



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра ЮНЕСКО МОК и КУПЗ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Изменчивость характеристик климата Черного моря**

Исполнитель Ефимова Дарья Артуровна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор географических наук
(ученая степень, ученое звание)

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)

« ____ » _____ 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Введение.....	3
1 Физико-географическое описание района исследования	4
1.1 Географические особенности.....	4
1.2 Температура воздуха и осадки.....	5
1.3 Ветер.....	8
1.4 Цунами	8
1.5 Тепловой баланс	8
1.6 Радиационный баланс	9
1.7 Водный баланс.....	10
1.8 Температура воды	11
1.9 Ледовые условия	12
1.10 Циркуляция и колебания уровня моря.....	13
1.11 Атмосферная циркуляция.	14
1.12 Выводы по главе.....	15
2 Описание статистических методов исследования	16
2.1 Первичная статистика.....	16
2.2 Тренд временного ряда.....	16
2.3 Гармонический анализ.....	17
2.4 Выводы по главе.....	18
3 Анализ ряда среднегодовой температуры воздуха, температуры поверхности и радиационного баланса Черного моря в период с 1980 по 2021 год, в точке (33,75 в.д. 42,8 с.ш.)	19
3.1 Температура воздуха.....	19
3.1.1 Первичные статистики.....	19
3.1.2 Тренд временного ряда.....	20
3.1.3 Гармонический анализ.....	23
3.2 Температура поверхности моря.....	25
3.2.1 Первичные статистики.....	25
3.2.2 Тренд временного ряда.....	26
3.2.3 Гармонический анализ.....	29
3.3 Радиационный баланс	32
3.3.1 Первичные статистики.....	32
3.3.2 Тренд временного ряда.....	33

3.3.3 Гармонический анализ.....	36
3.4 Выводы по главе.....	39
4 Анализ ряда среднегодовой температуры воздуха, температуры воды и радиационного баланса Черного моря в период с 1980 по 2021 год. В точке (31,37 в.д. 45,6 с.ш.).	41
4.1 Температура воздуха.....	41
4.1.1 Первичные статистики.....	41
4.1.2 Тренд временного ряда.....	42
4.1.3 Гармонический анализ.....	45
4.2 Температура поверхности Черного моря	47
4.2.1. Первичные статистики	47
4.2.2 Тренд временного ряда.....	48
4.2.3 Гармонический анализ.....	51
4.3 Радиационный баланс	53
4.3.1 Первичные статистики.....	53
4.3.2 Тренд временного ряда.....	55
4.3.3 Гармонический анализ.....	57
4.4 Выводы по главе.....	60
Заключение	62
Список используемой литературы	63
Приложение 1	65
Приложение 2	75

Введение

Актуальность исследования. Черное море является одним из важнейших водных объектов РФ. Изучение и прогнозирование изменчивости его характеристик необходимо не только для океанологического обеспечения торговых, промысловых и военных судов, а также для прогнозирования опасных явлений, которые могут происходить в акватории Черного моря.

Целью исследования является статистический анализ температуры воздуха, поверхности моря и радиационного баланса в 2 точках черного моря, а именно (33,75 в.д. 42,8 с.ш.); (31,37 в.д. 45,6 с.ш.).

Задачи, поставленные в работе:

1. Описать объект исследования;
2. Подготовить исходные данные;
3. Проанализировать исходные данные;

Для осуществления поставленных задач было использовано ПО, а именно:

- «Пакет анализа» MS Excel;
- RAST4.

Исходные данные, а именно: статистические ряды температуры воздуха, поверхности и радиационного баланса с 1980 по 2021 год, дискретность 1 год. Данные были взяты с сайта columbia.edu [12].

1 Физико-географическое описание района исследования

1.1 Географические особенности

Черное море - это внутреннее море, а из моря бассейна Атлантического океана-самое восточное. На северо-востоке он сливается с Азовским морем через Керченский пролив и на юго-западе с Мраморным морем через пролив Босфор. Бассейн Черного моря расположен на границе Европейского и Азиатского континентов между юго-восточной частью Европы, Кавказом и полуостровом Малая Азия.

Географические границы Черного моря ограничены конечными точками в виде: на юге $40^{\circ}54'$ с.ш. (у г. Гиресун и г. Сюрмене, Турция), на западе $27^{\circ} 27'$ в.д. (Бургасский залив), на севере $46^{\circ} 38'$ с.ш. (вход в Березанский лиман), на востоке $41^{\circ}47'$ в.д. (у г.Кобулет, Грузия).

Наибольшая длина моря в направлении широты от вершины Бургасского залива до Кобулет в поясе $42^{\circ}29' - 41^{\circ}51'$ с.ш. составляет 1180 км.

В Черном море нет больших островов. Наиболее примечательным является о.Змеиный, расположенный в 35 км от края дельты Дуная. Самыми маленькими по размеру являются О. Березан и О. Кефкен. Извилистость берега Черного моря, является незначительной. Крымский полуостров и Северный ответвление Анатолийского полуострова между Эрегли и Гиресун являются наиболее влиятельными наземными объектами, влияющими на всю циркуляцию моря.

Черное море - одно из самых больших и глубоких внутренних морей. Максимальная глубина моря по разным источникам, исходя из данных эхолотационного измерения, находится в диапазоне 2210-2258 м. В рельефе дна Черного моря четко выделяются три основные формы: шельф, континентальный склон и глубоководный бассейн.

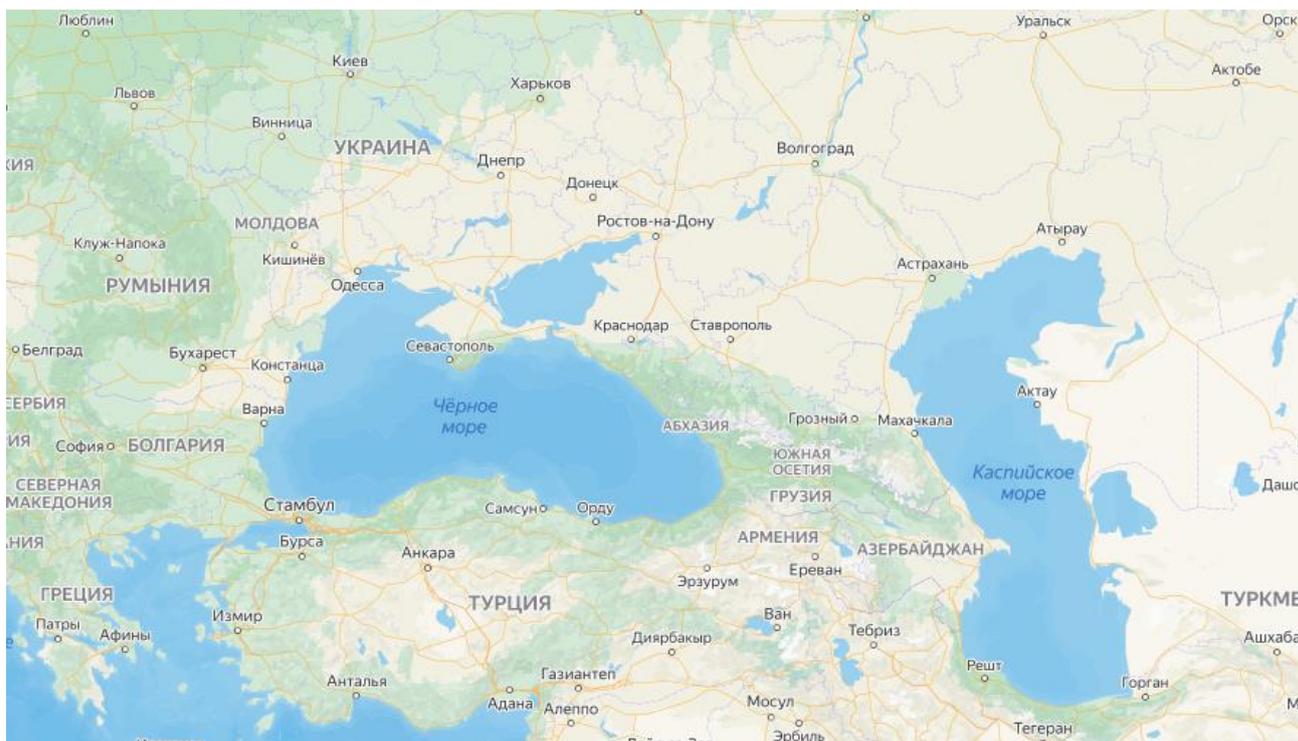


Рисунок 1. Расположение Черного моря.

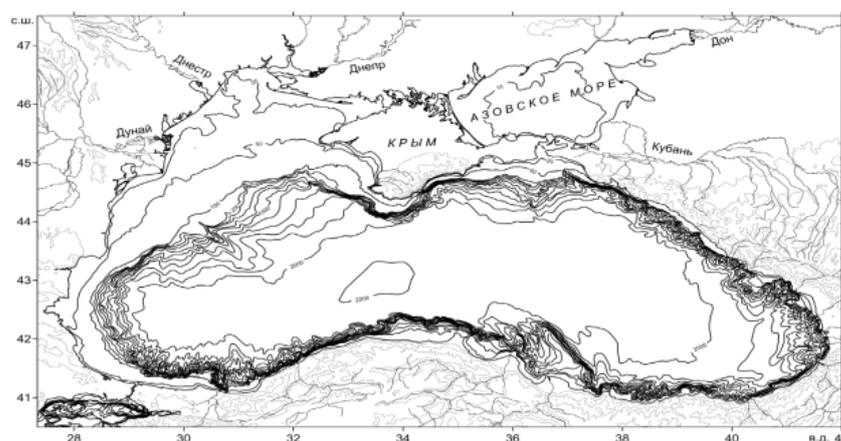


Рисунок 2. Карта рельефа дна Черного моря по материалам Международной батиметрической карты Средиземного моря (ИВСМ).

1.2 Температура воздуха и осадки

На рисунке 3 показан сезонный поток температуры воздуха и осадков к прибрежным гидрометеорологическим станциям во время последнего климатического периода ВМО 1961-1990 гг. Среднегодовая температура равномерно повышается с севера на юг от 10°C в регионе Одессы, Очакова, до значений выше 14°C на южном побережье от Стамбула до Батуми. Диапазон

сезонных колебаний температуры воздуха уменьшается с 22-23 °С на северном побережье до 15°С на южном побережье. Средняя температура воздуха по всему побережью составляет 12,8°С, что ниже средней температуры воды на поверхности моря на 2°С. Эффект потепления Черного моря максимален в декабре-январе, разница температур воды и воздуха достигает в прибрежной зоне 3-4°С. Эффект охлаждения моря летом выражается слабее, разница температур воды и воздуха составляет около -1°С. количественные значения разницы температур воды и воздуха.

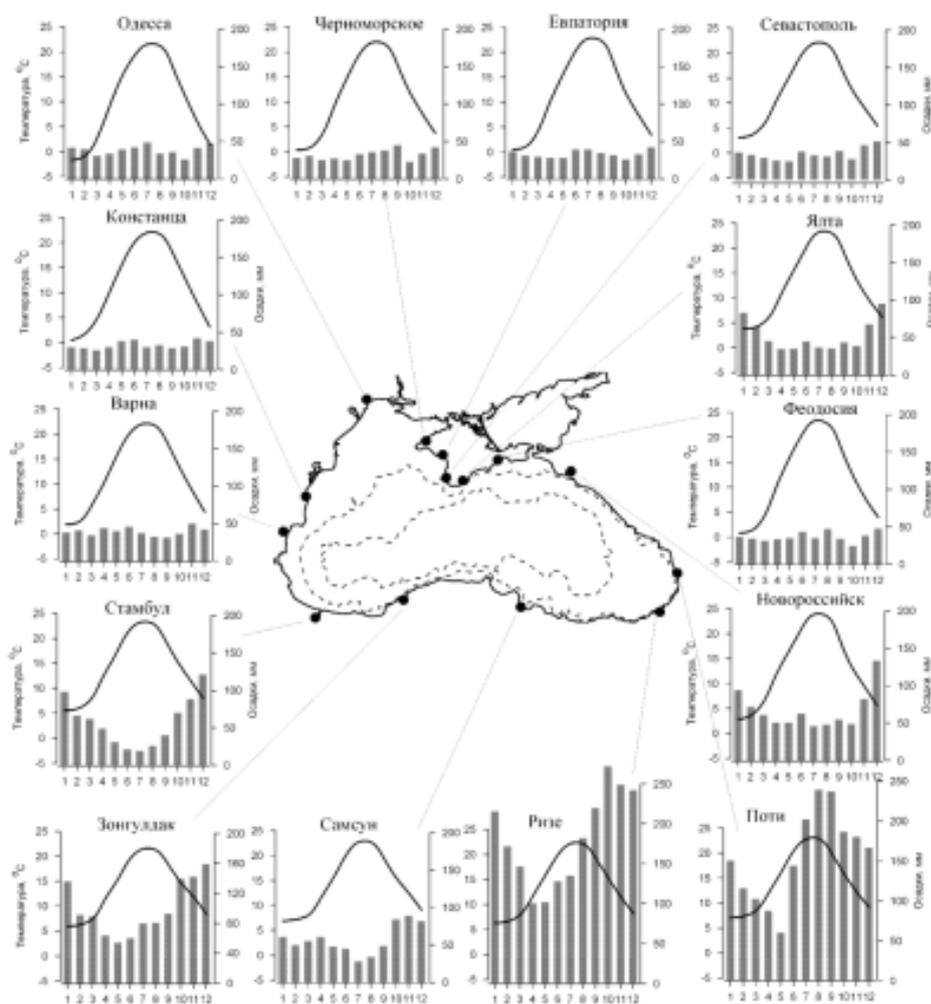


Рисунок 3. Сезонный ход температуры воздуха и количества атмосферных осадков, мм/месяц на побережье Черного моря за период 1961–1990 гг.

Минимальное количество осадков выпадает на северо-западном побережье (400-450 мм). Площадь осадков, превышающая среднегодовое значение 1000 мм, охватывает почти все побережья Анатолии и Кавказа – от

Зонгулдака до Туапсе со значениями более 2000 мм – от Трабзона до Поты. Максимальные среднегодовые температуры воздуха (14, 6°С) и осадки (2750 мм) были зарегистрированы у побережья Грузии в Батуми. Внутригодовое распределение осадков на Южном и Кавказском побережьях, а также на южном побережье Крыма, с явным преобладанием в холодное время года, относится к средиземноморскому типу. Остальная часть побережья имеет небольшое преобладание осадков в теплый период, что более характерно для континентального климата.

Черное море характеризуется значительной неоднородностью в распределении тепловых потоков по акватории, а также естественной временной изменчивостью в широком диапазоне масштабов. Истощение моря в осенне-зимний период является максимальным в мелкой северо-западной части, где образуется холодный промежуточный слой. Считается, что минимальная температура воды на глубине 50-70 м является результатом глубокой конвекции масс холодной воды зимой. Наиболее интенсивное истощение поверхности моря происходит в период вторжения масс холодного воздуха через северную границу моря. Учитывая географическое положение Черного моря, можно сказать, что его климат в основном континентальный. Однако южное побережье Крыма и черноморское побережье Кавказа присущи средиземноморскому типу благодаря защите этих районов от холодных арктических ветров. Большое влияние на климат Черного моря оказывает Атлантический океан. Над ним рождается большая часть циклонов, которые позже несут морям бури. Эти воздушные массы приносят с собой сильный, холодный ветер, в основном в зимний период, так называемый Nord-Ost. Скорость ветра может достигать 60 м/с. А теплые воздушные массы средиземноморья Черноморский регион обеспечивают юго-западными ветрами. В летний период над Черным морем присутствует Азорский антициклон. Поэтому основными характеристиками большей части моря считаются: жаркое, сухое лето и теплая, влажная зима.

1.3 Ветер

Стандартные регулярные наблюдения за ветром на прибрежных станциях показывают, что юго-восточное побережье и южное побережье Крыма характеризуются слабыми ветрами (среднегодовая скорость ветра 4м/с, на некоторых станциях >5м/с). Для всего водораздела хорошо выражена внутригодовая изменчивость, скорость ветра увеличивается с весенне-летнего периода до осени – зимы в 1,2-1,5 раза.

1.4 Цунами

В Черном море, которое входит в зону Альпийско-гималайского сейсмического пояса, основной причиной образования волн цунами являются землетрясения. Цунами в Черном море-относительно редкое явление, однако оно представляет потенциальную опасность для жизни в прибрежной зоне.

1.5 Тепловой баланс

Основываясь на опубликованных оценках, приведенных на рисунке ниже, можно утверждать, что радиационное равновесие составляет $R_n \approx 100 \text{ Вт/м}^2$, что в основном соответствует значениям R_n в Мировом океане в тех же широтах. Контактный теплообмен (турбулентный поток явного тепла) $H \approx 13 \text{ Вт/м}^2$, что также соответствует большинству океанских вод, за исключением областей с высокой теплоотдачей, таких как Гольфстрим. Затраты тепла на испарение (турбулентный поток скрытого тепла) $Le \approx 64 \text{ Вт / м}^2$ в 1, 5-2 раза ниже, чем в остальной части Мирового океана, что наиболее характерно для субарктических районов.

1.6 Радиационный баланс

Тепловой баланс R_n или разность приходящей солнечной радиации Q_n и эффективного длинноволнового излучения F_n максимален в июне, июле и минимальны в декабре. Комбинированная турбулентная теплопередача моря в атмосферу $H + LE$, в значительной степени зависящая от скорости ветра, минимальна в апреле, мае и увеличивается до осени в 5-7 раз. С марта по август море получает тепло, с сентября по февраль оно дает тепло атмосфере. Переход к положительным значениям теплового равновесия происходит 10 -20 марта в северных районах и 23 - 28 февраля на юге, и к отрицательным значениям переходит 10-15 августа в северных районах и 23-28 августа в южных районах.

