



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 Средиземного моря

Исполнитель Кулинич Григорий Юрьевич

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель д.г.н., проф.

(ученая степень, ученое звание)

Малинин Валерий Николаевич

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Г.Н.

(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2022 г.

Санкт-Петербург,

2022 г

Оглавление

Введение.....	3
Физико-географические характеристики Средиземного моря.....	5
1.1 Тип моря.....	5
1.2 Гидрологические и климатические свойства	8
1.3 Водные массы.....	10
2 Возможные сценарии изменения климатических характеристик	12
2.1 Температура воздуха	12
2.1 Осадки.....	14
2.2 Температура моря.....	15
2.3 Уровень моря	16
2.4 Закисление	18
3. Методология статистической обработки данных	19
3.1 Первичная статистика	19
3.2 Тренд.....	20
3.3 Гармоники	20
4. Результаты расчётов и их обсуждение	23
4.1 Результаты построения широтных разрезов.....	23
4.2 Результаты корреляционного анализа	31
4.4 Результаты гармонического анализа для температуры воды в точке № 13.	44
Заключение	47
Список использованных источников	48

Введение

Объектом исследования данной работы является Средиземное море. Целью данной работы является ознакомление по литературным источникам с физико-географическими особенностями Средиземного моря, формирование собственного архива климатических характеристик, выполнение статистических расчетов и построение широтного разреза, характеризующего распределение климатических характеристик, а также анализ возможных связей климатических характеристик в различных районах и глобальном масштабе в целом.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие задачи:

1. Сбор информации об исследуемых характеристиках.
2. Подготовка Выборки данных климатических характеристик за период 1980 – 2021 гг.
3. Статистический анализ климатических характеристик (корреляционный анализ, выделение тренда, гармонический анализ).
4. Построение широтного разреза климатических характеристик.

Средиземное море окружено тремя континентами: Африка, Азия и Европа. Культурное богатство и разнообразие региона являются исключительными. Бассейн также является зоной постоянных изменений. Он формируется под влиянием деятельности человека, такой как использование суши и моря, включая урбанизацию и туризм, сосредоточенные вблизи побережья и близко к уровню моря. Средиземное море также является зоной промышленного развития и одним из самых оживленных судоходных маршрутов в мире.

Между странами Средиземноморья существуют значительные расхождения. Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в странах южного побережья, в целом страны северного Средиземноморья демонстрируют лучшие результаты по ряду показателей благосостояния, экономического развития, эффективности правительства и социальных сетей, чем страны южного Средиземноморья и страны Ближнего Востока (с некоторыми исключениями в обе стороны). Это неравенство усугубляется быстрым ростом населения в странах Северной Африки и Ближнего Востока, которое увеличилось со 105 миллионов в 1960 году до 445 миллионов в 2021 году. Регион сталкивается с неравномерным распределением ресурсов, социальной нестабильностью, конфликтами и миграцией. Помимо этих социальных факторов, Средиземноморский бассейн подвержен ряду природных угроз, включая землетрясения, извержения вулканов, наводнения, пожары и засухи.

В этой сложной ситуации возникает несколько новых вызовов, связанных с изменением климата, включая потепление, более сильные засухи, экстремальные явления, повышение уровня моря и подкисление океана. Эти вызовы взаимодействуют с другими изменениями окружающей среды, такими как загрязнение и рост городов.

Физико-географические характеристики Средиземного моря

1.1 Тип моря

Общий обзор физической географии Средиземноморского региона показывает неровную, глубоко изрезанную береговую линию, особенно на севере, где Пиренейский, Итальянский и Балканский полуострова выступают на юг от основной части Европы. Многочисленные острова соответствуют изолированным тектоническим блокам, вершинам подводных хребтов или вершинам подводных горных массивов. Самыми крупными островами являются Сицилия, Сардиния, Корсика, Кипр и Крит. Балеарские острова у побережья Испании и Ионические, Кикладские и Додеканесские острова у Греции. Помимо прибрежных равнин и дельтовых зон крупных рек (Эбро,

Рона, По и Нил), береговые линии в основном окаймлены горными хребтами. Только прибрежные равнины от восточного Туниса до Синайского полуострова, граничащие в основном с низменными пустынями, свободны от гор. Фактически, самые высокие участки основных горных хребтов хребтов, как правило, отмечают границу гидрографического бассейна, который стекает в Средиземное море. Эти горные хребты включают Атлас, Риф, Баэтическую Кордильеру, Иберийскую Кордильеру, Пиренеи, Альпы, Динарские Альпы, Эллиниды, Балканы и Тавр. Средиземное море занимает бассейн площадью почти 2,6 млн. км². Длина береговой линии составляет 46.000 км, а сам бассейн – около 3.800 км с востока на запад и 900 км с севера на юг в его максимуме между Францией и Алжиром. Средняя глубина воды составляет примерно 1.500 м, а максимальная глубина - 5.121 м. у юго-западной Греции. Самой мелководной частью Средиземного моря является северная Адриатика, где средняя глубина не превышает 50 м. Средиземное море можно разделить на два суббассейна - Западное и Восточное Средиземноморье, которые, в свою очередь, состоят из ряда разнообразных малых бассейнов. Западное Средиземноморье имеет площадь около 0,9 млн. км² и включает в себя море Альборан, Алжиро-Балеарский бассейн, Каталано-Балеарское море, залив Льва, Лигурийское море, и Тирренскую котловину. Гибралтарский пролив,

расположенный на западной части Западного Средиземноморья, обеспечивают единственную естественную связь между Средиземным морем и Мировым океаном. Этот проход, шириной всего 14 км и глубиной 290 м. оказывает решающее влияние на циркуляцию воды, приток которой составляет около 35.000 км³ в год. Континентальные шельфы, как правило, узкие у берегов южной и северной части Пиренейского полуострова, Балеарских островов, Корсики, Сардинии, западного побережья Италии, северной Африки и Приморских Альп, где горные склоны опускаются почти прямо в море. Более крупные континентальные шельфы, шириной более 50 км, присутствуют у устья рек Эбро и Рона, в основном благодаря расширению дельтовых систем в сторону моря. Континентальный шельф у северного побережья Туниса также широк. Батиметрические равнины - плоские глубокие области бассейна, занимают центральные части Алжиро-Балеарской котловины, где глубина достигает 2 800 м, и Тирренской котловины, где глубина достигает 3.430 м.

В отличие от этого, гораздо более крупное Восточное Средиземноморье с площадью около 1,7 млн. км² имеет очень разнообразный физико-географический характер. Оно включает в себя Сицилийский пролив, Адриатическое море, Ионическое море, Левантский бассейн и Эгейское море. Основными структурами в батиметрии Восточного Средиземноморья являются Эллинская впадина и Средиземноморский хребет. Эллинская впадина - это зона субдукции (область, где встречаются тектонические плиты Земли, причем одна плита скользит под другой), достигающая максимальной глубины 5,267 м у берегов Пелопоннеса, самой глубокой точки Средиземноморья. Эта впадина ограничивает Эгейское море с севера, простираясь от западного Пелопоннеса к юго-востоку от острова Родос. Средиземноморский хребет проходит параллельно этой структуре, от Ионического бассейна на западе до Кипрской дуги на востоке. Восточный бассейн соединен с Западным бассейном Сицилийским проливом с

максимальной глубиной около 400 м, и с Черным морем проливами Дарданеллы, с максимальной шириной всего 7 км и средней глубиной 55 м. Приток воды из Черного моря на два порядка меньше, чем приток из Атлантики, достигая примерно 200-300 км³ в год. Соединение юго-восточной части с Красным морем происходит через искусственный Суэцкий канал. Континентальный шельф в Восточном бассейне узкий у Пелопоннеса, Крита, южной и северной Турции. Однако они особенно хорошо развиты к востоку от Ливии, в зоне влияния отложений дельты реки Нил, и в Адриатике, где большие участки мелководны более чем на 100 м из-за отложений дельты реки По. Эгейское море также довольно мелкое, что является следствием относительно молодой земной коры. В Восточном бассейне батимальные равнины более глубокие и меньше, чем на западе. Максимальная глубина достигает 4.200 м в Ионической абиссальной равнине и 3.200 м в Абиссальной равнине Геродота. Средиземноморский водосборный бассейн простирается на площади более 5 миллионов км². Сюда входят Нил и Ливийская прибрежная зона, ни одна из которых не является активной частью дренажного бассейна. Большая часть воды, стекающей в Нил, испаряется, особенно после строительства Асуанской плотины, которая увеличила количество воды, забираемой из системы для нужд сельского хозяйства. Дренажный бассейн южной части Восточного Средиземноморья (включая большую часть прибрежной зоны Ливии) в основном представляет собой пустыню с небольшими сезонными водотоками. За исключением этих районов, которые имеют незначительный речной приток, дренажный бассейн Средиземного моря составляет менее 1,5 млн. км². Основные многолетние реки (Эбро, Рона, По и Нил) питаются из очень больших дренажных бассейнов, которые, в большинстве случаев собирают воду за границами средиземноморского климатического пояса.

