных от 31.03

Анализ АКФ

4. Инерционность процесса.

Данный параметр определяется по радиусу корреляции (τ^2 кор), который в данном случае составляет 1,8 лет. Следовательно, можно сделать вывод о том, что процесс является малоинерционным.

5. Периодичность процесса.

На рис. 47 нет значимых локальных максимумов

6. Тип процесса.

Циклические колебания и «белый шум».

АКФ представляет собой «белый шум». Следовательно, технически нельзя сделать автопрогноз. Но у нас имеется значимый коэффициент корреляции на третьем сдвиге. Тогда заблаговременность автопрогноза определится, как сдвиг, при котором коэффициент автокорреляции значим, в данном случае для среднемесячных сдвиг составляет 12, автопогноз будем делать на 12 лет.

Далее с помощью пакета «Анализ данных» и модуля «Регрессия» была рассчитаны параметры и коэффициенты регрессии, по которым будет проводиться оценка качества модели.

Проверка качества модели.

1. Адекватность по Фишеру

Сформируем нулевую гипотезу: $H_0: D_y = D_\varepsilon$, альтернативную $H_1: D_y \neq D_\varepsilon$. Найдем значения F^* и $F_{кр}$ и сравним их. По критерию Фишера: $F^* < F_{кр}$ ($0,28 < 4,08$), следовательно, модель не адекватна по критерию Фишера.

2. Стандартная ошибка модели

Стандартная ошибка независимого прогноза составляет $\sigma_\varepsilon = 14,27$, стандартное отклонение зависимой выборки составляет $\sigma_{OOL} = 14,30$; $14,27 < 14,30$, следовательно, внутренняя структура изменчивости характеристики не меняется со временем и модель можно использовать для прогноза.

3. Проверка на значимость коэффициентов регрессии.

Сформулируем нулевую гипотезу: $H_0 = a$, $H_0 = b$ и альтернативную $H_1 \neq a$, $H_1 \neq b$. Найдем значения $t_{a^*}(1,09)$, $t_{b^*}(3,97)$ и $t_{кр}(2,02)$ и сравним их.

$1,09 < 2,02$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается и коэффициент регрессии не значим.

$3,97 > 2,02$, следовательно, мы применяем нулевую гипотезу и коэффициент регрессии значим.

4. Коэффициент детерминации равен $0,004$ ($0,004 < 0,70$). Значит независимых переменных недостаточно для описания дисперсии исходного ряда, следовательно, автопрогноз можно считать не очень хорошим.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что модель не должна хорошо описывать исходный ряд.

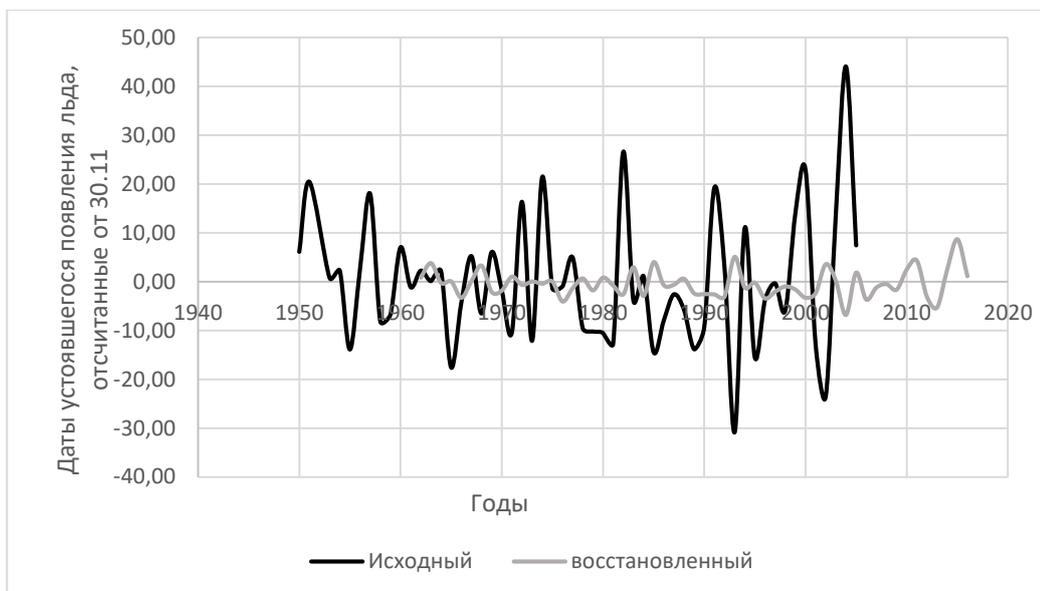


Рис. 48 Ряд фактических значений и модель

Но несмотря на это у нас есть возможность сделать прогноз дат первого полного замерзания, отсчитанных от 30.11 с заблаговременностью 12 лет. (Рис. 49)