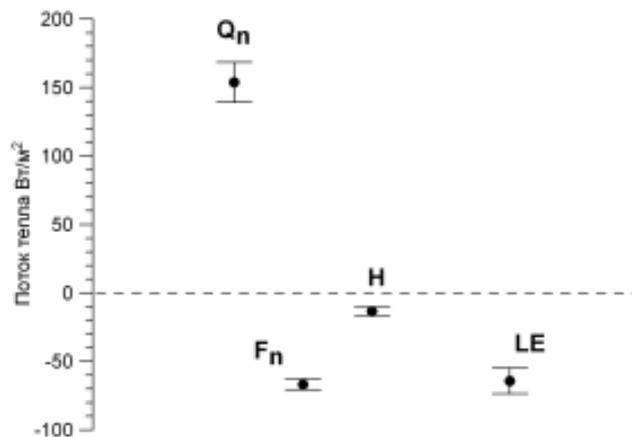


Рисунок 4. Средние оценки составляющих теплового баланса Черного моря, Вт/м² по литературным данным. Отрезками показаны стандартные отклонения.

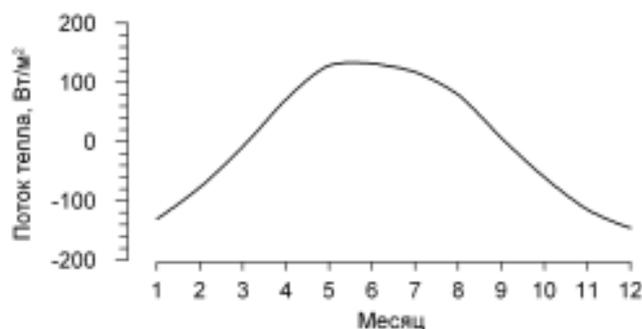


Рисунок 5. Сезонный ход скорости изменения теплосодержания слоя 0–100 м, Вт/м² в Черном море.

Скорость изменения теплового запаса деятельного слоя Черного моря, или полный тепловой баланс, которая в условиях незначительного теплообмена с соседними морями равна внешнему тепловому балансу, достигает максимальных значений в мае (140-150 Вт*м²) и в декабре–январе (–140-150 Вт*м²). Эти оценки, сделанные по климатических полях температуры воды Черного моря в слое 0-100 м, соответствуют большинству оценок сезонного хода результирующего теплового баланса на поверхности моря и обычно соответствуют средним значениям океана для тех же широт.

1.7 Водный баланс

Для закрытых систем, таких как Черное море, водный баланс играет огромную роль. Черное море имеет ограниченный водный обмен с Мировым океаном, так как у них очень узкие проливы.

В образовании водных масс Черного моря участвуют две основные водные массы: мраморные воды, которые идут с нижнебосфорским течением и водные массы с пресной водой, которые идут с речным стоком и осадками.

В Керченском проливе Азовоморские воды впадают в Черное море. В результате перераспределения поступающих водных масс, процессов теплообмена и солеобмена, воздействие атмосферных процессов формирует собственные водные массы бассейна. Выделяется до пяти черноморских водных масс: Прибрежная черноморская водная масса и Верхняя черноморская водная масса, подповерхностная – Холодный промежуточный слой, Промежуточная черноморская водная масса и Глубинная черноморская водная масса [2].

Воды средиземноморского происхождения, поступающие из Мраморного моря с нижнебосфорским течением, являются единственным источником соли для Черного моря.

Прибрежная черноморская водная масса, формируемая речным стоком и атмосферными осадками в прибрежной зоне, характеризуется низким солезапасом и повышенными горизонтальными градиентами солености.

Холодный промежуточный слой (далее – ХПС), или слой минимальных температур между сезонными и постоянными пикноклинами, представляет собой подповерхностную водную массу, возникающую в результате зимнего конвективного перемешивания в центрах циклонических круговоротов и в шельфовых районах. Условия образования ХПС в Черном море аналогичны условиям в тех морях, где зимняя конвекция на глубине ограничена галоклином, как, например, в Балтийском и Охотском морях. В тех районах Черного моря, где конвекция не развивается зимой (юго-восточная часть моря), ХПС имеет адвективное происхождение [1,2].

Промежуточная черноморская водная масса занимает слой основного пикноклина с перепадами солености и плотности между верхней и нижней границами. Этот слой можно охарактеризовать как зону трансформации между ХПС и глубинными водами. Не все исследователи выделяют его в отдельную водную массу, поскольку в нем отсутствуют локальные экстремумы солености или температуры, однако среди промежуточных водных масс Мирового океана есть аналоги, например, промежуточная североатлантическая водная масса [1].

1.8 Температура воды

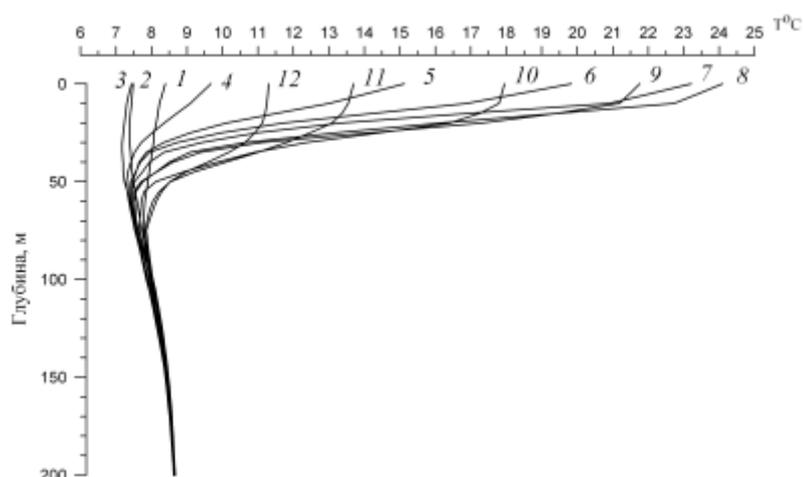


Рисунок 6. Среднемесячные вертикальные профили температуры воды, в Черном море (цифрами обозначены месяцы года).

Значения температуры в разных регионах Черного моря значительно отличаются друг от друга. Рассматривая северо-западную часть Черного моря, можно обнаружить, что средняя температура января примерно $-1...-3$ ° С, но может упасть и ниже, до -10 ° С. В июле средняя температура в этом районе $+23...+25$ ° С. На южном побережье Крыма и Черноморском побережье Кавказа температура зимой обычно не опускается ниже $+5$ °С, но летом может достигать $+30$ °С и выше. Также можно увидеть самое теплое место на побережье Черного моря, где среднегодовая температура составляет примерно 17 °С. Это район города Гагра на побережье Кавказа (Республика Абхазия). Средняя температура воды в Черном море чаще всего не опускается ниже $+7...+8$ °С. Зимой при длительных низких температурах в северной части моря может образовываться так называемый "береговой припай", то есть замерзание поверхностного слоя, но это происходит крайне редко [1].

1.9 Ледовые условия

Море почти всегда без льда, и только в отдельные холодные зимы прибрежные воды в северно-западной мелководной части моря покрыты льдом. В умеренные зимы в январе-феврале преобладает плавучий крупно и мелкобитый белый лед, который может простираться достаточно далеко до 40-50 миль от берега. На подходах Одессы и Очакова припай наблюдается в течение короткого времени, а толщина припайного льда не превышает 20-30 см. В суровые зимы максимальное распространение припайного льда может превышать границы СЗЧ и наблюдаться южнее Констанцы (Румыния). Максимальная толщина ледовых полей в открытых районах моря составляет 20-30 см [3,4].

1.10 Циркуляция и колебания уровня моря

Наибольшие плотностные повышения уровня приходятся на август и связаны с нагревом воды, наибольшие понижения наблюдаются в феврале-марте и связаны с охлаждением воды в этот период. Вклад атмосферного давления в сезонные изменения уровня моря еще меньше, чем плотностные изменения уровня, и не превышает 1-3 см. Колебания уровня главным образом проявляются в виде сгоннонагонных явлений, максимальная амплитуда которых отмечается в СЗЧ моря. Штормовые ветры восточной и южной четверти вызывают нагонные подъемы уровня амплитудой 30-60 см, а при жестоких штормах северо-западных и юго-западных направлений падение уровня может достигать 20-34 см. У Кавказского побережья величины максимальных нагонов невелики и не превышают 10-20 см в районе Новороссийска и до 31-54 см в районе Туапсе. Здесь нагоны отмечаются в течение всего года в основном при западных ветрах. Наибольшее число случаев сгонов приходится на осенне-зимний период, чаще всего при восточных и северо-восточных ветрах. Осенне-зимние штормовые ветра могут развивать волны высотой до 6-8 м. Стоячие колебания уровня моря (сейши) развиваются в бухтах с периодами от нескольких минут до 2 ч и амплитудой в 40-50 см [5,7].

В Черном море существует несколько крупномасштабных структур циркуляции поверхностных вод: Общечерноморское течение (ОЧТ) в зоне континентального склона; два крупномасштабных циклонических круговорота в Восточной и Западной частях моря, скорость течения увеличивается с 10 см/с в центре до 25 см/с на периферии этих круговоротов. С глубиной скорости течений быстро затухают до глубин около 100 м; квазистационарные антициклонические вихри в прибрежной зоне-Батумский, Севастопольский, Кавказский, Сакарья, Синопский и другие. Основные циклонические круговороты и квазистационарные антициклонические вихри можно проследить до больших глубин. Ветровые и пространственно-временные изменения атмосферного давления обуславливают короткопериодные колебания уровня Черного моря

синоптического (с периодами от 2-3 дней до шести месяцев) и мезомасштабного (сейши с периодом менее 2 дней) частотного диапазона. Влияние плотностных изменений уровня на большей части акватории Черного моря незначительно и не превышает 1-5 см. Наибольшие плотностные повышения уровня происходят в августе и связаны с потеплением воды, наибольшее снижение приходится на февраль-март и связаны с охлаждением воды в этот период. Вклад атмосферного давления в сезонные изменения уровня моря даже меньше, чем плотностные изменения уровня, и не превышают 1-3 см. Штормовые ветры Восточной и Южной четвертей вызывают нагонные подъемы уровня амплитудой 30-60 см, а в сильных штормах северо-западных и юго-западных направлений падение уровня может достигать 20-34 см. У Кавказского побережья величины максимальных нагонов невелики и не превышают 10-20 см в районе Новороссийска и до 31-54 см в районе Туапсе. Здесь нагоны отмечаются в течение всего года в основном при западных ветрах. Наибольшее число случаев сгонов приходится на осенне-зимний период, чаще всего при восточных и северо-восточных ветрах. Осенне-зимние штормовые ветра могут развивать волны высотой до 6-8 м. Стоячие колебания уровня моря (сейши) развиваются в бухтах с периодами от нескольких минут до 2 часов и амплитудой в 40-50 см [5,7].

1.11 Атмосферная циркуляция.

Изменчивость метеорологических характеристик в сочетании с сезонным ходом теплового баланса в значительной степени определяется атмосферной циркуляцией. Черное море находится под влиянием постоянного центра действия атмосферы - Азовского максимума и нескольких сезонных тепловых барьерных образований: зимой Сибирского антициклона и средиземноморской депрессии, летом аравийской депрессии.

Существуют также относительно стабильные синоптические ситуации. Они в основном определяются географическим положением обширных,

медленно движущихся антициклонов или гребней высокого давления, а также впадин или ложбин, которые обеспечивают генеральное направление переноса воздушных масс:

1. Северный – антициклон над Западной Европой;
2. Северо-восточный – антициклон над Восточной Европой;
3. Восточный – антициклон над европейской частью России;
4. Юго-восточный – антициклон восточнее Каспийского моря;
5. Юго-западный (вместе с южным) – ложбина с Балтийского моря на Балканы;
6. Западный – депрессия над Восточной Европой; северо-западный – циклон над северным Причерноморьем, антициклон над Западной Европой;
7. Циклонический – циклон над Черным морем.

В большинстве случаев (52%) преобладают малоградиентные барические поля без выраженного переноса воздушных масс. Из вышеперечисленных типов синоптических ситуаций (ветровых потоков) преобладают северо-восточные (13%, зимой до 18%), юго-западные (11%, зимой до 20%) и северные (8%, зимой до 12%) типы. В целом, над морем адвекция воздушных масс с севера в два раза преобладает над южным переносом. Аномально теплое или холодное время года в Черном море в определенные годы можно объяснить аномалиями повторяемости северных или южных типов ветровых полей [5,7].

1.12 Выводы по главе

Географические особенности Черного моря очень обширны и разнообразны, но требуют детального изучения. Данное море является стратегически важным для РФ с точки зрения военного дела, что еще больше подталкивает к изучению и прогнозированию климатических характеристик.

2 Описание статистических методов исследования

2.1 Первичная статистика

Первичная статистика дает возможность охарактеризовать исследуемый процесс. Для прогноза и анализа межгодовой изменчивости вылова сельди понадобятся следующие характеристики:

1. Среднее арифметическое значение.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.1)$$

* N – длина выборки.

2. Дисперсия и связанное с ней стандартное отклонение. Описывают средний разброс значений ряда от среднего арифметического значения.

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2, \quad \sigma = \sqrt{D}. \quad (2.2)$$

* D – дисперсия; σ – стандартное отклонение/

3. Размах вариации. Характеризует максимальный разброс значений ряда.

$$R = \max - \min \quad (2.3)$$

4. Коэффициент вариации. Показывает изменчивость характеристики в исследуемом статистическом ряде. Не имеет размерности.

$$C = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (2.4)$$

2.2 Тренд временного ряда

Тренд отражает наличие во временной изменчивости исследуемой характеристики длиннопериодного колебания с периодом, существенно превышающим длину выборки.

Тренд бывает линейный и нелинейным, в зависимости от того, на какую часть длиннопериодного колебания попала выборка.

Уравнение линейного тренда:

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

(2.5)

Уравнение нелинейного тренда:

$$y = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 + \varepsilon \quad (2.6)$$

* t – время.

Основные характеристики тренда.

1. Коэффициент детерминации r^2 (для линейного тренда) или его нелинейный аналог – корреляционное отношение η^2 , характеризующий вклад тренда в общую дисперсию ряда. Вклад может быть значимым или незначимым, это проверяется путем проверки коэффициента корреляции r (далее – КК) или η на значимость. В случае незначимости – тренда нет [6].

2. Величина тренда – изменение характеристики по линейному тренду за определенный промежуток времени. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности [6].

2.3 Гармонический анализ

Гармонический анализ заключается в разложении любого ряда в ряд Фурье без остатка, то есть на конечное число гармоник.

Гармоника – тригонометрическая функция, имеющая период, кратный длине ряда, то есть каждая гармоника целое число раз «укладывается» в длину исходного ряда [6].

Формула гармоники:

$$G_k = A_k \cos(\omega_k \cdot t - \varphi_k), \quad \omega_k = 2\pi/T_k \quad (2.7)$$

* k – номер гармоники; A_k – амплитуда k -той гармоники; ω_k – частота k -той гармоники; T_k – период k -той гармоники; φ_k – фаза k -той гармоники; t – время.

Характеристики гармоники определяются на основании коэффициентов Фурье:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [x_i \sin(\omega_k \cdot t_i)] \quad 17$$

(2.8)

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [x_i \cos(\omega_k \cdot t_i)] \quad (2.9)$$

* x_i – исходный ряд; N – длина ряда; ω_k – частота k -той гармоники; t_i – ряд времени.

Характеристики гармоники определяются по формулам:

1. Амплитуда гармоники.

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (2.10)$$

2. Фаза гармоники.

$$\varphi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k} \pm \pi \quad (2.11)$$

3. Дисперсия гармоники.

$$D_k = \frac{A_k^2}{2} \quad (2.19)$$

4. Вклад гармоники в общую дисперсию ряда.

$$V_k = \frac{D_k}{D_y} \quad (2.2)$$

2.4 Выводы по главе

Применяя статистические методы, можно дать оценку процессам, происходящих не только в океанологии, но и в других сферах жизни. Эти методы дают возможность подробнее узнать об изменениях конкретной характеристики, выявить цикличность этих изменений, а также сделать прогноз той или иной характеристики. Также стоит отметить, что природные процессы достаточно сложно спрогнозировать статистическими методами, так как влияние внешних факторов, влияющих на вылов, большое множество, и точно учесть их не получится.

3 Анализ ряда среднегодовой температуры воздуха, температуры поверхности и радиационного баланса Черного моря в период с 1980 по 2021 год, в точке (33,75 в.д. 42,8 с.ш.)

3.1 Температура воздуха

3.1.1 Первичные статистики

Для ряда среднегодовой температуры воздуха Черного моря были рассчитаны первичные статистики.

Таблица 3.1. Описательные статистики среднегодовой температуры воздуха Черного моря.

Температура воздуха		
Среднее	13,25	°C
Стандартная ошибка	0,13	°C
Медиана	13,15	°C
Стандартное отклонение	0,83	°C
Дисперсия выборки	0,69	°C ²
Эксцесс	-0,65	
Асимметричность	0,05	
Размах вариации	3,25	°C
Минимум	11,60	°C
Максимум	14,86	°C
Коэффициент вариации	0,97	%

Далее был построен график среднегодовой изменчивости температуры воздуха Черного моря, на которую были нанесены стандартное отклонение, среднее значение и размах вариации.