Более мелкие реки, с водосборными бассейнами менее 10 000 км² покрывают

почти 60 % площади водосбора Средиземноморья и играют важную роль. Однако они либо эфемерны, либо несут небольшие объемы воды из-за относительно низкого годового количества осадков (менее 500 мм), высокого испарения и инфильтрации, а также сезонного и спорадического характера осадков. Осадочные системы, связанные с крупными реками, создали большие прибрежные равнины, определяющие характеристики прибрежной зоны и континентальной окраины. Под влиянием микроприливного режима, эти прибрежные равнины разрастались, образуя крупные дельтовые системы, широкие шельфы, сформированные дельтовыми процессами, и континентальные склоны, изрезанные глубокими каньонами длиной в сотни километров. Система Нила питается отложениями, возникающие на расстоянии 6 650 км от береговой линии, создавая впечатляющую береговую дельтовую равнину (сформировавшуюся до строительства Асуанской плотины) на северо-востоке Египта. Морской конец этой осадочной системы - глубоководный веер Нила, охватывающий около 140.000 км² один из крупнейших подводных веерообразных терригенных отложений в мире.

1.2 Гидрологические и климатические свойства

Реки играют ключевую роль в циркуляции воды и геохимии Средиземноморского региона. Поскольку Средиземное море представляет собой полузамкнутый океанический бассейн, принимающий относительно большие объемы дренажа, они также играют определенную роль в поддержании морской продуктивности. Изменения в поступлении пресной воды вследствие естественной изменчивости или крупного речного регулирования приводят к изменению солености поверхностных вод. Эти изменения могут иметь общесбассейновое влияние на вертикальную циркуляцию и перемешивание водных масс, с результирующим воздействием на продуктивность поверхностных вод и характеристики и перемешивание глубоководных масс. Из-за олиготрофного - с низким содержанием питательных веществ - характера Средиземноморья, изменения в речном

поступлении питательных веществ, как естественные, так и вызванные человеком, являются потенциальными факторами долгосрочных изменений в продуктивности прибрежных и открытых вод и морских экосистем. По оценкам, среднегодовой речной сток в Средиземное море за последние годы составляет около 10.000 м³/с, с сухим сезоном в середине лета и пиком стока в начале весны. В соответствии с годовым стоком, десять крупнейших рек, впадающих в Средиземное море, - это Рона, По, Дрин-Бояна, Нил, Неретва, Эбро, Тибр, Адидже, Сейхан и Джейхан. На долю этих рек приходится половина среднегодового стока, причем только на Рону и По приходится уже одна треть. Из трех континентов, с которых осуществляется сток в Средиземное море - Европа доминирует, с климатологическим среднегодовым стоком, который составляет половину от общего объема. Европейский сток четко определяет сезонный цикл Средиземного моря. Сток из Азии и Африки значительно меньше. Сток в Адриатическое море, Северо-Западный бассейн и Эгейское море, вместе взятые, составляет 76 % от общего объема. Около одной трети общего бассейна поступает в Адриатическое море (3.700 м³/с). Нил, площадь водосбора которого на порядок больше, чем у любой другой средиземноморской реки, имеет среднегодовой сток 2.800 м³/с до Асуанской плотины. Сток сокращается примерно до 5 % от этой величины (150 м³

/с) к тому времени, когда он достигает Средиземного моря. Характер стока средиземноморских рек зависит от свойств атмосферного водного бюджета, а также от географических характеристик средиземноморского водосбора. Существенный широтным градиентом характеризуются осадки Средиземноморья круглый год, с сухими районами вдоль африканского побережья и значительно более влажными к северу от Средиземного моря. Зима является основным сезоном дождей для европейских сухопутных регионов, на которые приходится большая часть стока, в то время как лето к югу от 40 градусов северной широты в основном сухое. Большая часть сброса воды в северном регионе происходит во время коротких наводнений,

связанных с максимальным расходом воды в реках после обильных дождей, что обычно происходит в период с февраля по май. Сильный контраст между летними и зимними осадками, который увеличивается с севера к югу и с запада на восток, является основной характеристикой Средиземноморского климата. В бассейнах крупных и средних рек в северной и центральной Европе широкомасштабные и продолжительные осадки являются наиболее распространенной причиной наводнений. Наводнения также происходят в связи с таянием снега в конце весны и начале лета. Интенсивные кратковременные дожди весной и осенью влияют на небольшой прибрежный сток, особенно в таких суббассейнах, как Южный Левантийский, Альборан, Юго-Западный бассейн, Эгейский, Центральный и Северный Левантинский.

1.3 Водные массы

Средиземноморье является бассейном испарения, поскольку потери пресной воды в результате испарения превышают количество осадков и речных притоков. Однако баланс массы и соли поддерживается в стабильном состоянии благодаря обмену с Атлантическим океаном через Гибралтарский пролив. Дефицит пресной воды уравнивается поступлением в Средиземное море поверхностных вод Атлантики с относительно низкой соленостью и оттоком воды с высокой соленостью. Разница в плотности (около 1,6) ограничивает входящий поток у поверхности (0-150 м), в то время как отток течет у дна порога (150-300 м), присутствующего в Гибралтарском проливе. Эта разница в плотности в основном обусловлена соленостью (35,9 ‰ для атлантической воды и 37,9 ‰ для оттока), и она достаточно значительна, чтобы атлантическая вода, присутствующая в Средиземном море, была обозначена как атлантическая водная масса (AW). Затем атлантическая водная масса течет в основном на восток в восточную часть Средиземноморья, ограничиваясь силой Кориолиса южной частью бассейна. Несмотря на влияние водных масс, через которые он протекает, и частичное перемешивание, которое все больше ослабляет его особенности по мере

продвижения на восток, атлантическая водная масса остается идентифицируемым в каждой части бассейна.

Процессы формирования глубинных и промежуточных вод также присутствуют в Средиземноморье, представленные опусканием поверхностных водных масс. Образование вод является результатом увеличения плотности, вызванного повышением солёности из-за сильного летнего испарения и сильного зимнего охлаждения, которое происходит в характерных районах. В частности, в Лионском заливе и Южной Адриатике происходит формирование глубоких вод, а в Левантийском бассейне - промежуточных. В Лионском заливе зимнее похолодание вызывается мистралем - холодным, сухим ветром, направляемым Пиренеями и Центральным французским массивом в северо-западном направлении. В Адриатике только зимнее охлаждение является движущей силой потока плотности поскольку испарение и осадки эквивалентны. Поэтому именно бора, холодный ветер с северо-востока, охлаждает водные массы, которые затем движутся на юг вдоль итальянского побережья. Левантийская промежуточная водная масса (LIW) - это водная масса, которая образуется в Левантийском бассейне в результате трансформации атлантической водной массы. Вследствие испарения Левантийская промежуточная водная масса приобретает высокую солёность и простирается по всему восточному Средиземноморью на глубине от 100-150 м в самой восточной части бассейна до 250-300 м в самой западной части. Затем Левантийская промежуточная водная масса проходит через Сицилийско-Африканскую впадину и пересекает западное Средиземноморье на глубине около 400 м, формируя важную часть оттока от Гибралтара. Левантийская промежуточная водная масса подвергается смешиванию с водами ниже и выше него, обе из которых имеют более низкую солёность, смягчая характерный максимум солёности на промежуточных глубинах по мере продвижения с востока на запад.

Атлантическая водная масса и Левантийская промежуточная водная масса, вместе с формированием глубинных вод, составляют термохалинный форсинг Средиземноморья. Эта сила является источником циркуляции в Средиземном море, циркуляции, которая воспроизводит циркуляцию океанов в небольших масштабах (Рис. 1). Фактически, присутствие Левантийской промежуточной водной массы играет важную роль в формировании глубинных вод, соединяя южные циркуляционные ячейки глубинных вод с зональными ячейками, образованными Атлантической и Левантийской промежуточной водными массами.