Рис. 49 Совмещенный график восстановленных и фактических значений дат первого устоявшегося появления льда, отсчитанных от 30.11

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что восстановленные значения хорошо описывают исходный ряд.

3.6 Выводы к главе.

Что данные ряды характеристик сформированы под воздействием большого числа различных факторов. Данные ряды не гармонические об этом

говорит плохое описание исходного ряда суммой гармоник. Также для всех рядов у нас отсутствует тренд. Это говорит о том, что нет какой-то одной причины определяющей климат в данном регионе. Подвергая ряды автокорреляции у нас получилось сделать прогноз только для дат первого полного замерзания с заблаговременностью 3 года и дат устойчивого появления льда с заблаговременностью 12 лет. Данные модели не должны хорошо описывать исходный ряд, но достаточно хорошо его описывают.

Заключение

В данной ВКР проводились расчеты и описание ледовых фаз на Финском заливе в районе г. Приморск. Финский залив является самым большим заливом Балтийского моря, и очень интересный объект для изучения. Получение данных о ледяной обстановке на Финском заливе является очень важным параметром, т.к. здесь находится крупный морской порт, и данная информация является необходимой для прохождения морских судов.

Данные о ледовой обстановке на Финском заливе были статистически обработаны. Полученные результаты были проанализированы и можно прийти к следующим выводам.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что рассматриваемый физический процесс формируется под большим воздействием различных факторов из-за, что объясняется географическим положением Финского залива, из-за этого статистический анализ данных не всегда можно считать достаточно корректным. Данные ряды не гармонические об этом говорит плохое описание исходного ряда суммой гармоник. Также наблюдается отсутствие трендовой компоненты для всех 6 рядов значений. Подвергая данные ряды автокорреляции можно сделать вывод что спрогнозировать получилось даты первого полного замерзания с заблаговременностью 3 года и даты устойчивого появления льда с заблаговременностью 12 лет. Данные модели не должны хорошо описывать исходный ряд, но исходя из рисунков 46 и 49, данные модели хорошо его описывают.

Список использованной литературы

1. Большая Российская энциклопедия: сайт. – 2019. – URL: <https://bigenc.ru/> (дата обращения 23.03.2022).
2. Мировой океан: сайт. – 2022. – URL: <https://global-ocean.ru/> (дата обращения 23.03.2022)
3. Studbooks.net: сайт. – 2022. URL: <https://studbooks.net/> (дата обращения 23.03.2022)
4. П. В. Солощук Изменение климата и ледовых условий водной системы Финский залив – невская губа – река Нева в осенне-зимний период за последние 15 лет / П. В. Солощук// Гидрология. - 2013. – С. 34 -35.
5. Studbooks.net: сайт – 2022. URL: <https://studbooks.net/> (дата обращения 30.03.2022)
6. Росгидромет. Северо-западное УГМС: сайт. – 2007 – 2022. URL: <http://www.meteo.nw.ru/> (дата обращения 15.04.2022)
7. А. Л. Потанина. Антропогенное влияние на формирование рельефа в восточной части Финского залива.: диссертация // Потанина Алена Леонидовна. – Санкт-Петербург 2019 с. 5
8. Библиофонд.: сайт – 2022. URL: <https://www.bibliofond.ru/start/>
9. Лукьянов С. В. Отчет о научно – исследовательской работе развитие проекта «ТЭО берегоукрепления восточной части Финского залива». Исследование гидрологического режима в прибрежной зоне курортного района Санкт-Петербурга // С. В. Лукьянов. 2006 С. 32
10. Нежиховский Р.А. Река Нева и Невская губа -Л.: Гидрометеиздат, - 1981, -112с
11. Гордеева С. М. Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации // С. М. Гордеева. – Санкт-Петербург 2017