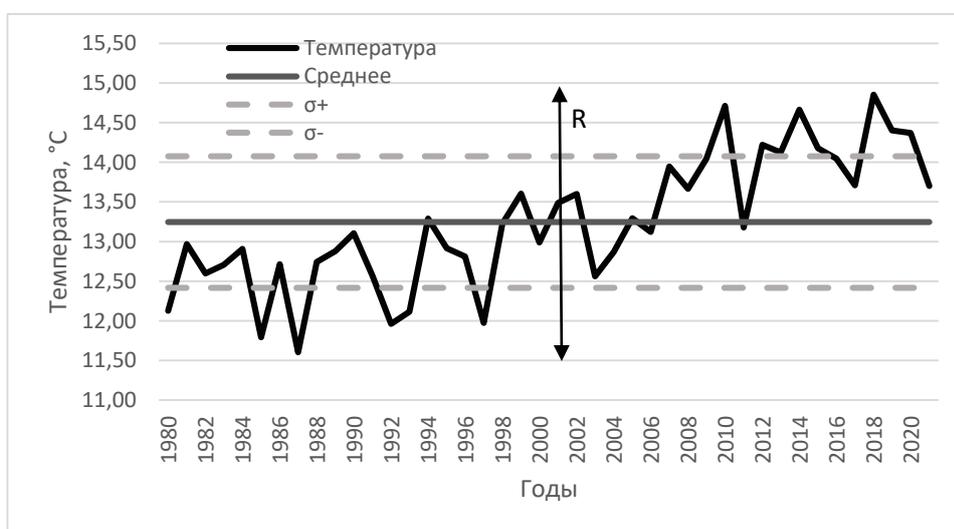


Рисунок 3.1. Среднегодовая изменчивость температуры воздуха в Черном море.

* σ_+ и σ_- – стандартные отклонения от среднего значения.

Из таблицы видно, что размах вариации составил $3,25^{\circ}\text{C}$, а среднее значение $13,25^{\circ}\text{C}$. Коэффициент вариации, который показывает какую долю среднего значения составляет её средний разброс, из таблицы видно, что он составляет $0,97\%$ от среднего значения, что меньше 33% , следовательно, сила влияющих факторов незначительна. Минимум пришелся на 1987 год, а максимум на 2018 год.

3.1.2 Тренд временного ряда

Таблица 3.2. Расчет характеристик линейного тренда как линейной регрессии

Регрессионная статистика					
Множественный R	0,80				
R-квадрат	0,64				
Нормированный R-квадрат	0,63				
Стандартная ошибка	0,51				
Наблюдения	42				
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	
Регрессия	1	18,06	18,06	70,55	
Остаток	40	10,24	0,26		
Итого	41	28,31			
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика		
Температура	12,08	0,16	76,00		
ti (a1)	0,05	0,01	8,40		

Для того, чтобы оценить значимость линейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^* = 13,89$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$13,89 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции $r = 0,64$ значим, тренд влияет в формирование изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость линейный коэффициент $a_1 = 0,05$. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для

проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^*_{a_1} = 8,4$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$8,4 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, линейный тренд присутствует.

Таблица 3.3. Расчет характеристик нелинейного тренда как множественной регрессии.

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,81			
R-квадрат	0,65			
Нормированный R-квадрат	0,64			
Стандартная ошибка	0,50			
Наблюдения	42			
Дисперсионный анализ				
	df	SS	MS	F
Регрессия	2	18,49	9,25	36,76
Остаток	39	9,81	0,25	
Итого	41	28,31		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	
Температура	12,33	0,24	50,58	
ti (a1)	0,02	0,03	0,80	
ti^2 (a2)	0,001	0,001	1,31	

Для того, чтобы оценить значимость нелинейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^* = 14,53$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$14,53 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции $r = 0,65$ значим, тренд влияет в формирование изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость нелинейные коэффициенты $a_1 = 0,02$ и $a_2 = 0,001$. Для того, чтобы его

проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^*_{a_1} = 0,80$$

$$t^*_{a_2} = 1,31$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$0,80 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, нелинейного тренда нет.

$1,31 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, нелинейного тренда нет.

После проверки коэффициентов регрессии видно, что присутствует только один тренд – нелинейный.

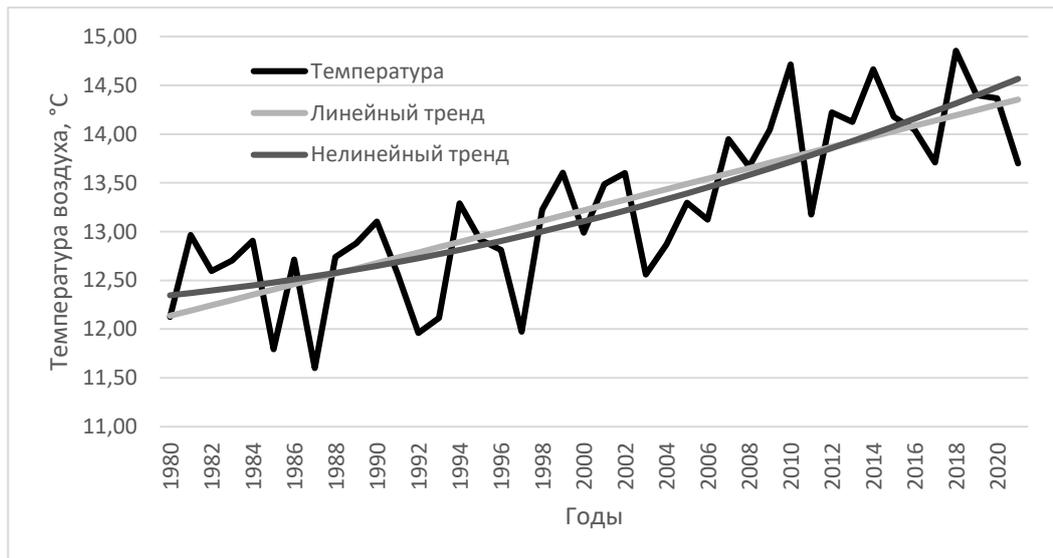


Рисунок 3.2. Среднегодовая температура воздуха в Черном море и ее линейный и нелинейный тренды.

Уравнение линейного тренда: $T_w = 0,05 * t + 12,08$

Уравнение нелинейного тренда: $T_w = 0,001 * t^2 + 0,02 * t + 12,33$

Характер тренда: положительный, температура растет. Нелинейный тренд вносит значительный вклад в дисперсию исходного ряда. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 0,05$ °С/год. Тогда величина тренда $Tr = 0,5$ °С/10 лет.

3.1.3 Гармонический анализ

Из ряда среднегодовой температуры воды вычитается значимый тренд – линейный. Получается ряд отклонений. По значениям отклонений строится периодограмма.

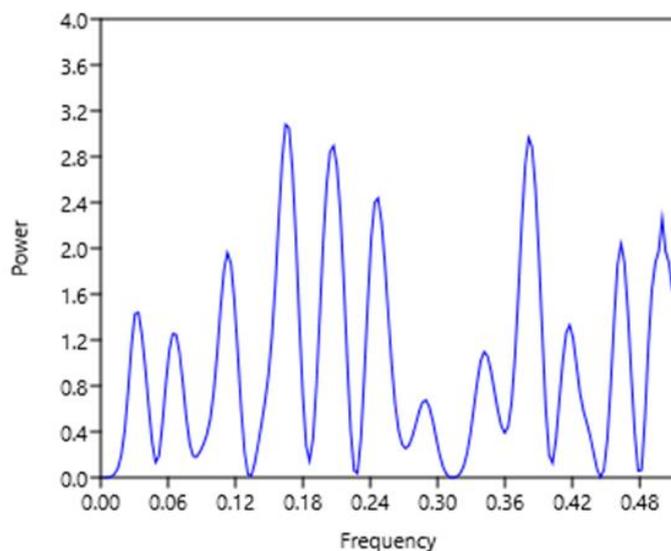


Рисунок 3.3. Периодограмма для ряда отклонений.

По периодограмме (Рисунок 3) определяем частоты гармоник (ω), которые соответствуют пикам периодограммы. В данном случае их 10:

$\omega = 0,034$ (год⁻¹); $\omega = 0,064$ (год⁻¹); $\omega = 0,113$ (год⁻¹); $\omega = 0,165$ (год⁻¹);
 $\omega = 0,207$ (год⁻¹); $\omega = 0,247$ (год⁻¹); $\omega = 0,341$ (год⁻¹); $\omega = 0,381$ (год⁻¹);
 $\omega = 0,418$ (год⁻¹); $\omega = 0,463$ (год⁻¹).

Таблица 3.4. Расчет характеристик гармоник

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
ω год ⁻¹	0,03	0,06	0,11	0,16	0,21	0,25	0,34	0,38	0,42	0,46
T	29,8	15,6	8,9	6,1	4,8	4,0	2,9	2,6	2,4	2,2
ω рад/с	0,21	0,40	0,71	1,03	1,30	1,55	2,14	2,39	2,62	2,91
a	0,05	0,14	0,20	-0,17	0,25	-0,23	-0,10	-0,22	-0,08	0,15
b	0,17	0,10	-0,08	-0,20	0,06	-0,06	-0,12	-0,13	0,16	0,16
A	0,18	0,17	0,21	0,26	0,26	0,24	0,16	0,26	0,17	0,21
φ рад	0,29	4,10	1,94	3,83	1,34	4,45	3,82	4,18	2,68	0,76
φ год	1,4	10,2	2,7	3,7	1,0	2,9	1,8	1,7	1,0	0,3
D	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02
V	0,07	0,06	0,09	0,15	0,14	0,12	0,05	0,14	0,06	0,10

Проверка гармоник на значимость (приложение 1) показала, что из 10 выявленных гармоник, статистически значимыми оказались лишь 6.

Восстанавливаем ряд отклонений по уравнениям значимых гармоник:

$$\begin{aligned}G_3 &= 0,21 * \cos(0,71 * t_i - 1,94) \\G_4 &= 0,26 * \cos(1,03 * t_i - 3,83) \\G_5 &= 0,26 * \cos(1,30 * t_i - 1,34) \\G_6 &= 0,24 * \cos(1,55 * t_i - 4,45) \\G_8 &= 0,26 * \cos(2,39 * t_i - 4,18) \\G_{10} &= 0,21 * \cos(2,91 * t_i - 0,76)\end{aligned}$$

Находим сумму гармоник, и строим по полученным значениям совмещенный график исходных и восстановленных значений температуры воздуха.

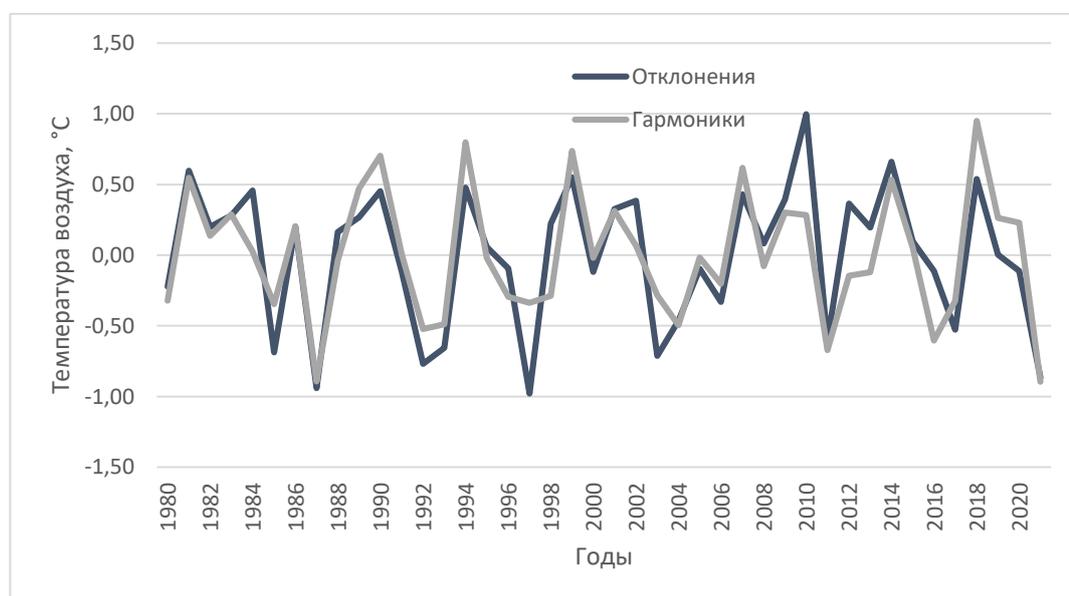


Рисунок 3.4. Совмещенный график отклонений и суммы гармоник.

Гармоника с периодом в 8,9 лет связана с отголосками 11-летнего цикла солнечной активности. Фаза составляет 2,7 года.

Гармоника с периодом в 6,1 года связана с 7-летним циклом изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 3,7 года.

Гармоника с периодом в 4,8 лет связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 1 год.

Гармоника с периодом в 4 года связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 2,9 года.

Гармоника с периодом в 2,6 года связана с отголосками 1,5 летнего периода Чандлера. Фаза составляет 1,7 года.

Гармоника с периодом в 2,2 лет связана с отголосками 1,5 летнего периода Чандлера. Фаза составляет 0,3 года.

Из рисунка 3.4, видно, что восстановленные значения температуры воздуха у поверхности хорошо описывают ход исходной температуры воздуха у поверхности.

3.2 Температура поверхности моря

3.2.1 Первичные статистики

Для среднегодовой температуры поверхности Черного моря были рассчитаны первичные статистики.

Таблица 3.5. Описательные статистики среднегодовой температуры поверхности Черного моря

ТПО		
Среднее	14,16	°C
Стандартная ошибка	0,12	°C
Медиана	14,10	°C
Стандартное отклонение	0,78	°C
Дисперсия выборки	0,60	°C ²
Эксцесс	-0,45	
Асимметричность	-0,11	
Размах вариации	3,30	°C
Минимум	12,42	°C
Максимум	15,73	°C
Коэффициент вариации	0,85	%

Далее был построен график среднегодовой изменчивости температуры поверхности Черного моря, на которую были нанесены стандартное отклонение, среднее значение и размах вариации.

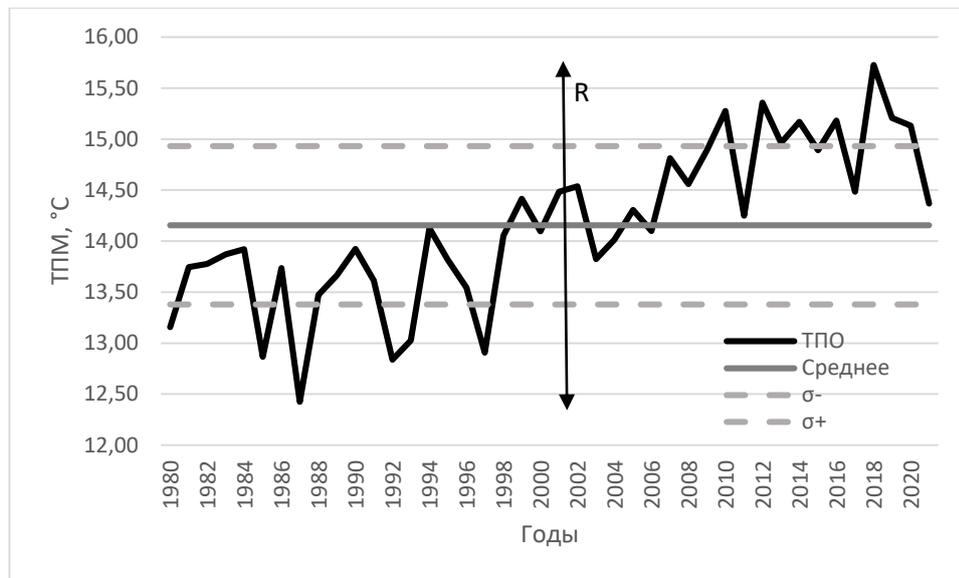


Рисунок 3.5. Среднегодовая изменчивость температуры поверхности в Черном море.

Из таблицы 3.5 видно, что размах вариации составил 3,30°C, а среднее значение 14,16°C. Коэффициент вариации, который показывает какую долю среднего значения составляет её средний разброс, из таблицы видно, что он составляет 0,85% от среднего значения, что меньше 33%, следовательно, сила влияющих факторов незначительна. Минимум пришелся на 1987 год, а максимум на 2018 год.

3.2.2 Тренд временного ряда

Таблица 3.6. Расчет характеристик линейного тренда как линейной регрессии.

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,79			
R-квадрат	0,63			
Нормированный R-квадрат	0,62			
Стандартная ошибка	0,48			
Наблюдения	42			
Дисперсионный анализ				
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Регрессия	1	15,49	15,49	67,34
Остаток	40	9,20	0,23	
Итого	41	24,70		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	
ТПМ	13,08	0,15	86,77	
ti (a1)	0,05	0,01	8,21	

Для того, чтобы оценить значимость линейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$.

0. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^* = 13,77$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$13,77 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции $r = 0,63$ значим, тренд влияет в формировании изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость линейный коэффициент $a_1 = 0,05$. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^*_{a_1} = 8,21$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$8,21 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, линейный тренд присутствует.

Таблица 3.7. Расчет характеристик нелинейного тренда как множественной регрессии.

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,80			
R-квадрат	0,64			
Нормированный R-квадрат	0,62			
Стандартная ошибка	0,48			
Наблюдения	42			
Дисперсионный анализ				
	df	SS	MS	F
Регрессия	2	15,79	7,89	34,57
Остаток	39	8,91	0,23	
Итого	41	24,70		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	
ТПМ	13,28	0,23	57,19	
ti (a1)	0,02	0,02	0,91	
ti^2 (a2)	0,001	0,001	1,14	

Для того, чтобы оценить значимость нелинейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический

критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^* = 14,37$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$14,37 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции $r = 0,64$ значим, тренд влияет в формирование изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость нелинейные коэффициенты $a_1 = 0,02$ и $a_2 = 0,001$. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^*_{a_1} = 0,91$$

$$t^*_{a_2} = 1,14$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$0,91 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, нелинейного тренда нет.