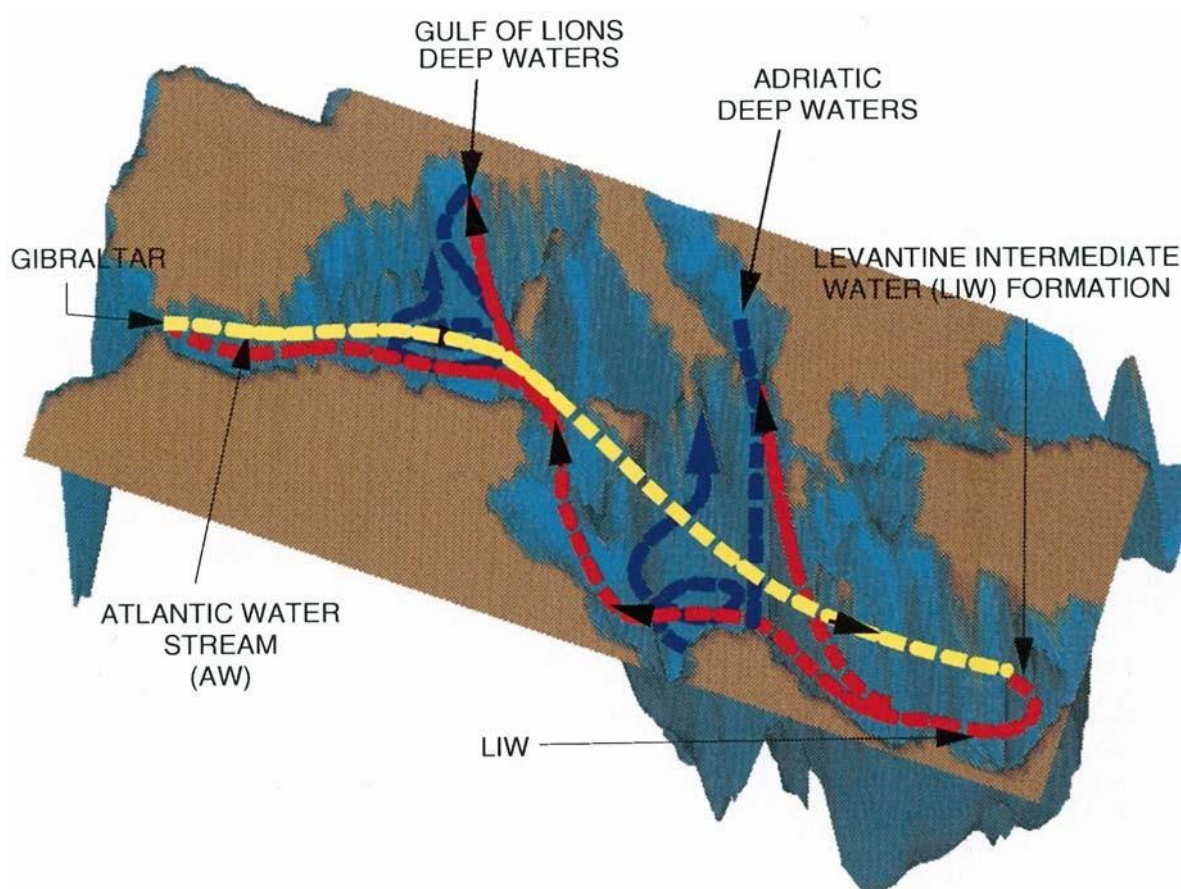


Рис.1 Циркуляция и формирование вод в Средиземном море

2 Возможные сценарии изменения климатических характеристик

2.1 Температура воздуха

В Средиземноморском регионе среднегодовые температуры в настоящее время примерно на $1,5^{\circ}\text{C}$ выше, чем в доиндустриальный период (1880-1899 гг.), и значительно превышают текущие тенденции потепления ($+1,1^{\circ}\text{C}$) (рис. 1). Тенденции: лето, вероятно, будет теплеть сильнее, чем зима. Высокие температурные явления и тепловые волны (периоды чрезмерно жаркой погоды), вероятно, станут более частыми и/или более экстремальными. Городские районы значительно теплее окружающих сельских районов из-за деятельности человека, особенно в ночное время, что называется фактором "городского острова тепла". Увеличение частоты, интенсивности и продолжительности тепловых волн усиливается в Средиземноморье за счет эффекта «городского острова тепла».

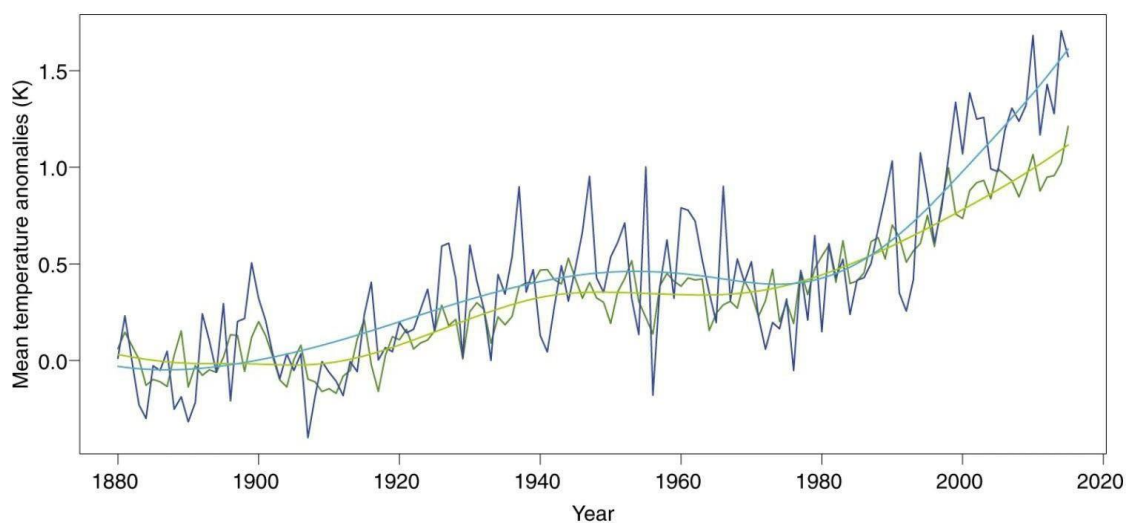


Рисунок 2.1 Потепление атмосферы (среднегодовые аномалии температуры по отношению к периоду 1880-1899 гг.), в бассейне Средиземного моря (синие линии, со сглаживанием и без) и на земном шаре (зеленая линия). В Средиземноморском регионе среднегодовые температуры сейчас примерно на $1,5^{\circ}\text{C}$ выше, чем в период 1880-1899 годов.

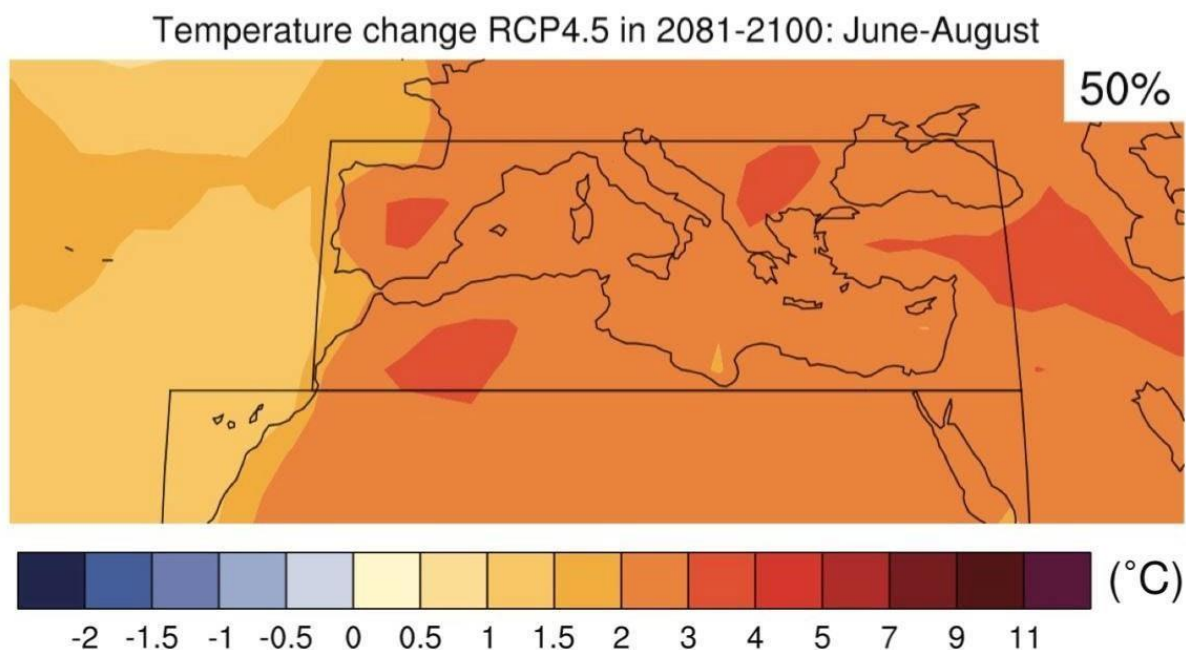


Рисунок 2.2 Ожидаемое будущее изменение температуры летних месяцев в 2081-2100 гг. по сравнению с 1986-2005 гг. на основе средне-низкого сценария, RCP4.5. Для получения потепления в повторном спектре по отношению к доиндустриальному периоду (1880 – 1899), необходимо добавить около 0,85 °C

2.1 Осадки

Наблюдаемые тенденции осадков в Средиземноморье характеризуются высокой изменчивостью в пространстве и во времени, однако климатические модели четко указывают на тенденцию к уменьшению количества осадков в ближайшие десятилетия. Сочетание уменьшения количества осадков и потепления создает сильные тенденции к более сухим условиям. Частота и интенсивность засух уже значительно возросли в Средиземноморье с 1950 года. Например, в 2008-2011 годах Ближний Восток пережил сильную засуху из-за большого дефицита осадков, усиленного высоким испарением, связанным с сильным потеплением (за период 1931-2008 гг. потеплело на 1°C) и увеличением потребности в воде, связанной с сильным ростом населения.

Ожидается, что глобальное повышение температуры атмосферы на 2°C будет сопровождаться сокращением летних осадков примерно на 10-15% в южной Франции, северо-западной Испании и на Балканах и до 30% в

Турции. Сценарии с повышением температуры на 2-4°C в 2080-х годах для Южной Европы будут означать более сильное и более распространенное сокращение осадков до 30% и исчезновение сезона заморозков на Балканах. На каждый градус глобального потепления среднее количество осадков, вероятно, уменьшится примерно на 4% в большей части региона, особенно на юге. Сухие периоды, вероятно, удлинятся на 7% при среднем глобальном потеплении на 1,5°C (рис. 2.1). Сильные дожди, вероятно, усилятся на 10-20% во все сезоны, кроме лета.

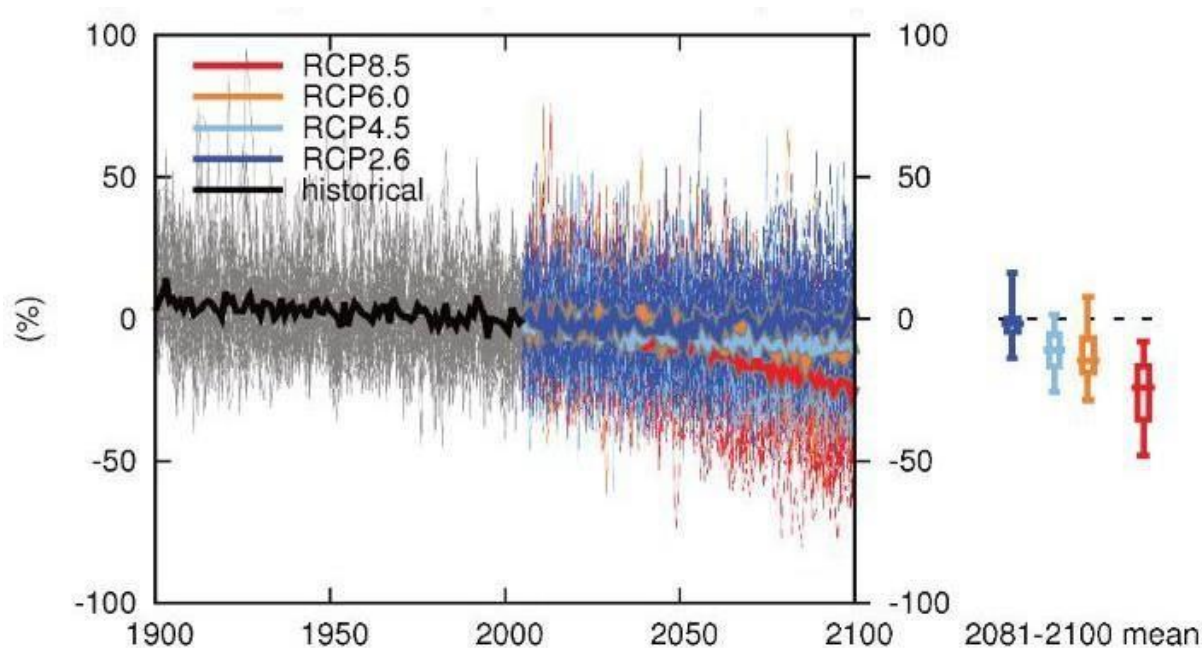


Рис. 2.3 Изменение количества осадков по сравнению с 1986-2005 гг. в регионе Средиземноморья (30-45° с.ш., 10-40° з.д.) с апреля по сентябрь при различных сценариях.

2.2 Температура моря

Потепление поверхности Средиземного моря в настоящее время оценивается в 0,4°C за десятилетие в период с 1985 по 2006 год (+0,3°C за десятилетие для западного бассейна и +0,5°C за десятилетие для восточного бассейна). Повышение температуры не является постоянным в течение всего года, а происходит в основном в мае, июне и июле. Максимальное повышение температуры на 0,16°C в год было обнаружено в июне в Тирренском, Лигурийском и Адриатическом морях и вблизи африканского

побережья. В Эгейском море максимальное изменение температуры поверхности моря наблюдается в августе. Прогнозы на 2100 год варьируются между $+1,8^{\circ}\text{C}$ и $+3,5^{\circ}\text{C}$ в среднем по сравнению с периодом между 1961 и 1990 годами. Балеарские острова, северо-запад Ионического, Эгейское и Левантийское моря были определены как регионы с максимальным повышением температуры поверхности моря (рис. 4)