$1,14 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, нелинейного тренда нет.

После проверки коэффициентов регрессии видно, что присутствует только один тренд – линейный.

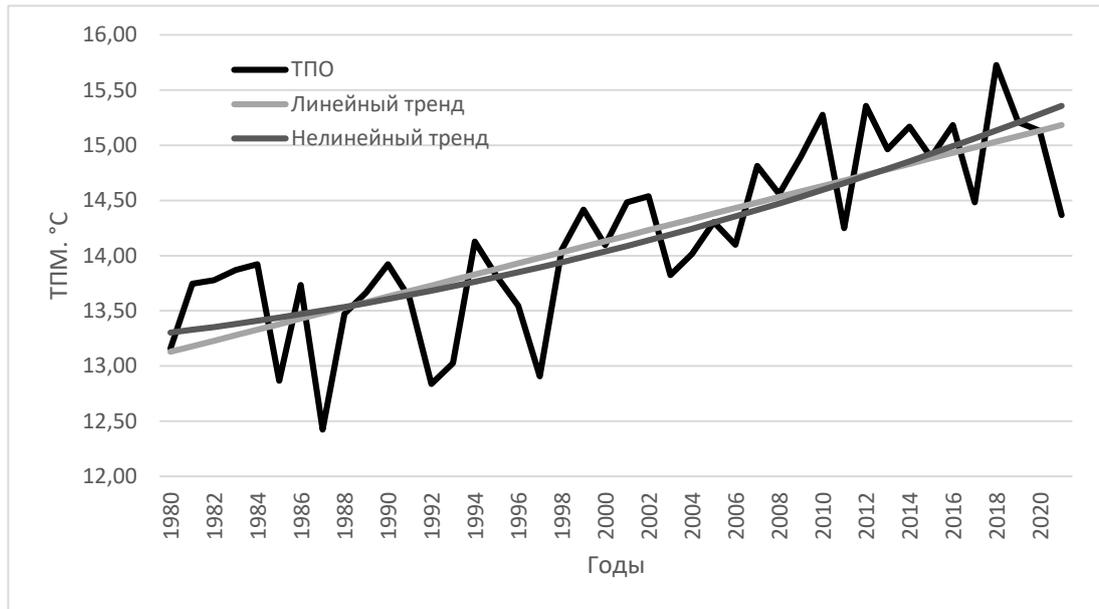


Рисунок 3.6. Среднегодовая температура поверхности Черного моря и ее линейный и нелинейный тренды.

Уравнение линейного тренда: $T_w = 0,05 * t + 13,08$

Уравнение нелинейного тренда: $T_w = 0,001 * t^2 + 0,02 * t + 13,28$

Характер тренда: положительный, температура растет. Нелинейный тренд вносит значительный вклад в дисперсию исходного ряда. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 0,05$ °C/год. Тогда величина тренда $Tr = 0,5$ °C/10 лет.

3.2.3 Гармонический анализ

Из ряда среднегодовой температуры поверхности Черного моря вычитается значимый тренд – линейный. Получается ряд отклонений. По значениям отклонений строится периодограмма.

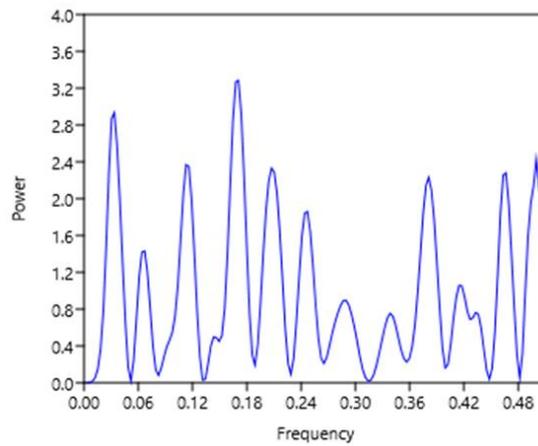


Рисунок 3.7. Периодограмма для ряда отклонений.

По периодограмме (рисунок 3.7) определяем частоты гармоник (ω), которые соответствуют пикам периодограммы. В данном случае их 12:

$\omega = 0,03$ (год⁻¹); $\omega = 0,07$ (год⁻¹); $\omega = 0,11$ (год⁻¹); $\omega = 0,17$ (год⁻¹); $\omega = 0,21$ (год⁻¹); $\omega = 0,25$ (год⁻¹); $\omega = 0,29$ (год⁻¹); $\omega = 0,34$ (год⁻¹); $\omega = 0,38$ (год⁻¹); $\omega = 0,41$ (год⁻¹); $\omega = 0,43$ (год⁻¹); $\omega = 0,47$ (год⁻¹).

Таблица 3.8. Расчет характеристик гармоник.

	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇	G ₈	G ₉	G ₁₀	G ₁₁	G ₁₂
ω год ⁻¹	0,03	0,07	0,11	0,17	0,21	0,25	0,29	0,34	0,38	0,41	0,43	0,47
T	29,8	14,9	8,9	5,9	4,8	4,0	3,5	2,9	2,6	2,4	2,3	2,1
ω рад/с	0,21	0,42	0,71	1,07	1,30	1,55	1,82	2,14	2,39	2,60	2,72	2,93
a	0,02	0,17	0,17	-0,26	0,21	-0,20	-0,07	-0,04	-0,18	-0,09	0,05	0,21
b	0,24	-0,02	-0,14	-0,06	0,07	0,01	-0,12	-0,11	-0,12	0,12	0,11	0,07
A	0,24	0,18	0,22	0,26	0,22	0,20	0,14	0,12	0,21	0,15	0,12	0,22
Φ рад	0,08	1,67	2,24	4,48	1,25	-1,54	3,66	0,32	4,14	2,49	3,56	1,26
Φ год	0,4	4,0	3,2	4,2	1,0	-1,0	2,0	0,1	1,7	1,0	1,3	0,4
D	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
V	0,13	0,07	0,11	0,16	0,11	0,09	0,04	0,03	0,11	0,05	0,03	0,11

Проверка гармоник на значимость (приложение 1) показала, что из 12 выявленных гармоник, статистически значимыми оказались лишь 7.

Восстанавливаем ряд отклонений по уравнениям значимых гармоник:

$$\begin{aligned}
 G_1 &= 0,24 * \cos(0,21 * t_i - 0,08) \\
 G_3 &= 0,22 * \cos(0,71 * t_i - 2,24) \\
 G_4 &= 0,26 * \cos(1,07 * t_i - 4,48) \\
 G_5 &= 0,22 * \cos(1,30 * t_i - 1,25) \\
 G_6 &= 0,20 * \cos(1,55 * t_i + 1,54) \\
 G_9 &= 0,21 * \cos(2,39 * t_i - 4,14) \\
 G_{12} &= 0,22 * \cos(2,93 * t_i - 1,26)
 \end{aligned}$$

Находим сумму гармоник, и строим по полученным значениям совмещенный график исходных и восстановленных значений температуры поверхности Черного моря.

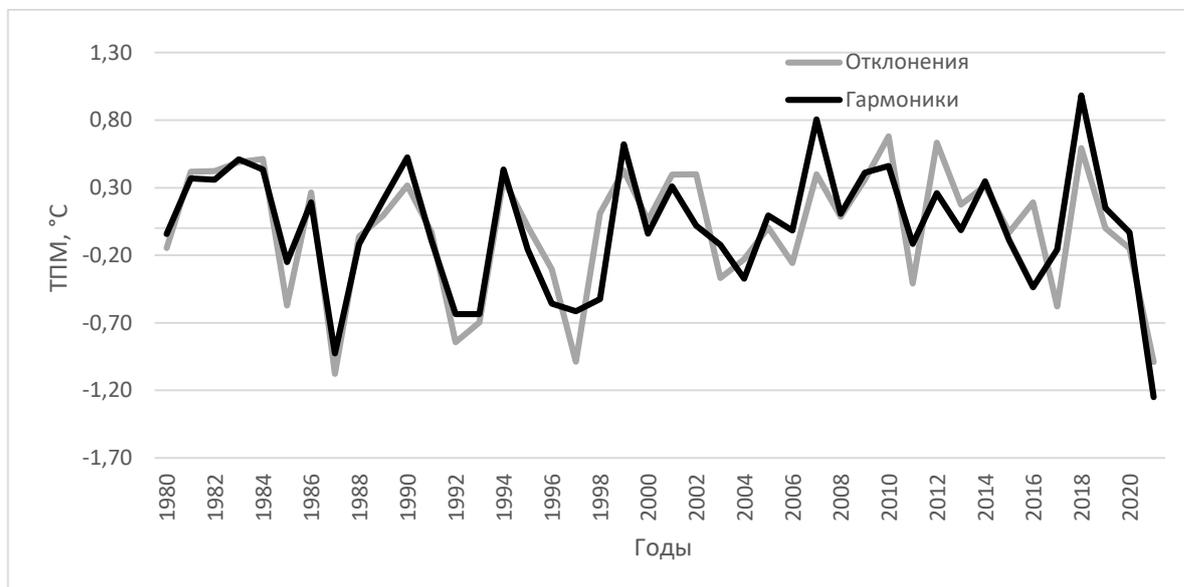


Рисунок 3.8. Совмещенный график отклонений и суммы гармоник.

Гармоника с периодом в 29,8 лет связана с отголосками Брикнеровского цикла. Фаза составляет 0,4 года.

Гармоника с периодом в 8,9 года связана с 11-летним циклом солнечной активности. Фаза составляет 3,2 года.

Гармоника с периодом в 5,9 лет связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 4,2 года.

Гармоника с периодом в 4,8 года связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 1 год.

Гармоника с периодом в 4 года связана с отголосками 1,5 летнего периода Чандлера. Фаза составляет 1 год.

Гармоника с периодом в 2,6 лет связана с отголосками 1,5 летнего периода Чандлера. Фаза составляет 1,7 года.

Гармоника с периодом в 2,1 года с отголосками 1,5 летнего периода Чандлера. Фаза составляет 0,4 года.

Из рисунка 3.8, видно, что восстановленные значения температуры воздуха у поверхности хорошо описывают ход исходной температуры поверхности Черного моря.

3.3 Радиационный баланс

3.3.1 Первичные статистики

Для среднегодового радиационного баланса Черного моря были рассчитаны первичные статистики.

Таблица 3.9. Описательные статистики среднегодового радиационного баланса Черного моря

Радиационный баланс		
Среднее	97,60	Вт/м ²
Стандартная ошибка	0,34	Вт/м ²
Медиана	98,08	Вт/м ²
Стандартное отклонение	2,21	Вт/м ²
Дисперсия выборки	4,88	(Вт/м ²) ²
Эксцесс	-0,22	
Асимметричность	-0,51	
Размах вариации	9,07	Вт/м ²
Минимум	92,24	Вт/м ²
Максимум	101,31	Вт/м ²
Коэффициент вариации	0,35	%

Далее построен график изменчивости среднегодового радиационного баланса Черного моря, на который были нанесены стандартное отклонение, среднее значение и размах вариации.

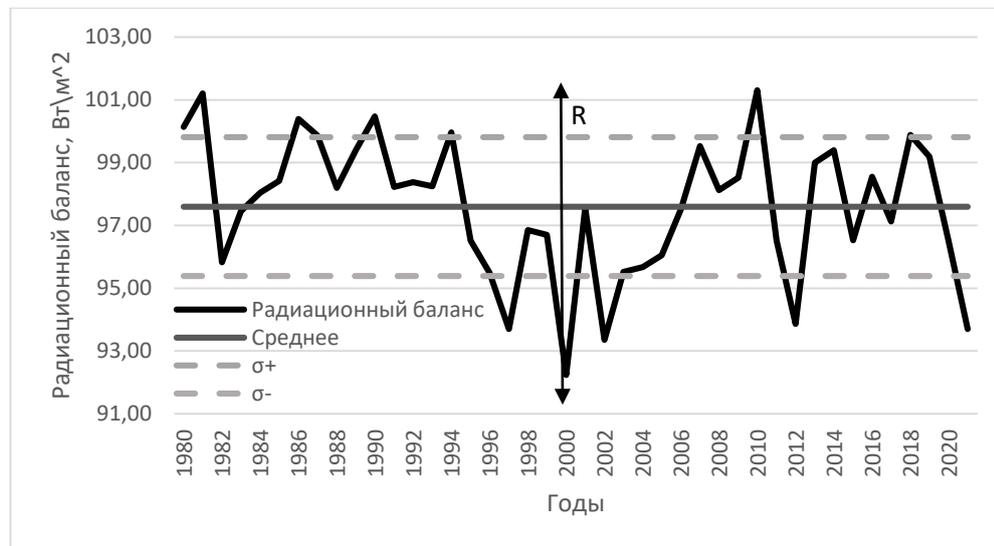


Рисунок 3.9. Среднегодовая изменчивость радиационного баланса Черного моря.

Из таблицы видно, что размах вариации составил $9,07 \text{ Вт/м}^2$, а среднее значение $97,6 \text{ Вт/м}^2$. Коэффициент вариации, который показывает какую долю среднего значения составляет её средний разброс, из таблицы видно, что он составляет $0,35\%$ от среднего значения, что больше 33% , следовательно, сила влияющих факторов значительна. Минимум пришелся на 2000 год, а максимум на 2010 год.

3.3.2 Тренд временного ряда

Таблица 3.10. Расчет характеристик линейного тренда как линейной регрессии.

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,23			
R-квадрат	0,05			
Нормированный R-квадрат	0,03			
Стандартная ошибка	2,18			
Наблюдения	42			
Дисперсионный анализ				
	df	SS	MS	F
Регрессия	1	10,46	10,46	2,21
Остаток	40	189,59	4,74	
Итого	41	200,06		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	
Радиационный баланс	98,48	0,68	143,97	
ti (a1)	-0,04	0,03	-1,49	

Для того, чтобы оценить значимость линейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq$

0. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^* = 1,56$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,56 < 2,02$, нулевая гипотеза подтверждается, коэффициент корреляции $r = 0,05$ не значим, тренд не влияет в формирование изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость линейный коэффициент $a_1 = 0,04$. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^*_{a_1} = 1,49$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,49 < 2,02$, нулевая гипотеза принимается, линейный тренд отсутствует.

Таблица 3.11. Расчет характеристик нелинейного тренда как множественной регрессии.

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,36			
R-квадрат	0,13			
Нормированный R-квадрат	0,08			
Стандартная ошибка	2,12			
Наблюдения	42			
Дисперсионный анализ				
	df	SS	MS	F
Регрессия	2	25,50	12,75	2,85
Остаток	39	174,56	4,48	
Итого	41	200,06		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	
Радиационный баланс	99,92	1,03	97,21	
ti (a1)	-0,24	0,11	-2,15	
ti^2 (a2)	0,005	0,002	1,83	

Для того, чтобы оценить значимость нелинейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический

критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$\begin{aligned}t^* &= 2,65 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,65 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции $r = 0,13$ значим, тренд влияет в формирование изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость нелинейные коэффициенты $a_1 = 0,24$ и $a_2 = 0,005$. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$\begin{aligned}t^*_{a_1} &= 2,15 \\t^*_{a_2} &= 1,83 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,15 > 2,02$, нулевая гипотеза может быть отвергнута, нелинейный тренд присутствует.

$1,83 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, нелинейного тренда нет.

После проверки коэффициентов регрессии видно, что присутствует только один тренд – нелинейный.

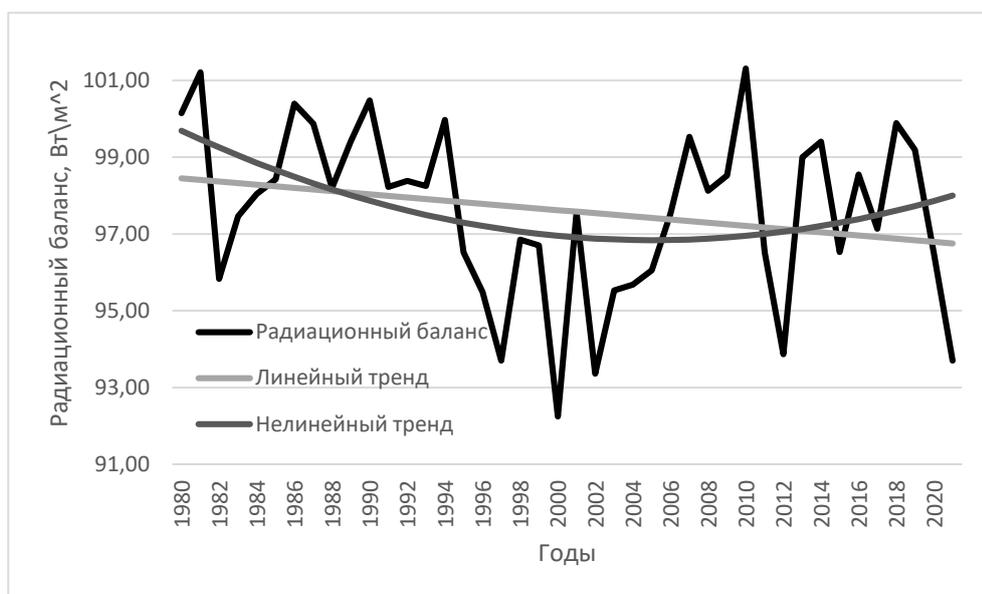


Рисунок 3.10. Среднегодовой радиационный баланс и его линейный и нелинейный тренды.