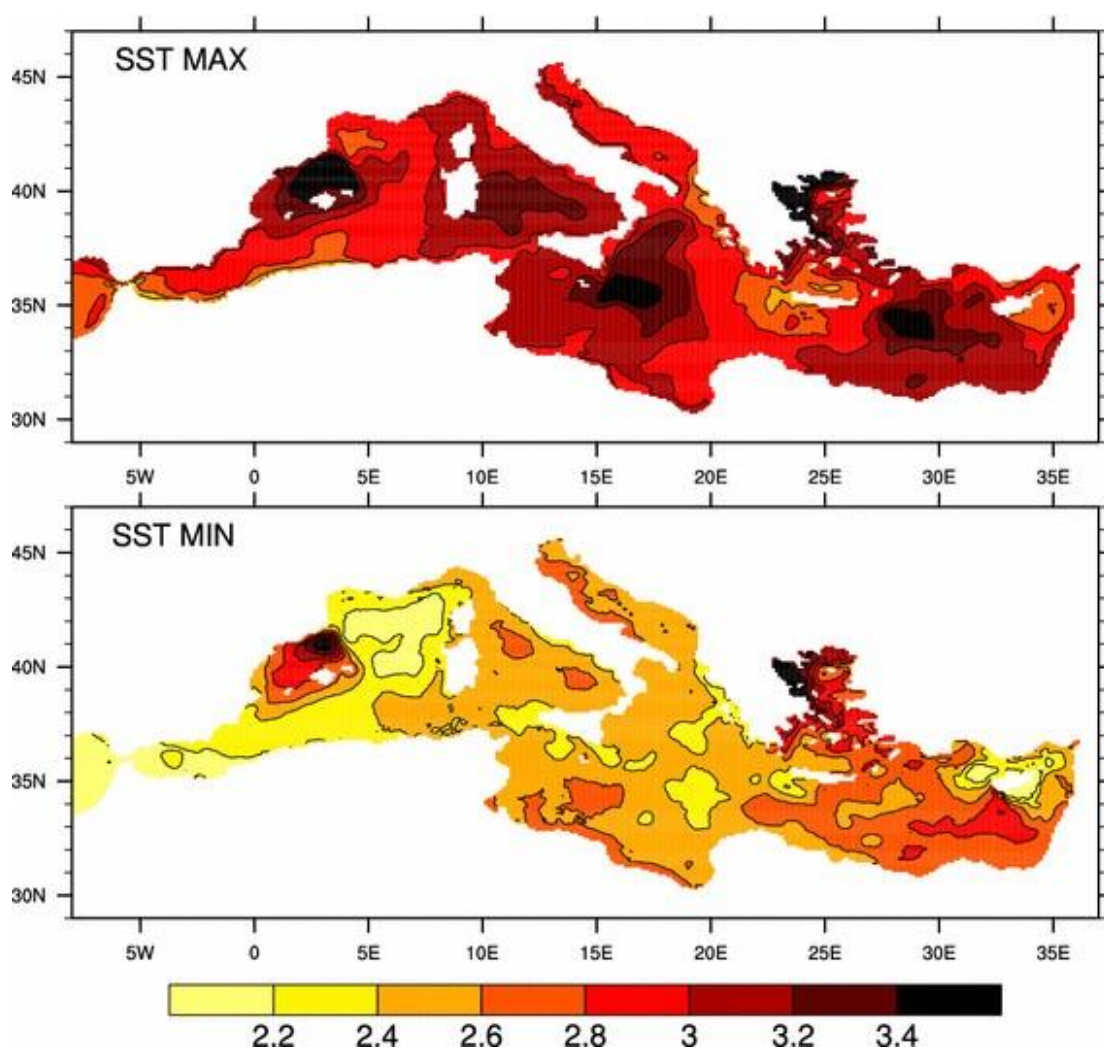


Рис 2.4 Ожидаемые минимальные и максимальные изменения температуры поверхности моря для периода 2070-2099 годов (по сравнению с 1961-1990 годами). Представлена наибольшая (максимальная) или меньшая (минимальная) аномалия из 6 сценариев моделирования ($^{\circ}\text{C}$)

2.3 Уровень моря

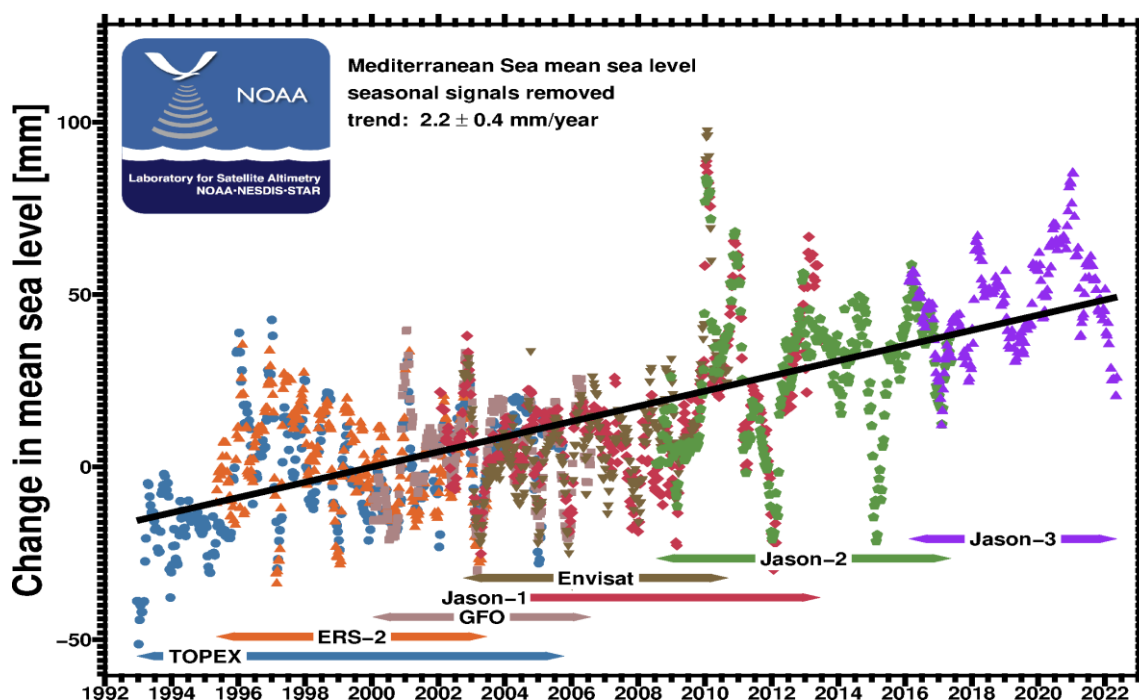


Рис. 2.3.1 Изменение уровня моря из архивов ре-анализа с 1993 по 2022 гг. [4]

Подобно общемировым тенденциям, вызванным потеплением и потерей ледникового льда, уровень моря в Средиземноморье повышался в период с 1945 по 2000 год со скоростью 0,7 мм в год и в период с 1970 по 2006 год на уровне 1,1 мм в год. В последние два десятилетия наблюдается резкий рост, поскольку повышение уровня моря достигло примерно 3 мм в год. Существуют значительные неопределенности относительно среднего глобального повышения уровня моря в будущем. Прогнозы на будущее варьируются от 52 до 190 см среднего глобального повышения уровня моря к 2100 году в зависимости от используемого метода. Эти неопределенности будут в значительной степени влиять на повышение уровня Средиземного моря из-за связи с Мировым океаном через Гибралтарский пролив. Ускоряющаяся потеря льда в ледниковых щитах Гренландии и Антарктики подразумевает значительный риск дополнительного повышения уровня моря, даже если потепление будет ограничено 1,5°C, с возможностью многометрового подъема уровня моря.

Региональные прогнозы относительного изменения уровня моря более неопределенны, чем глобальные прогнозы, из-за меньшей квалификации глобальных моделей и взаимодействия между Атлантикой и Средиземным морем. Для побережья Средиземного моря необходимо дополнительно учитывать региональные изменения речного стока, провоцирующие изменения солёности, а также значительные перемещения суши в восточных частях бассейна. В дополнение к воздействию глобального изменения уровня моря, модели циркуляции в Средиземном море также могут быть изменены и привести к изменению региональных моделей уровня моря, с локальными различиями в высоте поверхности моря до 10 см. В южной Италии к 2100 году ожидается значительное затопление прибрежной зоны. Значительные изменения береговой линии ожидаются и в других районах, например, на Балеарских островах.

2.4 Закисление

Мировой океан поглотил около 30% CO_2 , выброшенного в результате деятельности человека. Поглощенный CO_2 соединяется с водой, образуя разбавленную кислоту, которая диссоциируется и способствует подкислению океана. С доиндустриального периода pH океана снизился на 0,1 единицы pH, что является беспрецедентным, по крайней мере, за последние 65 миллионов лет. Ожидается, что поглощение CO_2 океанами в глобальном масштабе приведет к 2100 году к подкислению на 0,15-0,41 единиц pH ниже уровней 1870-1899 годов. Аналогичные темпы ожидаются и для Средиземного моря, которое, согласно текущим оценкам, будет уменьшаться на 0,018-0,028 единиц pH за десятилетие.

3. Методология статистической обработки данных

Описание методов при помощи статистических методов дает возможность представления об исследованиях. Это основа для дальнейшего анализа изменений характеристик климата Средиземного моря. В процессе работы по данной теме будут использованы следующие методы:

- Расчет первичной статистики;
- Расчет тренда;
- Расчет гармоник

3.1 Первичная статистика

Первичная или элементарная статистика нужна для того, чтобы можно было составить общее представление об исследуемом процессе. Для данной работы понадобилось использование следующих статистических характеристик:

- Среднее значение

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

где: n - длина статистического ряда.

- Амплитуда колебаний

$$A = X_{\max} - X_{\min} \quad (3.2)$$

- Дисперсия

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \quad (3.3)$$

- Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{D} \quad (3.4)$$

- Коэффициент эксцесса

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 - 3n\sigma^4}{n\sigma^4} \quad (3.5)$$

Обычно данные первичной статистики представлены в виде таблицы.
[1]

3.2 Тренд

С помощью анализа тренда временного ряда можно спрогнозировать наличие во временной изменчивости колебаний с периодом, существенно превышающим длину выборки.

Тренд может быть линейным:

$$y = a_1 + a_0 + \varepsilon \quad (3.6)$$

А также и нелинейным:

$$y = a_2 r^2 + a_1 t + a_0 + \varepsilon \quad (3.7)$$

После расчета и получения результатов нужно проанализировать их, привести сравнения трендов и оценить их значимость, а также оценить вклад в дисперсию. [1]

3.3 Гармоники

Гармоники – это функции, имеющие периоды, кратные длине ряда. Для расчета гармоник используется формула:

$$G_k = A_k \cos(\omega_k * t - \varphi_k), \omega_k = 2\pi/T_k \quad (3.8)$$

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

Гармоники имеют свою последовательность – период который равен длине ряда. И с каждой новой гармоникой, период уменьшается. Последняя гармоника имеет период равный 2 единицы дискретности, и эта частота называется частотой Найквиста.

В соответствии с коэффициентами Фурье – a_k и b_k формируются характеристики гармоник:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [x_i \sin(\omega_k * t_i)] \quad (3.9)$$

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [x_i \cos(\omega_k * t_i)] \quad (3.10)$$

где: x_i – исходный ряд, N – длина ряда, ω_k – частота гармоники, t_i – ряд времени, $i = 1, 2, 3 \dots N$.

Все характеристики для гармоник так же определяются по формулам:

- Амплитуда гармоники

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (3.11)$$

- Фаза гармоники

$$\varphi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k} \pm \pi \quad (3.12)$$

- Дисперсия гармоники

$$D_k = \frac{A_k^2}{2} \quad (3.13)$$

- Вклад гармоники в дисперсию ряда

$$V_k = \frac{D_k}{D_y} \quad (1.14)$$

где: D_y – дисперсия исходного ряда

Зависимость дисперсии гармонических составляющих от частоты называют спектром.

После расчетов всех составляющих характеристик остается только оценить значимость гармоник и сравнить исходный ряд с восстановленным.

[3]

4. Результаты расчётов и их обсуждение

4.1 Результаты построения широтных разрезов

В ходе работы были построены широтные разрезы различных характеристик по 13 точкам на широте 33,33N от 11,25°E до 33,75°E (от Туниса до Ливана с Израилем) по данным с 1980 по 2021 гг. Это самая протяженная территория (порядка 2080 - 2200 км) по широте в восточной части Средиземного моря, плюс в дополнение ко всему на всем исследуемом участке отсутствуют острова, что позволило избежать ошибок при скачивании данных с сайта [1]. Примерное расстояние между точками 170 км.

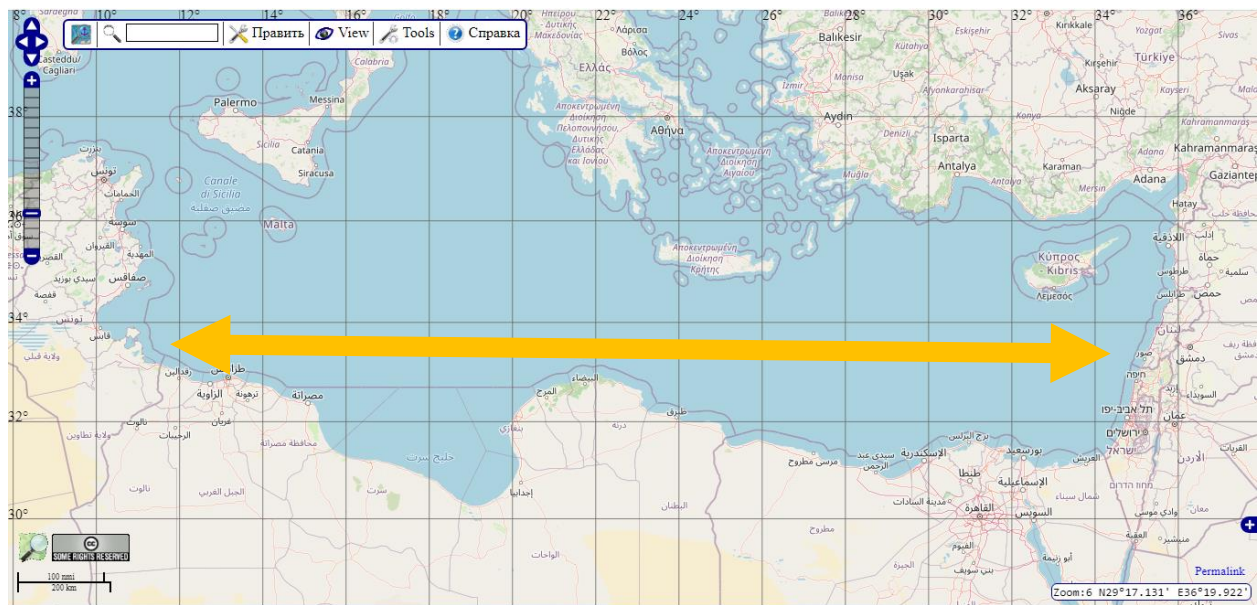


Рис 4.1.1 Схематическое представление разреза на карте

Табл. № 4.1.1 Координаты точек широтного разреза

Номер точки	Широта	Долгота
1	33,33 °N	11,25°E
2	33,33 °N	13,125°E
3	33,33 °N	15°E
4	33,33 °N	16,875°E
5	33,33 °N	18,75°E
6	33,33 °N	20,625°E
7	33,33 °N	22,5°E
8	33,33 °N	24,375°E
9	33,33 °N	26,25°E

10	33,33 °N	28,125°E
11	33,33 °N	30°E
12	33,33 °N	31,875°E
13	33,33 °N	33,75°E

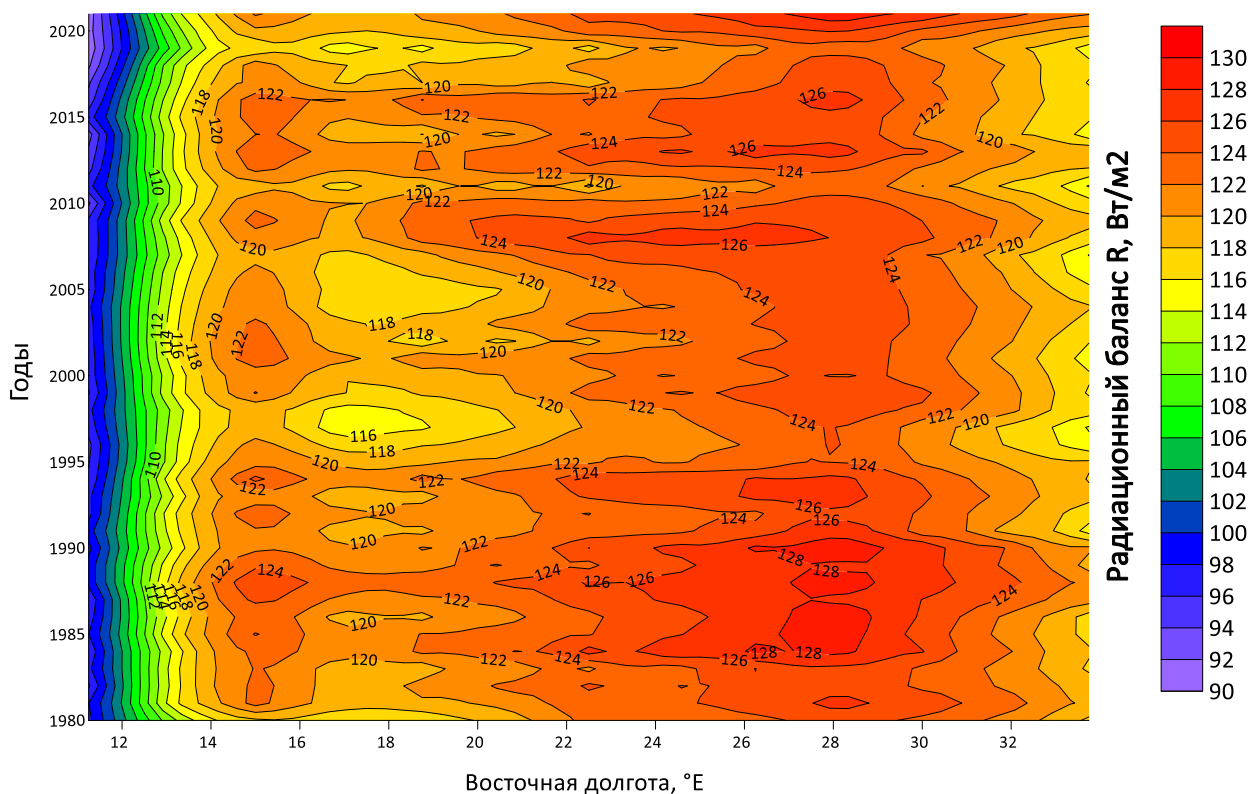


Рис.4.1.2 Распределение радиационного баланса с 1980 по 2021 гг. вдоль 33,33°С.Ш.

Как видно на данном рисунке самый маленький радиационный баланс порядка 90-100 Вт/м² наблюдается в самой восточной точке широтного разреза. Максимум же приходится на точку №10 (28°E) – 128 Вт/м² в период с 1984 по 1990 гг.