Уравнение линейного тренда: $T_w = -0,04 * t + 98,48$

Уравнение нелинейного тренда: $T_w = 0,005 * t^2 - 0,24 * t + 99,92$

Характер тренда: положительный, температура растет. Нелинейный тренд вносит значительный вклад в дисперсию исходного ряда. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 0,04$ (Вт/м²)/год. Тогда величина тренда $Tr = 0,4$ (Вт/м²)/10 лет.

3.3.3 Гармонический анализ

Из ряда среднегодового радиационного баланса вычитается значимый тренд – нелинейный. Получается ряд отклонений. По значениям отклонений строится периодограмма.

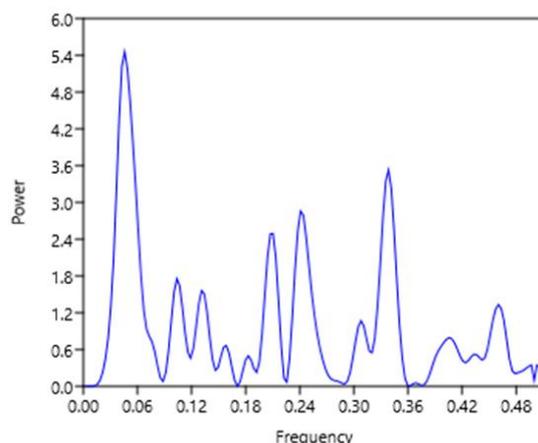


Рисунок 3.11. Периодограмма для ряда отклонений.

По периодограмме (Рисунок 3.11) определяем частоты гармоник (ω), которые соответствуют пикам периодограммы. В данном случае их 10:

$\omega = 0,05$ (год⁻¹); $\omega = 0,10$ (год⁻¹); $\omega = 0,13$ (год⁻¹); $\omega = 0,16$ (год⁻¹); $\omega = 0,21$ (год⁻¹); $\omega = 0,24$ (год⁻¹); $\omega = 0,31$ (год⁻¹); $\omega = 0,34$ (год⁻¹); $\omega = 0,41$ (год⁻¹); $\omega = 0,46$ (год⁻¹).

Таблица 3.12. Расчет характеристик гармоник.

	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇	G ₈	G ₉	G ₁₀
ω год ⁻¹	0,046	0,104	0,131	0,159	0,210	0,241	0,308	0,338	0,405	0,460
T	21,9	9,6	7,6	6,3	4,8	4,2	3,2	3,0	2,5	2,2
ω рад/с	0,29	0,65	0,82	1,00	1,32	1,51	1,93	2,13	2,55	2,89
a	0,12	-0,29	-0,35	0,49	0,98	-0,06	-0,07	-0,33	-0,41	-0,09
b	-1,44	0,78	0,71	0,18	-0,26	-1,07	-0,65	-1,13	0,39	0,74
A	1,45	0,83	0,79	0,53	1,02	1,07	0,66	1,18	0,57	0,75
φ рад	3,06	-0,35	2,69	4,36	1,83	3,20	3,26	3,43	2,34	-0,12
φ год	10,7	-0,5	3,3	4,4	1,4	2,1	1,7	1,6	0,9	0,0
D	1,05	0,35	0,32	0,14	0,52	0,57	0,22	0,70	0,16	0,28
V	0,25	0,08	0,07	0,03	0,12	0,13	0,05	0,16	0,04	0,07

Проверка гармоник на значимость (приложение 1) показала, что из 10 выявленных гармоник, статистически значимыми оказались лишь 5.

Восстанавливаем ряд отклонений по уравнениям значимых гармоник:

$$G_1 = 1,45 * \cos(0,29 * t_i - 3,06)$$

$$G_2 = 0,83 * \cos(0,65 * t_i + 0,35)$$

$$G_5 = 1,02 * \cos(1,32 * t_i - 1,83)$$

$$G_6 = 1,07 * \cos(1,51 * t_i - 3,20)$$

$$G_8 = 1,18 * \cos(2,13 * t_i + 3,43)$$

Находим сумму гармоник, и строим по полученным значениям совмещенный график исходных и восстановленных значений радиационного баланса.

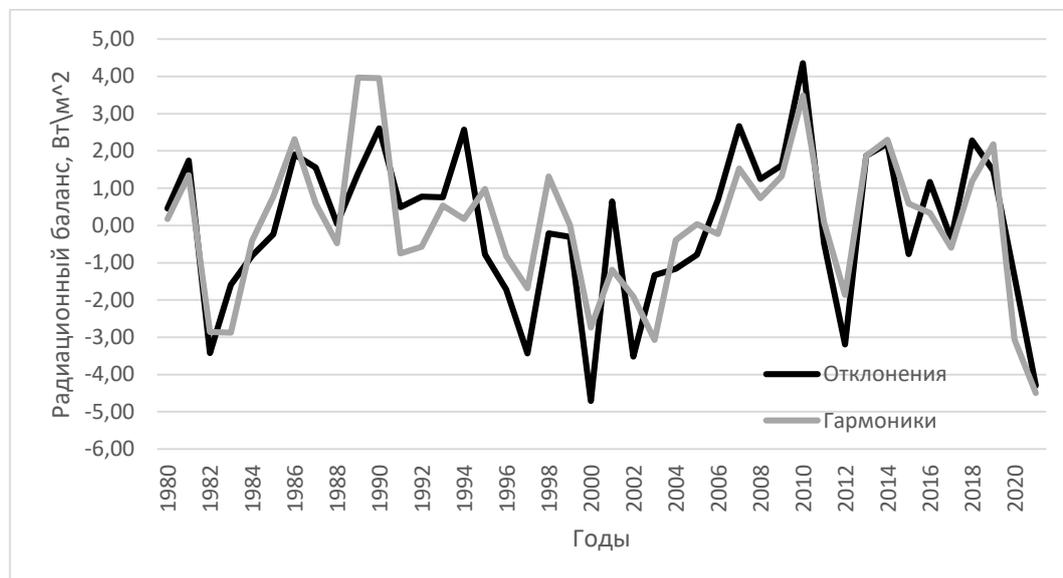


Рисунок 3.12. Совмещенный график отклонений и суммы гармоник.

Гармоника с периодом в 21,9 лет связана с отголосками Брикнеровского цикла. Фаза составляет 10,7 лет.

Гармоника с периодом в 9,6 года связана с 11-летним циклом солнечной активности. Фаза составляет 0,5 года.

Гармоника с периодом в 4,8 лет связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 1,4 года.

Гармоника с периодом в 4,2 года связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 2,1 год.

Гармоника с периодом в 4 года связана с отголосками 1,5 летнего периода Чандлера. Фаза составляет 1,6 год.

Из рисунка 3.12, видно, что восстановленные значения радиационного баланса хорошо описывают ход исходного радиационного баланса.

3.4 Выводы по главе

1. Ряд среднегодовой температуры воздуха Черного моря.

Таблица 3.13. Вклад каждой составляющей ряда в дисперсию выборки.

Температура воздуха				
	Исходный ряд	Тренд	Гармоники	Шум
Дисперсия	0,69	0,45	0,20	0,04
Вклад в дисперсию, %	100	65	29	5

Статистический анализ ряда среднегодовой температуры воздуха Черного моря в точке (33,75 в.д. 42,8 с.ш.) показал, что 95% вклада в дисперсию ряда вносят неслучайные составляющие, из них тренд вносит 65%, гармоники – 27%. На случайную составляющую приходится лишь 5% вклада в общую дисперсию ряда. Случайные факторы практически не влияют на общую дисперсию ряда.

2. Ряд среднегодовой температуры поверхности Черного моря.

Таблица 3.14. Вклад каждой составляющей ряда в дисперсию выборки.

Температура поверхности				
	Исходный ряд	Тренд	Гармоники	Шум
Дисперсия	0,60	0,39	0,21	0,01
Вклад в дисперсию, %	100	64	35	1

Статистический анализ ряда среднегодовой температуры поверхности Черного моря в точке (33,75 в.д. 42,8 с.ш.) показал, что 99% вклада в дисперсию ряда вносят неслучайные составляющие, из них тренд вносит 64%, гармоники – 35%. На случайную составляющую приходится 1% вклада в дисперсию ряда. Случайные факторы практически не влияют на общую дисперсию ряда.

3. Ряд среднегодового радиационного баланса Черного моря.

Таблица 3.15. Вклад каждой составляющей ряда в дисперсию выборки.

Радиационный баланс				
	Исходный ряд	Тренд	Гармоники	Шум
Дисперсия	4,88	0,62	3,69	0,57
Вклад в дисперсию, %	100	13	75	12

Статистический анализ ряда среднегодового радиационного баланса Черного моря в точке (33,75 в.д. 42,8 с.ш.) показал, что 89% вклада в дисперсию

ряда вносят неслучайные составляющие, из них тренд вносит 13%, гармоники – 75%. На случайную составляющую приходится 12% вклада в дисперсию ряда. Случайные составляющие вносят значительный вклад в общую дисперсию ряда.

4. Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что на температуру воздуха и температуру поверхности моря внешние факторы практически не влияют, природа сама задает её ход, человеческий фактор не влияет от слова совсем. Также стоит отметить, что основной вклад в общую дисперсию ряда вносит тренд, чего нельзя сказать о радиационном балансе, у которого большая часть дисперсии описывается гармониками, что говорит о том, что солнечные циклы очень сильно влияют на изменчивость радиационного баланса.

4 Анализ ряда среднегодовой температуры воздуха, температуры воды и радиационного баланса Черного моря в период с 1980 по 2021 год. В точке (31,37 в.д. 45,6 с.ш.).

4.1 Температура воздуха

4.1.1 Первичные статистики

Для ряда среднегодовой температуры воздуха Черного моря были рассчитаны первичные статистики.

Таблица 4.1. Описательные статистики среднегодовой температуры воздуха Черного моря.

Температура воздуха		
Среднее	10,88	°C
Стандартная ошибка	0,16	°C
Медиана	10,90	°C
Стандартное отклонение	1,01	°C
Дисперсия выборки	1,02	°C ²
Экссесс	-0,63	
Асимметричность	-0,11	
Размах вариации	4,06	°C
Минимум	8,81	°C
Максимум	12,87	°C
Коэффициент вариации	1,43	%

Далее был построен график среднегодовой изменчивости температуры воздуха Черного моря, на которую были нанесены стандартное отклонение, среднее значение и размах вариации.

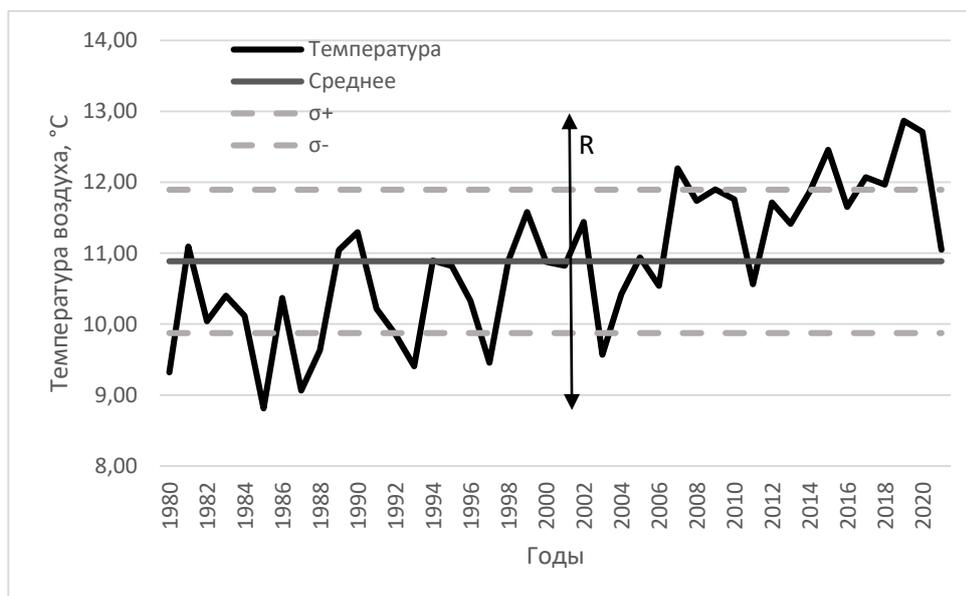


Рисунок 4.1. Среднегодовая изменчивость температуры воздуха в Черном море.

* σ_+ и σ_- – стандартные отклонения от среднего значения.

Из таблицы 4.1 видно, что размах вариации составил $4,06^\circ\text{C}$, а среднее значение $10,88^\circ\text{C}$. Коэффициент вариации, который показывает какую долю среднего значения составляет её средний разброс, из таблицы видно, что он составляет $1,43\%$ от среднего значения, что меньше 33% , следовательно, сила влияющих факторов незначительна. Минимум пришелся на 1985 год, а максимум на 2019 год.

4.1.2 Тренд временного ряда

Таблица 4.2. Расчет характеристик линейного тренда как линейной регрессии.

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,73			
R-квадрат	0,54			
Нормированный R-квадрат	0,53			
Стандартная ошибка	0,69			
Наблюдения	42			
Дисперсионный анализ				
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Регрессия	1	22,45	22,45	46,47
Остаток	40	19,32	0,48	
Итого	41	41,77		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	
Tb	9,59	0,22	43,91	
ti (a1)	0,06	0,01	6,82	

Для того, чтобы оценить значимость линейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^* = 10,27$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$10,27 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции $r = 0,54$ значим, тренд влияет в формирование изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость линейный коэффициент $a_1 = 0,06$. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для

проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^*_{a_1} = 8,4$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$6,82 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, линейный тренд присутствует.

Таблица 4.3. Расчет характеристик нелинейного тренда как множественной регрессии.

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,74			
R-квадрат	0,55			
Нормированный R-квадрат	0,53			
Стандартная ошибка	0,69			
Наблюдения	42			
Дисперсионный анализ				
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Регрессия	2	23,01	11,50	23,92
Остаток	39	18,76	0,48	
Итого	41	41,77		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	
ТВ	9,87	0,34	29,28	
ti (a1)	0,02	0,04	0,62	
ti^2 (a2)	0,001	0,001	1,08	

Для того, чтобы оценить значимость нелинейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^* = 10,71$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$10,71 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции $r = 0,55$ значим, тренд влияет в формирование изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость нелинейные коэффициенты $a_1 = 0,02$ и $a_2 = 0,001$. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq$

0. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^*_{a_1} = 0,62$$

$$t^*_{a_2} = 1,08$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$0,62 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, нелинейного тренда нет.

$1,08 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, нелинейного тренда нет.

После проверки коэффициентов регрессии видно, что присутствует только один тренд – нелинейный.

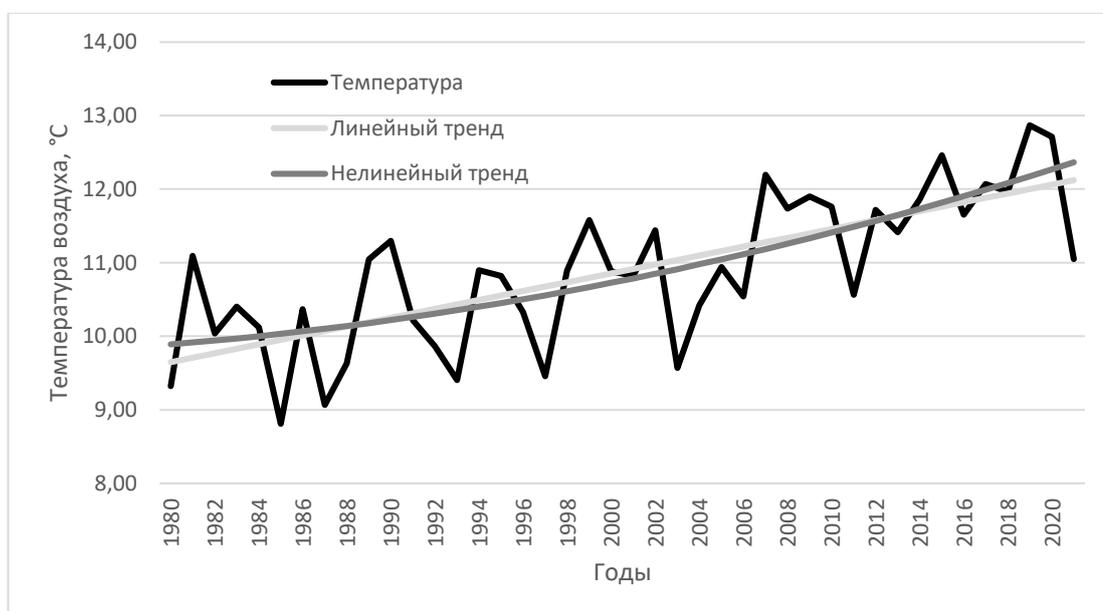


Рисунок 4.2. Среднегодовая температура воздуха в Черном море и ее линейный и нелинейный тренды.

Уравнение линейного тренда: $T_w = 0,05 * t + 9,59$

Уравнение нелинейного тренда: $T_w = 0,001 * t^2 + 0,02 * t + 9,87$

Характер тренда: положительный, температура растет. Нелинейный тренд вносит значительный вклад в дисперсию исходного ряда. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 0,05$ °C/год. Тогда величина тренда $Tr = 0,5$ °C/10 лет.

4.1.3 Гармонический анализ

Из ряда среднегодовой температуры воды вычитается значимый тренд – линейный. Получается ряд отклонений. По значениям отклонений строится периодограмма.