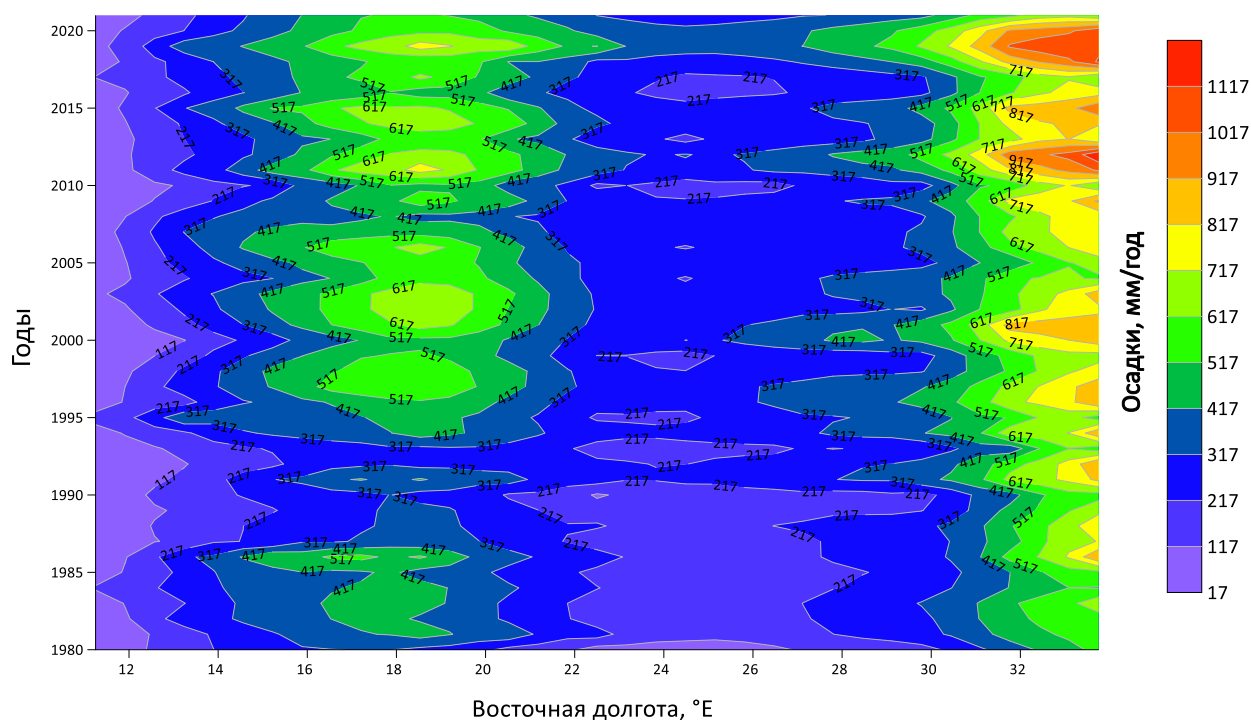


Рис.4.1.3 Распределение осадков с 1980 по 2021 гг. вдоль 33,33°С.Ш.

Как видно распределение осадков неравномерно. С 12°Е по 14°Е и с 23°Е по 28°Е годовая норма осадков колеблется от 117 мм/год до 300 мм/год. С 15°Е по 20°Е выпадает от 400 до 600 мм/год, а максимум наблюдается в самой восточной точке – здесь уровень осадков колеблется от 700 до 1000 мм/год, причем максимумы приходятся на 2018 – 2020 гг, - в эти года выпадало до 1100 мм/год.

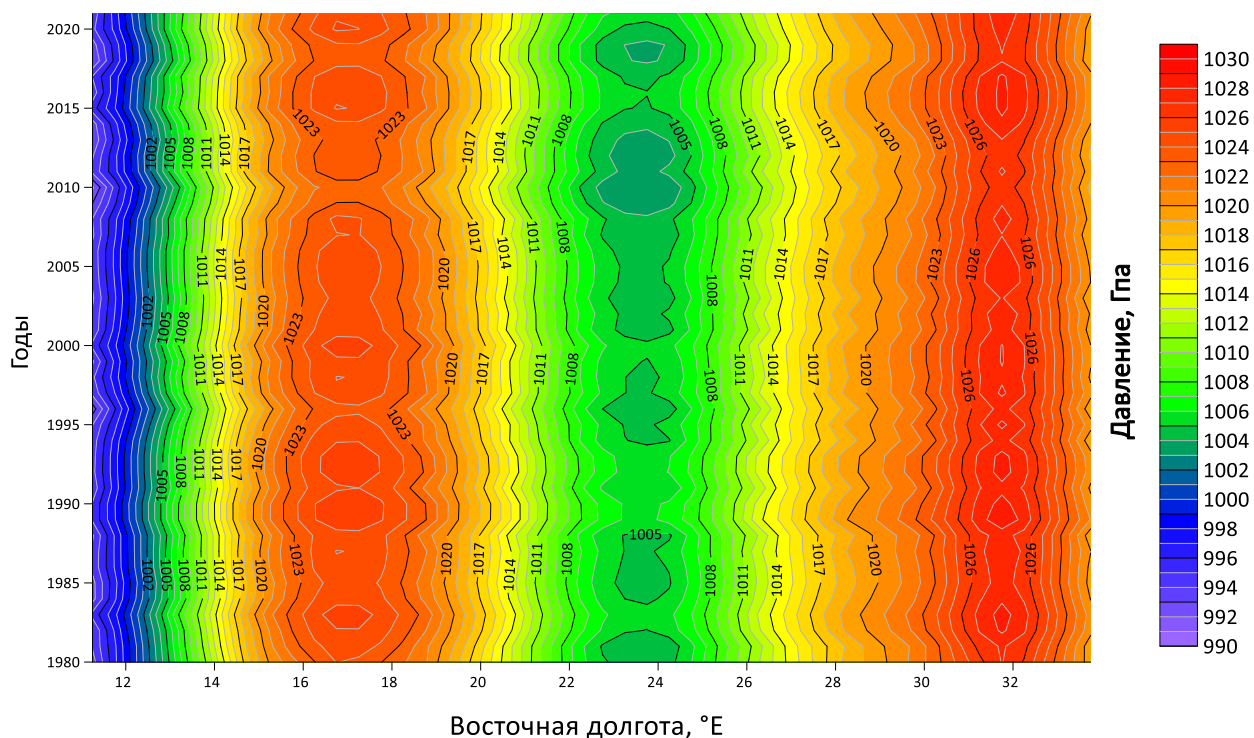


Рис.4.1.4 Распределение атмосферного давления с 1980 по 2021 гг. вдоль 33,33°С.Ш.

Если посмотреть на распределение атмосферного давления, то можно сказать, что в целом оно постоянно из года в год для каждой из точек. Максимум наблюдается на 32°E – 1028 ГПа, а минимум наблюдается в самой восточной точке – здесь давление колеблется в пределах 990 – 1000 ГПа. Также достаточно высокое давление – 1023 ГПа сохраняется между 16°E и 18°E.

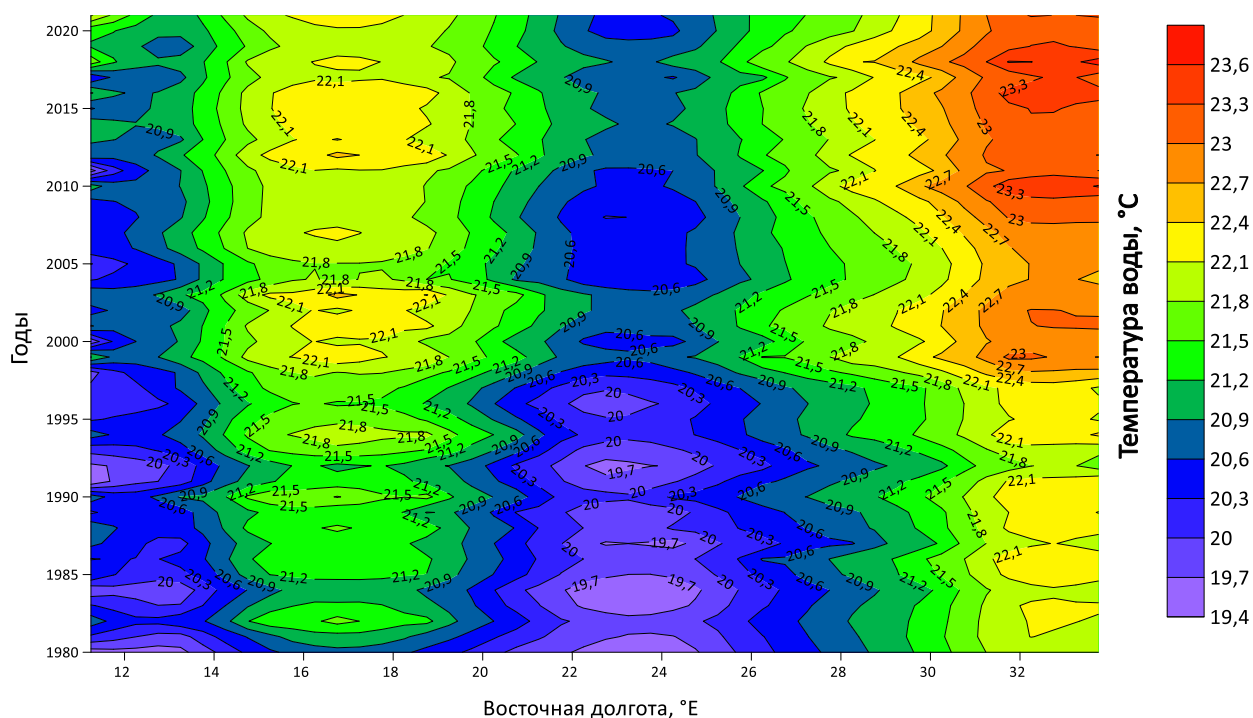


Рис.4.1.5 Распределение температуры поверхности воды с 1980 по 2021 гг. вдоль 33,33°С.Ш.