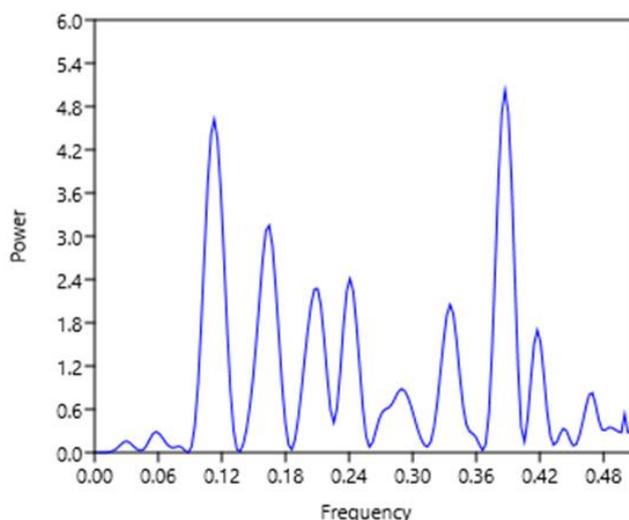


Рисунок 4.3. Периодограмма для ряда отклонений.

По периодограмме (рисунок 4.3) определяем частоты гармоник (ω), которые соответствуют пикам периодограммы. В данном случае их 10:

$\omega = 0,11$ (год⁻¹); $\omega = 0,16$ (год⁻¹); $\omega = 0,21$ (год⁻¹); $\omega = 0,24$ (год⁻¹); $\omega = 0,29$ (год⁻¹); $\omega = 0,34$ (год⁻¹); $\omega = 0,39$ (год⁻¹); $\omega = 0,42$ (год⁻¹); $\omega = 0,47$ (год⁻¹); $\omega = 0,50$ (год⁻¹).

Таблица 4.5. Расчет характеристик гармоник.

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
ω год ⁻¹	0,11	0,16	0,21	0,24	0,29	0,34	0,39	0,42	0,47	0,50
T	8,9	6,1	4,8	4,2	3,5	3,0	2,6	2,4	2,1	2,0
ω рад/с	0,71	1,03	1,32	1,51	1,82	2,11	2,43	2,62	2,95	3,14
a	0,38	-0,26	0,27	-0,28	-0,14	-0,05	-0,45	-0,19	0,08	0,01
b	-0,08	-0,26	-0,16	-0,17	-0,14	-0,29	0,16	0,19	0,16	-0,14
A	0,39	0,37	0,32	0,33	0,20	0,30	0,48	0,27	0,18	0,14
ϕ рад	1,79	3,92	2,10	4,18	0,79	3,31	-1,23	-0,78	3,60	-0,04
ϕ год	2,5	3,8	1,6	2,8	0,4	1,6	-0,5	-0,3	1,2	0,0
D	0,08	0,07	0,05	0,05	0,02	0,04	0,11	0,04	0,02	0,01
V	0,17	0,15	0,11	0,12	0,04	0,10	0,25	0,08	0,03	0,02

Проверка гармоник на значимость (приложение 1) показала, что из 10 выявленных гармоник, статистически значимыми оказались лишь 6.

Восстанавливаем ряд отклонений по уравнениям значимых гармоник:

$$G_1 = 0,39 * \cos(0,71 * t_i - 1,79)$$

$$G_2 = 0,37 * \cos(1,03 * t_i - 3,92)$$

$$G_3 = 0,32 * \cos(1,32 * t_i - 2,10)$$

$$G_4 = 0,33 * \cos(1,51 * t_i - 4,18)$$

$$G_6 = 0,30 * \cos(2,11 * t_i - 3,31)$$

$$G_7 = 0,48 * \cos(2,43 * t_i + 1,23)$$

Находим сумму гармоник, и строим по полученным значениям совмещенный график исходных и восстановленных значений температуры воздуха Черного моря.

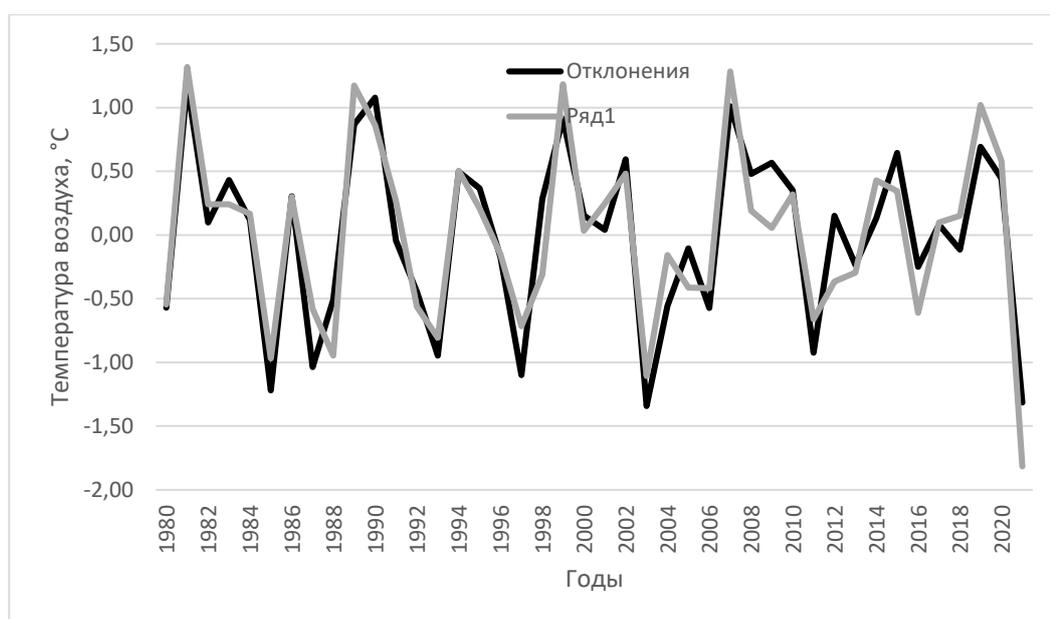


Рисунок 4.5. Совмещенный график отклонений и суммы гармоник.

Гармоника с периодом в 8,9 лет связана с 11-летним циклом солнечной активности. Фаза составляет 2,5 лет.

Гармоника с периодом в 6,1 года связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 3,8 года.

Гармоника с периодом в 4,8 лет связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 1,6 года.

Гармоника с периодом в 4,2 года связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 2,8 года.

Гармоника с периодом в 3 года связана с отголосками 1,5 летнего периода Чандлера. Фаза составляет 1,6 года.

Гармоника с периодом в 2,6 года связана с отголосками 1,5 летнего периода Чандлера. Фаза составляет 0,5 года.

Из рисунка 4.5, видно, что восстановленные значения температуры воздуха у поверхности хорошо описывают ход исходной температуры воздуха Черного моря.

4.2 Температура поверхности Черного моря

4.2.1. Первичные статистики

Для среднегодовой температуры поверхности Черного моря были посчитаны рассчитаны первичные статистики.

Таблица 4.6. Описательные статистики среднегодовой температуры поверхности Черного моря

ТПМ		
Среднее	11,17	°C
Стандартная ошибка	0,16	°C
Медиана	11,17	°C
Стандартное отклонение	1,02	°C
Дисперсия выборки	1,04	°C ²
Эксцесс	-0,58	
Асимметричность	-0,07	
Размах вариации	4,13	°C
Минимум	9,08	°C
Максимум	13,21	°C
Коэффициент вариации	1,41	%

Далее был построен график среднегодовой изменчивости температуры поверхности Черного моря, на которую были нанесены стандартное отклонение, среднее значение и размах вариации.

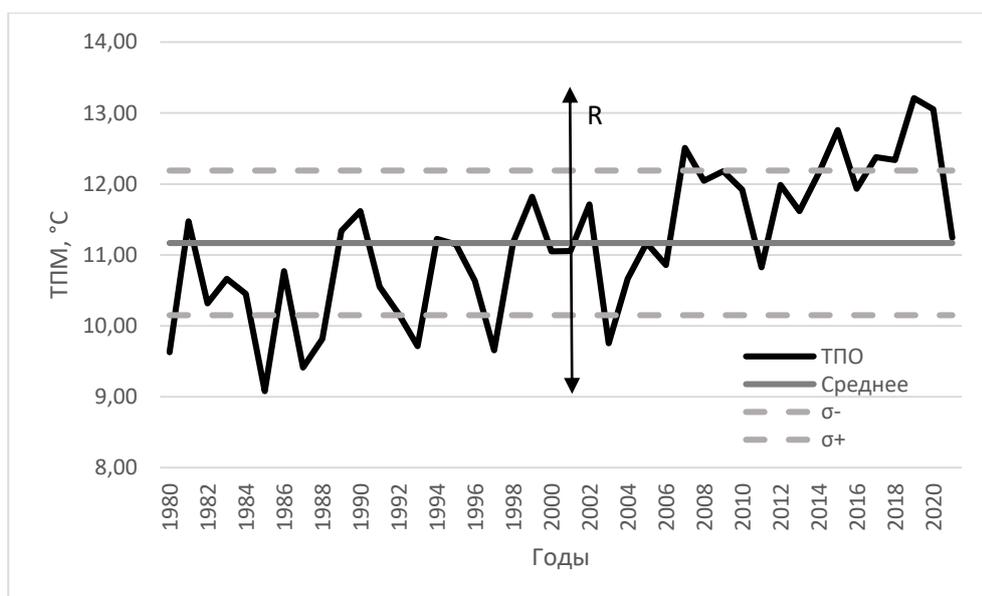


Рисунок 4.6. Среднегодовая изменчивость температуры поверхности Черного моря.

Из таблицы 4.6 видно, что размах вариации составил $4,13^{\circ}\text{C}$, а среднее значение $11,17^{\circ}\text{C}$. Коэффициент вариации, который показывает какую долю среднего значения составляет её средний разброс, из таблицы видно, что он составляет $1,41\%$ от среднего значения, что меньше 33% , следовательно, сила влияющих факторов незначительна. Минимум пришелся на 1985 год, а максимум на 2019 год.

4.2.2 Тренд временного ряда

Таблица 4.7. Расчет характеристик линейного тренда как линейной регрессии.

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,72			
R-квадрат	0,51			
Нормированный R-квадрат	0,50			
Стандартная ошибка	0,72			
Наблюдения	42			
Дисперсионный анализ				
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Регрессия	1	21,79	21,79	41,96
Остаток	40	20,77	0,52	
Итого	41	42,56		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	
ТПМ	9,89	0,23	43,69	
ti (a1)	0,06	0,01	6,48	

Для того, чтобы оценить значимость линейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его

проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^* = 9,50$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$9,50 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции $r = 0,51$ значим, тренд влияет в формирование изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость линейный коэффициент $a_1 = 0,06$. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^*_{a_1} = 6,48$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$6,48 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, линейный тренд присутствует.

Таблица 4.8. Расчет характеристик нелинейного тренда как множественной регрессии.

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,73			
R-квадрат	0,53			
Нормированный R-квадрат	0,51			
Стандартная ошибка	0,72			
Наблюдения	42			
Дисперсионный анализ				
	df	SS	MS	F
Регрессия	2	22,55	11,28	21,98
Остаток	39	20,01	0,51	
Итого	41	42,56		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	
ТПМ	10,22	0,35	29,35	
ti (a1)	0,02	0,04	0,41	
ti^2 (a2)	0,001	0,001	1,22	

Для того, чтобы оценить значимость нелинейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и

альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^* = 10,04$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$10,04 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции $r = 0,53$ значим, тренд влияет в формирование изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость нелинейные коэффициенты $a_1 = 0,02$ и $a_2 = 0,001$. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^*_{a_1} = 0,41$$

$$t^*_{a_2} = 1,22$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$0,41 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, нелинейного тренда нет.

$1,22 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, нелинейного тренда нет.

После проверки коэффициентов регрессии видно, что присутствует только один тренд – линейный.

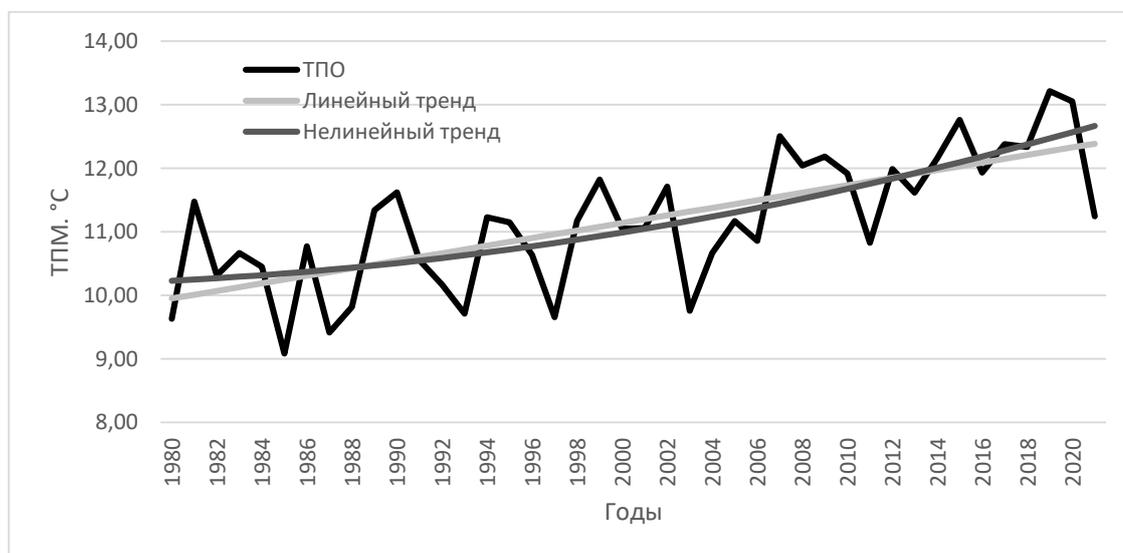


Рисунок 4.7. Среднегодовая температура воздуха у поверхности и ее линейный и нелинейный тренды.

Уравнение линейного тренда: $T_w = 0,06 * t + 9,89$

Уравнение нелинейного тренда: $T_w = 0,001 * t^2 + 0,02 * t + 10,22$

Характер тренда: положительный, температура растет. Нелинейный тренд вносит значительный вклад в дисперсию исходного ряда. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 0,06$ °C/год. Тогда величина тренда $Tr = 0,6$ °C/10 лет.

4.2.3 Гармонический анализ

Из ряда среднегодовой температуры воздуха у поверхности вычитается значимый тренд – линейный. Получается ряд отклонений. По значениям отклонений строится периодограмма.

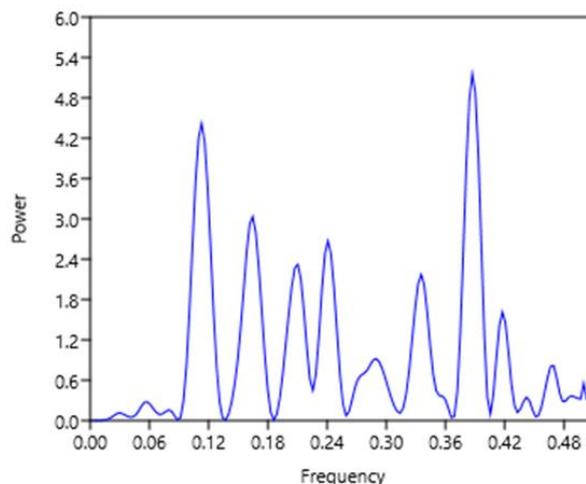


Рисунок 4.8. Периодограмма для ряда отклонений.

По периодограмме (рисунок 4.8) определяем частоты гармоник (ω), которые соответствуют пикам периодограммы. В данном случае их 10:

$\omega = 0,11(\text{год}^{-1})$; $\omega = 0,16(\text{год}^{-1})$; $\omega = 0,21(\text{год}^{-1})$; $\omega = 0,24(\text{год}^{-1})$; $\omega = 0,29(\text{год}^{-1})$; $\omega = 0,34(\text{год}^{-1})$; $\omega = 0,39(\text{год}^{-1})$; $\omega = 0,42(\text{год}^{-1})$; $\omega = 0,47(\text{год}^{-1})$; $\omega = 0,50(\text{год}^{-1})$.

Таблица 4.9. Расчет характеристик гармоник

	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇	G ₈	G ₉	G ₁₀
ω год ⁻¹	0,11	0,16	0,21	0,24	0,29	0,34	0,39	0,42	0,47	0,50
T	9,1	6,1	4,8	4,2	3,5	3,0	2,6	2,4	2,1	2,0
ω рад/с	0,69	1,03	1,32	1,51	1,82	2,11	2,43	2,62	2,95	3,14
a	0,39	-0,26	0,28	-0,31	-0,14	-0,07	-0,47	-0,18	0,08	0,01
b	0,10	-0,27	-0,17	-0,18	-0,15	-0,31	0,16	0,20	0,17	-0,15
A	0,40	0,37	0,33	0,35	0,21	0,32	0,50	0,27	0,18	0,15
φ рад	1,33	3,91	2,11	4,18	0,73	3,35	-1,25	-0,73	3,60	3,10
φ год	1,9	3,8	1,6	2,8	0,4	1,6	-0,5	-0,3	1,2	1,0
D	0,08	0,07	0,05	0,06	0,02	0,05	0,12	0,04	0,02	0,01
V	0,17	0,14	0,11	0,13	0,04	0,10	0,25	0,08	0,03	0,02

Проверка гармоник на значимость (приложение 1) показала, что из 10 выявленных гармоник, статистически значимыми оказались лишь 5.

Восстанавливаем ряд отклонений по уравнениям значимых гармоник:

$$G_1 = 0,40 * \cos(0,69 * t_i - 1,33)$$

$$G_2 = 0,37 * \cos(1,03 * t_i - 3,91)$$

$$G_3 = 0,33 * \cos(1,32 * t_i - 2,11)$$

$$G_4 = 0,35 * \cos(1,51 * t_i - 4,18)$$

$$G_7 = 0,50 * \cos(2,43 * t_i + 1,25)$$

Находим сумму гармоник, и строим по полученным значениям совмещенный график исходных и восстановленных значений температуры воды.

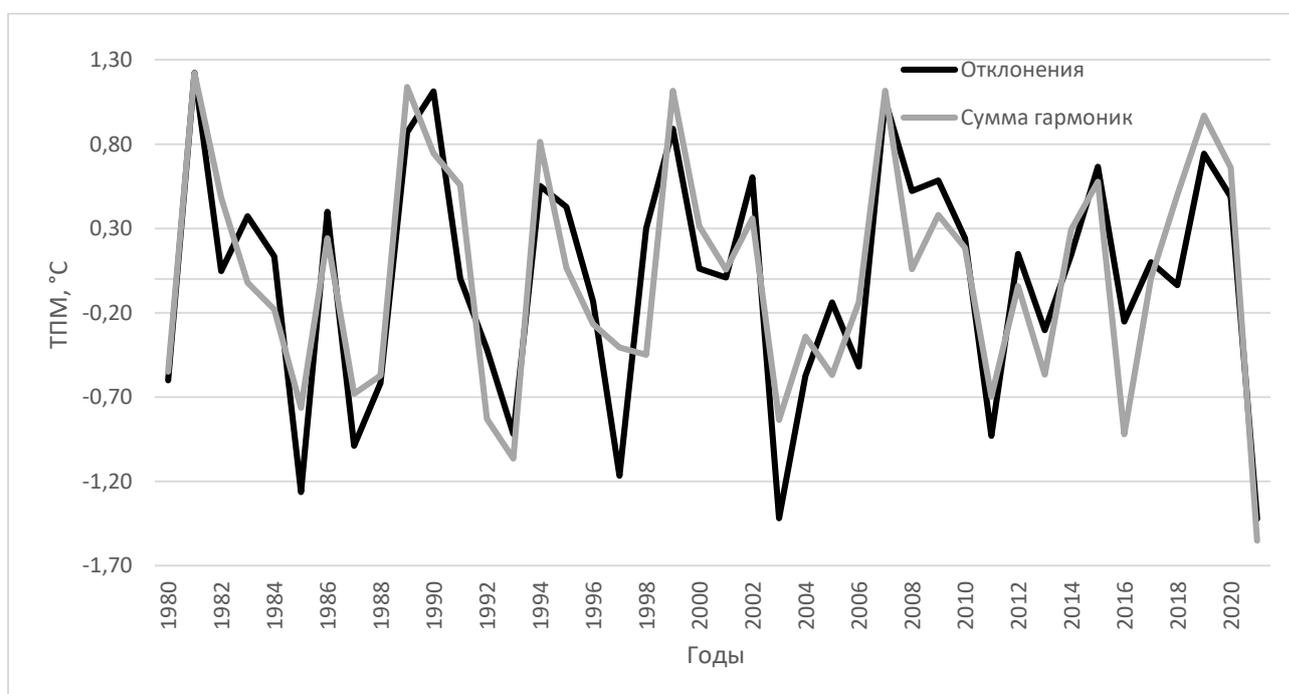


Рисунок 4.9. Совмещенный график отклонений и суммы гармоник.

Гармоника с периодом в 9,1 года связана с 11-летним циклом солнечной активности. Фаза составляет 1,9 лет.

Гармоника с периодом в 6,1 года связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 3,8 года.

Гармоника с периодом в 4,8 лет связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 1,6 года.

Гармоника с периодом в 4,2 года связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 2,8 года.

Гармоника с периодом в 2,6 года связана с отголосками 1,5 летнего периода Чандлера. Фаза составляет 0,5 года.

Из рисунка 4.9, видно, что восстановленные значения температуры поверхности Черного моря хорошо описывают ход исходной температуры воды.

4.3 Радиационный баланс

4.3.1 Первичные статистики

Для среднегодового радиационного баланса Черного моря были рассчитаны первичные статистики.

Таблица 4.10. Описательные статистики среднегодового радиационного баланса Черного моря.

Радиационный баланс		
Среднее	76,86	Вт/м ²
Стандартная ошибка	0,26	Вт/м ²
Медиана	76,83	Вт/м ²
Стандартное отклонение	1,71	Вт/м ²
Дисперсия выборки	2,93	(Вт/м ²) ²
Эксцесс	0,50	
Асимметричность	0,12	
Размах вариации	8,34	Вт/м ²
Минимум	72,69	Вт/м ²
Максимум	81,03	Вт/м ²
Коэффициент вариации	0,34	%

Далее был построен график изменчивости среднегодового радиационного баланса Черного моря, на который были нанесены стандартное отклонение, среднее значение и размах вариации.

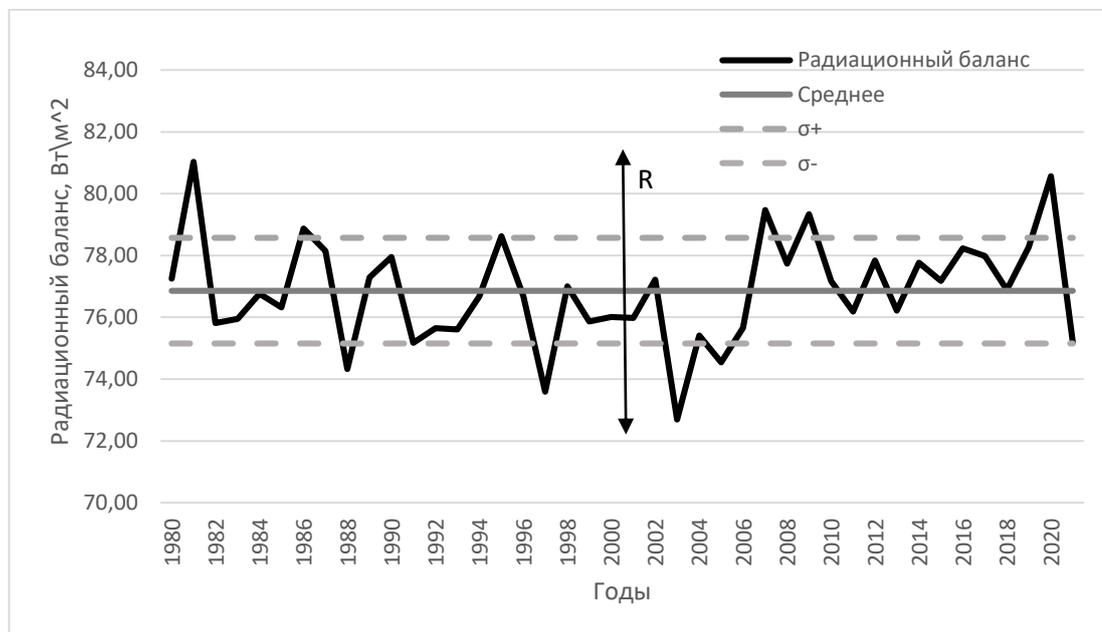


Рисунок 4.10. Среднегодовая изменчивость радиационного баланса Черного моря.

Из таблицы 4.10 видно, что размах вариации составил $8,34 \text{ Вт/м}^2$, а среднее значение $76,86 \text{ Вт/м}^2$. Коэффициент вариации, который показывает какую долю среднего значения составляет её средний разброс, из таблицы видно, что он составляет $0,34\%$ от среднего значения, что больше 33% , следовательно, сила влияющих факторов значительна. Минимум пришелся на 2003 год, а максимум на 1981 год.

4.3.2 Тренд временного ряда

Таблица 4.11. Расчет характеристик линейного тренда как линейной регрессии.

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,11			
R-квадрат	0,01			
Нормированный R-квадрат	-0,01			
Стандартная ошибка	1,72			
Наблюдения	42,00			
Дисперсионный анализ				
	df	SS	MS	F
Регрессия	1,00	1,56	1,56	0,53
Остаток	40,00	118,58	2,96	
Итого	41,00	120,14		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	
Радиационный баланс	76,52	0,54	141,44	
ti (a1)	0,02	0,02	0,72	

Для того, чтобы оценить значимость линейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^* = 0,75$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$0,75 < 2,02$, нулевая гипотеза подтверждается, коэффициент корреляции $r = 0,01$ не значим, тренд не влияет в формирование изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость линейный коэффициент $a_1 = 0,02$. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^*_{a_1} = 0,72$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$0,72 < 2,02$, нулевая гипотеза принимается, линейный тренд отсутствует.

Таблица 4.12. Расчет характеристик нелинейного тренда как множественной регрессии.

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,38			
R-квадрат	0,14			
Нормированный R-квадрат	0,10			
Стандартная ошибка	1,63			
Наблюдения	42,00			
Дисперсионный анализ				
	df	SS	MS	F
Регрессия	2,00	17,03	8,51	3,22
Остаток	39,00	103,11	2,64	
Итого	41,00	120,14		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	
Радиационный баланс	77,97	0,79	98,70	
ti (a1)	-0,18	0,08	-2,16	
ti^2 (a2)	0,005	0,002	2,42	

Для того, чтобы оценить значимость нелинейного тренда, нужно проверить его множественный R, он же коэффициент корреляции r . Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^* = 2,84$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,84 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции $r = 0,14$ значим, тренд влияет в формирование изменчивости исходного ряда.

Также для оценки линейного тренда нужно проверить на значимость нелинейные коэффициенты $a_1 = 0,18$ и $a_2 = 0,005$. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

$$t^*_{a_1} = 2,16$$

$$t^*_{a_2} = 2,42$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,16 > 2,02$, нулевая гипотеза может быть отвергнута, нелинейный тренд присутствует.

$2,42 > 2,02$, нулевая гипотеза может быть отвергнута, нелинейный тренд присутствует.

После проверки коэффициентов регрессии видно, что присутствует только один тренд – нелинейный.

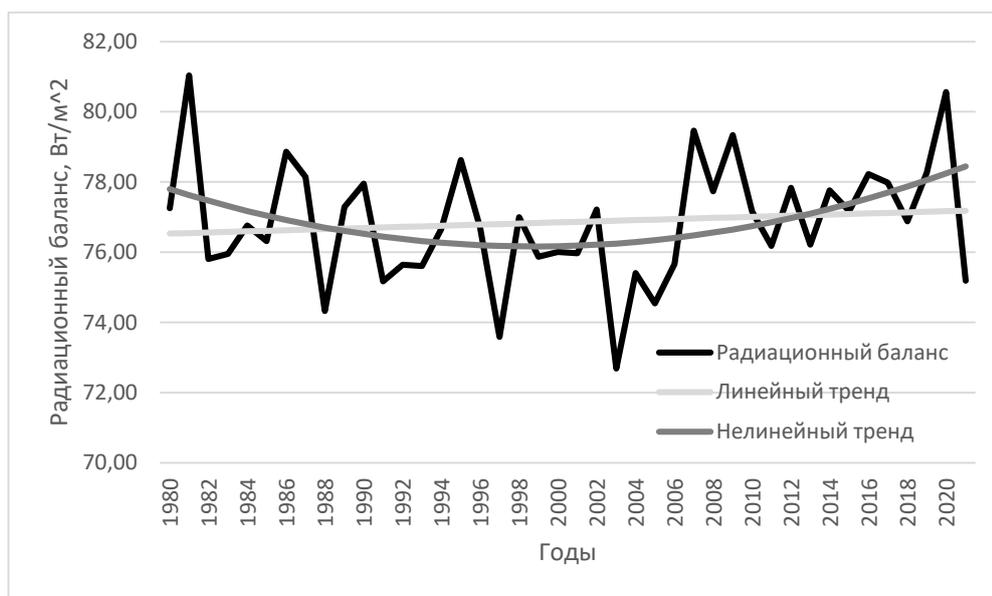


Рисунок 4.11. Среднегодовой радиационный баланс и его линейный и нелинейный тренды.

Уравнение линейного тренда: $T_w = 0,02 * t + 76,52$

Уравнение нелинейного тренда: $T_w = 0,005 * t^2 + 0,18 * t + 77,97$

Характер тренда: положительный, температура растет. Нелинейный тренд вносит значительный вклад в дисперсию исходного ряда. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 0,02$ Вт/м²/год. Тогда величина тренда $Tr = 0,2$ Вт/м²/10 лет.

4.3.3 Гармонический анализ

Из ряда среднегодового радиационного баланса вычитается значимый тренд – нелинейный. Получается ряд отклонений. По значениям отклонений строится периодограмма.

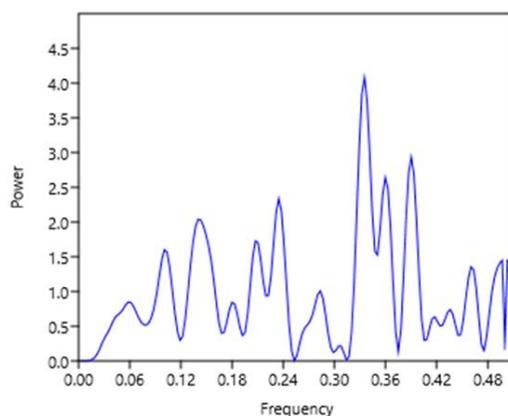


Рисунок 4.12. Периодограмма для ряда отклонений.

По периодограмме (Рисунок 4.12) определяем частоты гармоник (ω), которые соответствуют пикам периодограммы. В данном случае их 13:

$\omega = 0,06$ (год⁻¹); $\omega = 0,10$ (год⁻¹); $\omega = 0,14$ (год⁻¹); $\omega = 0,18$ (год⁻¹); $\omega = 0,21$ (год⁻¹); $\omega = 0,23$ (год⁻¹); $\omega = 0,28$ (год⁻¹); $\omega = 0,34$ (год⁻¹); $\omega = 0,36$ (год⁻¹); $\omega = 0,39$ (год⁻¹); $\omega = 0,46$ (год⁻¹); $\omega = 0,50$ (год⁻¹); $\omega = 0,50$ (год⁻¹).

Таблица 4.13. Расчет характеристик гармоник.

	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇	G ₈	G ₉	G ₁₀	G ₁₁	G ₁₂	G ₁₃
ω год ⁻¹	0,058	0,101	0,140	0,180	0,207	0,235	0,284	0,335	0,360	0,390	0,460	0,497	0,503
T	17,3	9,9	7,1	5,6	4,8	4,3	3,5	3,0	2,8	2,6	2,2	2,0	2,0
ω рад/с	0,36	0,63	0,88	1,13	1,30	1,47	1,78	2,11	2,26	2,45	2,89	3,12	3,16
a	-0,32	-0,31	0,45	0,33	0,54	-0,33	0,09	-0,32	-0,79	-0,65	-0,52	0,31	-0,27
b	0,24	0,52	0,53	0,31	-0,35	-0,66	-0,48	-0,93	0,15	0,54	0,26	-0,22	-0,25
A	0,40	0,61	0,70	0,45	0,64	0,74	0,49	0,99	0,80	0,85	0,58	0,38	0,37
φ рад	2,21	-0,53	0,71	3,95	2,15	3,60	2,95	3,47	-1,38	-0,88	2,04	-0,96	3,96
φ год	6,1	-0,8	0,8	3,5	1,7	2,4	1,7	1,6	-0,6	-0,4	0,7	-0,3	1,3
D	0,08	0,18	0,24	0,10	0,20	0,27	0,12	0,49	0,32	0,36	0,17	0,07	0,07
V	0,03	0,07	0,10	0,04	0,08	0,11	0,05	0,19	0,13	0,14	0,07	0,03	0,03

Проверка гармоник на значимость показала, что из 13 выявленных гармоник, статистически значимыми оказались лишь 6.

Восстанавливаем ряд отклонений по уравнениям значимых гармоник:

$$\begin{aligned}
 G_3 &= 0,70 * \cos(0,88 * t_i - 0,71) \\
 G_5 &= 0,64 * \cos(1,30 * t_i - 2,15) \\
 G_6 &= 0,74 * \cos(1,47 * t_i - 3,60) \\
 G_8 &= 0,99 * \cos(2,11 * t_i - 3,47) \\
 G_9 &= 0,80 * \cos(2,26 * t_i + 1,38) \\
 G_{10} &= 0,85 * \cos(2,45 * t_i + 0,88)
 \end{aligned}$$

Находим сумму гармоник, и строим по полученным значениям совмещенный график исходных и восстановленных значений радиационного баланса.

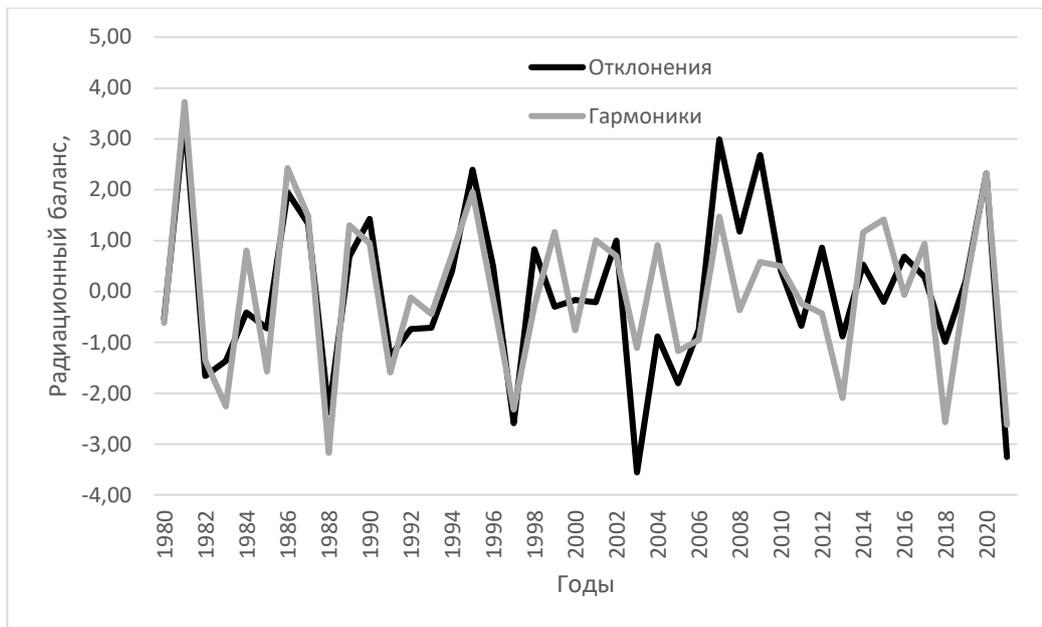


Рисунок 4.13. Совмещенный график отклонений и суммы гармоник.

Гармоника с периодом в 7,1 года связана с отголосками 11-летнего цикла солнечной активности. Фаза составляет 0,8 лет.

Гармоника с периодом в 4,8 года связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 1,7 года.

Гармоника с периодом в 4,3 лет связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 2,4 года.

Гармоника с периодом в 3 года связана с отголосками 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли. Фаза составляет 1,6 года.

Гармоника с периодом в 2,8 года связана с отголосками 1,5 летнего периода Чандлера. Фаза составляет 0,6 года.

Гармоника с периодом в 2,6 года связана с отголосками 1,5 летнего периода Чандлера. Фаза составляет 0,4 года.

Из рисунка 4.13, видно, что восстановленные значения радиационного баланса хорошо описывают ход исходного радиационного баланса.

4.4 Выводы по главе

1. Ряд среднегодовой температуры воздуха Черного моря.

Таблица 4.14. Вклад каждой составляющей ряда в дисперсию выборки.

Температура воздуха				
	Исходный ряд	Тренд	Гармоники	Шум
Дисперсия	1,02	0,56	0,44	0,00
Вклад в дисперсию, %	100	56	44	0

Статистический анализ ряда среднегодовой температуры воздуха Черного моря в точке (31,37 в.д. 45,6 с.ш.) показал, что 100% вклада в дисперсию ряда вносят неслучайные составляющие, из них тренд вносит 56%, гармоники – 44%. Случайной составляющей нет.

2. Ряд среднегодовой температуры поверхности Черного моря.

Таблица 4.15. Вклад каждой составляющей ряда в дисперсию выборки.

Температура поверхности				
	Исходный ряд	Тренд	Гармоники	Шум
Дисперсия	1,04	0,55	0,46	0,03
Вклад в дисперсию, %	100	53	44	3

Статистический анализ ряда среднегодовой температуры поверхности Черного моря в точке (31,37 в.д. 45,6 с.ш.) показал, что 97% вклада в дисперсию ряда вносят неслучайные составляющие, из них тренд вносит 53%, гармоники – 44%. На случайную составляющую приходится 3% вклада в дисперсию ряда. Случайные факторы практически не влияют на общую дисперсию ряда.

3. Ряд среднегодового радиационного баланса Черного моря.

Таблица 4.16. Вклад каждой составляющей ряда в дисперсию выборки.

Радиационный баланс				
	Исходный ряд	Тренд	Гармоники	Шум
Дисперсия	2,93	0,42	2,34	0,17
Вклад в дисперсию, %	100	14	80	6

Статистический анализ ряда среднегодового радиационного баланса Черного моря в точке (31,37 в.д. 45,6 с.ш.) показал, что 94% вклада в дисперсию ряда вносят неслучайные составляющие, из них тренд вносит 14%, гармоники –

80%. На случайную составляющую приходится 6% вклада в дисперсию ряда. Случайные составляющие вносят значительный вклад в общую дисперсию ряда.

4. Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что на температуру воздуха и температуру поверхности моря внешние факторы практически не влияют, природа сама задает её ход, человеческий фактор не влияет от слова совсем. Также стоит отметить, что основной вклад в общую дисперсию ряда вносит тренд, чего нельзя сказать о радиационном балансе, у которого большая часть дисперсии описывается гармониками, что говорит о том, что солнечные циклы очень сильно влияют на изменчивость радиационного баланса.

Заключение

В данной работе был исследован статистические ряды температуры воздуха, поверхности океана и ряд радиационного баланса в Черном море в 2 точках ((33,75 в.д. 42,8 с.ш.); (31,37 в.д. 45,6 с.ш.)), в период с 1980 по 2021 год.

Данное море является важнейшим морем РФ, анализ его характеристик необходим для океанологического обеспечения судов, предсказания критических ситуаций, погодных аномалий.

В результате выполненных расчетов и анализа полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. Статистические методы можно использовать при анализе данных рядов.
2. На температуру и радиационный баланс, в первую очередь, влияет природа, а не человек.
3. Радиационный баланс очень сильно зависит от солнечных циклов, таких как Брикнеров цикл и цикл 11-летней солнечной активности.
4. Температура поверхности моря и температура воздуха в меньшей степени подвержены солнечным циклам, но при исследовании гармоник были выявлены некоторые гармоники, которые можно связать с такими циклами как: период Чандлера, период 7-летнего цикла изменения интенсивности перемещения полюсов Земли, а также с циклом 11-летней солнечной активности.
5. Общая тенденция температуры воздуха и поверхности моря – рост, радиационного баланса – с 1980 по 2000г падение, с 2000 по н.в – рост. Данные тенденции наблюдаются в 2 рассматриваемых случаях.

Список используемой литературы

1. Океанография Черного моря / В.А.Иванов, В.Н.Белокопытов; НАН РФ, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 2011 – с. 212. (дата обращения 04.02.2022).
2. Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. М., Том 2, Изд-во МГУ, 1982 г. С ил., 192 с. (Черное море). (дата обращения 04.02.2022).
3. Ф. С. Терзиев (отв. редактор), Н. П. Гоптарев, В. И. Калацкий, М. М. Борисенко, В. Е. Бородачев, Д. Е. Гершанович, Г. В. Гирдюк, А. А. Керимов, Н. Н. Колесниченко, В. А. Рожков, В. Г Федорей /Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. (дата обращения 08.02.2022).
4. Коршенко А.Н. Качество морских вод по гидрохимическим показателям//ГОИН Ежегодник 2019 год-2020, Москва, «Наука», 61-63 стр. (дата обращения 08.02.2022).
5. В.В. Ефимов, А.Е. Анисимов Влияние Черного моря на региональный климат // Мор. гидрофиз. журн., 2012, № 2, 40-48 стр. (дата обращения 08.02.2022).
6. Ефимов В.В., Анисимов А.Е. Климатические характеристики изменчивости поля ветра в Черноморском регионе – численный реанализ региональной атмосферной циркуляции // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2011. – 47, № 3. – С. 380 – 392. (дата обращения 09.02.2022).
7. Игнатов Е. И. Современные представления о рельефе берегов и дна Черного моря // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2010. №1.56-58 стр. (дата обращения 09.02.2022).
8. А.Б. Полонский, И.Г. Шокурова, В.Н. Белокопытов Десятилетняя изменчивость температуры и солености в Черном море//Мор. гидрофиз. журн., 2013, № 6-27-39 стр. (дата обращения 09.02.2022).
9. Каримова С.С. Вихревые течения в Черном море // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных

явлений и объектов. – М.: ООО «Азбука–2000». – 2008. – Выпуск 5, Т.II. – 95-101 стр. (дата обращения 09.03.2022).

10. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. / В.Н. Малинин. – СПб.: РГГМУ, 2020. (дата обращения 09.09.2021).

11. Гордеева С.М. Практикум по курсу Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации. / С.М. Гордеева. - СПб: РГГМУ, 2017. (дата обращения 09.09.2021).

12. Сайт columbia. [Электронный ресурс] URL: <http://iridl.ldeo.columbia.edu> (дата обращения 09.10.2021).

1. Ряд среднегодовой температуры воздуха в точке (33,75 в.д. 42,8 с.ш.).

Проверка гармоник на значимость:

Вклад гармоник в общую дисперсию ряда (V из расчета характеристик гармоник) – аналог коэффициента детерминации (r^2), следовательно, вклад может быть аналогично проверен на значимость как коэффициент детерминации. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

Гармоника 1 (G_1).

$$\begin{aligned} t^* &= 1,83 \\ t_{кр} &= 2,02 \end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,83 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,07$ (7%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 2 (G_2).

$$\begin{aligned} t^* &= 1,72 \\ t_{кр} &= 2,02 \end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,72 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,06$ (6%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 3 (G_3).

$$\begin{aligned} t^* &= 2,19 \\ t_{кр} &= 2,02 \end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,19 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,9$ (9%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 4 (G_4).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,89 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,89 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,15$ (15%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 5 (G_5).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,83 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,83 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,14$ (14%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 6 (G_6).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,52 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,52 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,12$ (12%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 7 (G_7).

$$\begin{aligned}t^* &= 1,53 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,53 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,05$ (5%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 8 (G_8).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,83 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,83 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,14$ (14%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 9 (G_9).

$$\begin{aligned}t^* &= 1,74 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,74 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,06$ (6%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 10 (G_8).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,22 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,22 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,10$ (10%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 11 (G_8).

$$\begin{aligned}t^* &= 3,21 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$3,21 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,17$ (17%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

2. Ряд среднегодовой температуры поверхности моря в точке (33,75 в.д. 42,8 с.ш.).

Проверка гармоник на значимость:

Вклад гармоник в общую дисперсию ряда (V из расчета характеристик гармоник) – аналог коэффициента детерминации (r^2), следовательно, вклад может быть аналогично проверен на значимость как коэффициент детерминации. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

Гармоника 1 (G_1).

$$t^* = 2,71$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,71 > 2,02$, нулевая гипотеза может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,13$ (13%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 2 (G_2).

$$t^* = 1,85$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,85 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,07$ (7%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 3 (G_3).

$$t^* = 2,41$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,41 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,11$ (11%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 4 (G_4).

$$t^* = 3,09$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$3,09 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоники в общую дисперсию ряда $V=0,16$ (16%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 5 (G_5).

$$t^* = 2,47$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,47 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоники в общую дисперсию ряда $V=0,11$ (11%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 6 (G_6).

$$t^* = 2,15$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,15 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоники в общую дисперсию ряда $V=0,09$ (9%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 7 (G_7).

$$t^* = 1,39$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,39 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоники в общую дисперсию ряда $V=0,04$ (4%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 8 (G_8).

$$t^* = 1,23$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,23 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,03$ (3%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 9 (G_9).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,36 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,36 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,11$ (11%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 10 (G_{10}).

$$\begin{aligned}t^* &= 1,54 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,54 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,05$ (5%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 11 (G_{11}).

$$\begin{aligned}t^* &= 1,25 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,25 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,03$ (3%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 12 (G_{12}).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,44 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,44 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,11$ (11%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 13 (G_{13}).

$$t^* = 3,39$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

3,39 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,18$ (18%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

3. Ряд среднегодового радиационного баланса в точке (33,75 в.д. 42,8 с.ш.).

Проверка гармоник на значимость:

Вклад гармоник в общую дисперсию ряда (V из расчета характеристик гармоник) – аналог коэффициента детерминации (r^2), следовательно, вклад может быть аналогично проверен на значимость как коэффициент детерминации. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

Гармоника 1 (G_1).

$$t^* = 4,26$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

4,26 > 2,02, нулевая гипотеза может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,25$ (25%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 2 (G_2).

$$t^* = 2,01$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,01 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,08$ (8%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 3 (G_3).

$$t^* = 1,91$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,91 < 2,02$, нулевая гипотеза не отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,07$ (7%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 4 (G_4).

$$t^* = 1,21$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,21 < 2,02$, нулевая гипотеза не отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,3$ (3%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 5 (G_5).

$$t^* = 2,57$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,57 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,12$ (12%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 6 (G_6).

$$t^* = 2,75$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,75 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,13$ (13%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 7 (G_7).

$$\begin{aligned}t^* &= 1,54 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

1,54 < 2,02, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,05$ (5%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 8 (G_8).

$$\begin{aligned}t^* &= 3,14 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

3,14 > 2,02, нулевая гипотеза может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,16$ (16%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 9 (G_9).

$$\begin{aligned}t^* &= 1,31 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

1,31 < 2,02, нулевая гипотеза не отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,04$ (4%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 10 (G_{10}).

$$\begin{aligned}t^* &= 1,77 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,77 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,07$ (7%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

1. Ряд среднегодовой температуры воздуха в точке (31,37 в.д. 45,6 с.ш.).

Проверка гармоник на значимость:

Вклад гармоник в общую дисперсию ряда (V из расчета характеристик гармоник) – аналог коэффициента детерминации (r^2), следовательно, вклад может быть аналогично проверен на значимость как коэффициент детерминации. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

Гармоника 1 (G_1).

$$t^* = 3,16$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$3,16 > 2,02$, нулевая гипотеза может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,17$ (17%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 2 (G_2).

$$t^* = 2,93$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,93 > 2,02$, нулевая гипотеза может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,15$ (15%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 3 (G_3).

$$t^* = 2,41$$

$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,41 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,11$ (11%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 4 (G_4).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,51 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,51 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,12$ (12%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 5 (G_5).

$$\begin{aligned}t^* &= 1,39 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

1,39 < 2,02, нулевая гипотеза не отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,04$ (4%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 6 (G_6).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,24 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,24 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,10$ (10%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 7 (G_7).

$$\begin{aligned}t^* &= 4,30 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

4,30>2,02, нулевая гипотеза может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,25$ (25%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 8 (G_8).

$$t^* = 2,03$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,03>2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,08$ (8%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 9 (G_9).

$$t^* = 1,25$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

1,25<2,02, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,03$ (3%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 10 (G_{10}).

$$t^* = 0,98$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

0,98<2,02, нулевая гипотеза не отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,02$ (2%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

2. Ряд среднегодовой температуры поверхности моря в точке (31,37 в.д. 45,6 с.ш.).

Проверка гармоник на значимость:

Вклад гармоник в общую дисперсию ряда (V из расчета характеристик гармоник) – аналог коэффициента детерминации (r^2), следовательно, вклад может быть аналогично проверен на значимость как коэффициент

детерминации. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

Гармоника 1 (G_1).

$$t^* = 3,16$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$3,16 > 2,02$, нулевая гипотеза может быть отвергнута, вклад гармоники в общую дисперсию ряда $V=0,17$ (17%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 2 (G_2).

$$t^* = 2,86$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,86 > 2,02$, нулевая гипотеза может быть отвергнута, вклад гармоники в общую дисперсию ряда $V=0,14$ (14%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 3 (G_3).

$$t^* = 2,45$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,45 > 2,02$, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоники в общую дисперсию ряда $V=0,11$ (11%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 4 (G_4).

$$t^* = 2,67$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,67 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,13$ (13%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 5 (G_5).

$$\begin{aligned}t^* &= 1,42 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

1,42 < 2,02, нулевая гипотеза не отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,04$ (4%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 6 (G_6).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,31 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,31 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,10$ (10%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 7 (G_7).

$$\begin{aligned}t^* &= 4,38 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

4,38 > 2,02, нулевая гипотеза может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,25$ (25%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 8 (G_8).

$$\begin{aligned}t^* &= 1,95 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

1,95 < 2,02, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,08$ (8%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 9 (G_9).

$$t^* = 1,25$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,25 < 2,02$, нулевая гипотеза не отвергается, вклад гармоники в общую дисперсию ряда $V=0,03$ (3%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 10 (G_{10}).

$$t^* = 1,02$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,02 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоники в общую дисперсию ряда $V=0,02$ (2%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

3. Ряд среднегодового радиационного баланса в точке (31,37 в.д. 45,6 с.ш.).

Проверка гармоник на значимость:

Вклад гармоники в общую дисперсию ряда (V из расчета характеристик гармоник) – аналог коэффициента детерминации (r^2), следовательно, вклад может быть аналогично проверен на значимость как коэффициент детерминации. Для того, чтобы его проверить формулируется нулевая гипотеза $H_0: r = 0$ и альтернативная $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотез используется статистический критерий Стьюдента, рассчитаем его критическое значение $t_{кр}$, а также критерий Стьюдента t^* .

Гармоника 1 (G_1).

$$t^* = 1,19$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

1,19 < 2,02, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,03$ (3%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 2 (G_2).

$$t^* = 1,89$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

1,89 < 2,02, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,07$ (7%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 3 (G_3).

$$t^* = 2,23$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,23 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,10$ (10%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 4 (G_4).

$$t^* = 1,36$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

1,36 < 2,02, нулевая гипотеза не отвергается, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,04$ (4%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 5 (G_5).

$$t^* = 2,03$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,03 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,08$ (8%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 6 (G_6).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,41 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,41 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,11$ (11%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 7 (G_7).

$$\begin{aligned}t^* &= 1,49 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

1,49 < 2,02, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,05$ (5%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 8 (G_8).

$$\begin{aligned}t^* &= 3,53 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

3,53 > 2,02, нулевая гипотеза может быть отвергнута, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,19$ (19%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 9 (G_9).

$$\begin{aligned}t^* &= 2,65 \\t_{кр} &= 2,02\end{aligned}$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

2,65 > 2,02, нулевая гипотеза отвергается, вклад гармоник в общую дисперсию ряда $V=0,13$ (13%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 10 (G_{10}).

$$t^* = 2,86$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$2,86 > 2,02$, нулевая гипотеза может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,14$ (14%) значим. Гармоника вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 11 (G_{11}).

$$t^* = 1,80$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,80 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,07$ (7%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 12 (G_{12}).

$$t^* = 1,14$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,14 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,03$ (3%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

Гармоника 13 (G_{13}).

$$t^* = 1,11$$
$$t_{кр} = 2,02$$

Сравниваем t^* с $t_{кр}$

$1,11 < 2,02$, нулевая гипотеза не может быть отвергнута, вклад гармоника в общую дисперсию ряда $V=0,03$ (3%) не значим. Гармоника не вносит значительный вклад в дисперсию ряда отклонений.