Температура воды распределена неравномерно. Минимум - 20°C наблюдается в самой восточной точке (но в последние годы есть тенденция повышения на 1 градус), а также с 22°E по 26°E (тут с 1980 по 1993 год температура поверхности воды не поднималась выше 19,7°C. Максимум же температуры наблюдается в самой западной точке, - тут с 2014 года по 2018 год значения принимают 23,3 – 23,6°C. Также по-настоящему теплой вода была в 2009 году – 23,3°C

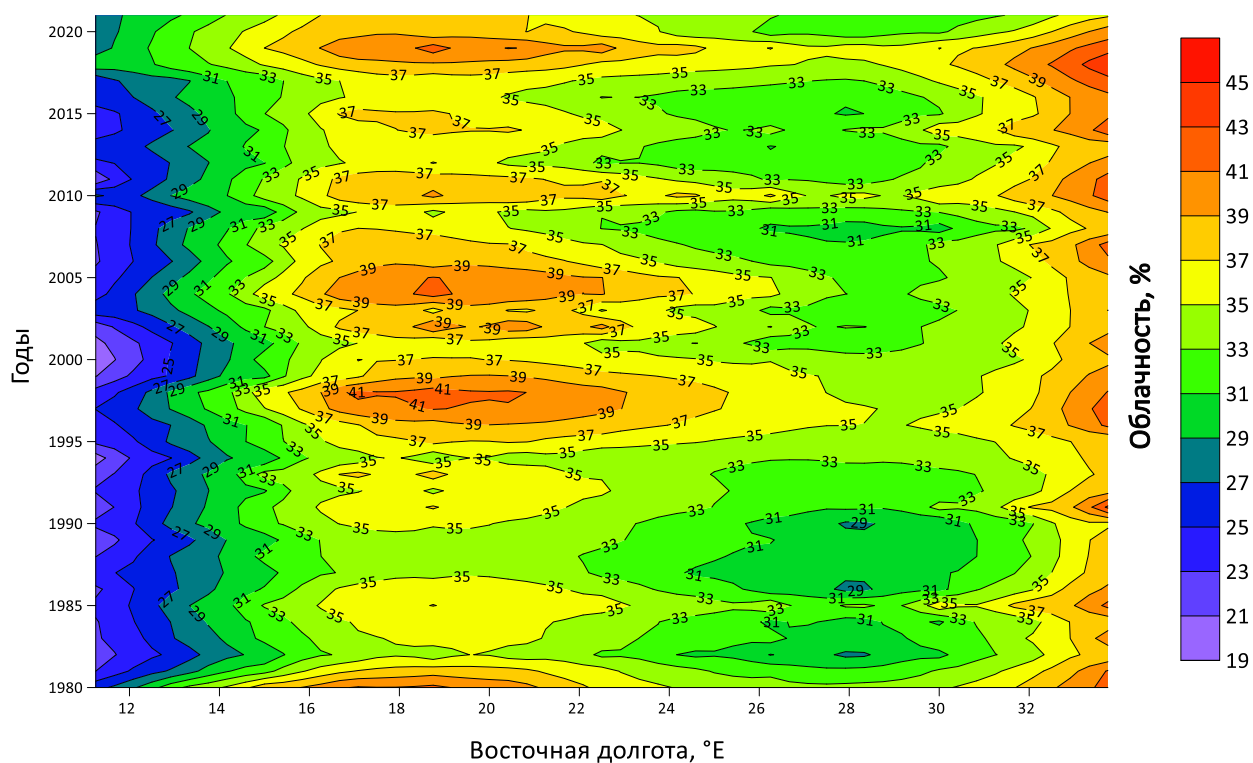


Рис.4.1.6 Распределение облачности с 1980 по 2021 гг. вдоль 33,33°С.Ш.

Распределение облачности также неравномерно на всем разрезе, но достаточно постоянно по годам. Максимальная облачность наблюдается между 18°E и 23°E – от 37 до 40% и в точке с долготой 33°E – от 37 до 45%. Максимально ясно в самой западной точке – тут облачность всего 19 – 25%.

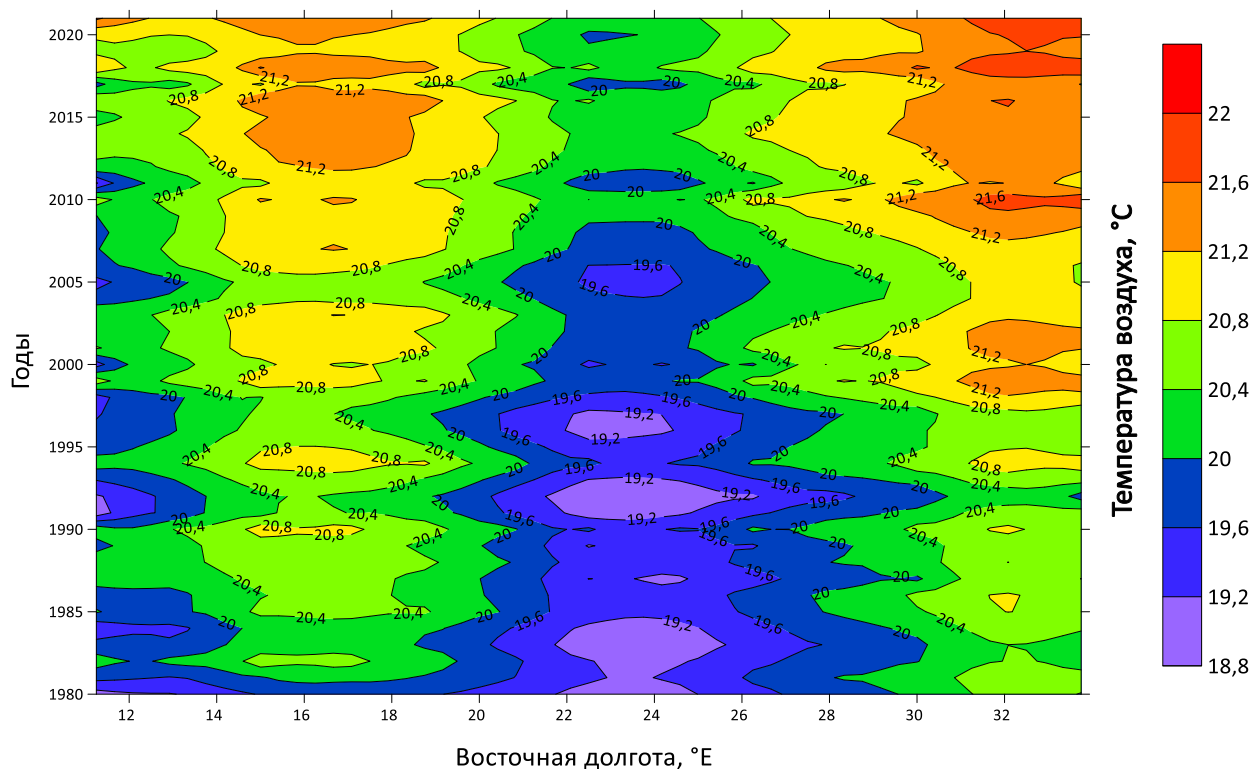


Рис.4.1.7 Распределение температуры воздуха с 1980 по 2021 гг. вдоль 33,33°С.Ш.

Распределение температуры воздуха перекликается с распределением температуры воды, с той лишь разницей, что температура воздуха ниже в среднем на 1,5 – 2 °С. Максимум фиксируется в самой западной точке в 2010 году и с 2018 по 2021 годы – 21,8°С

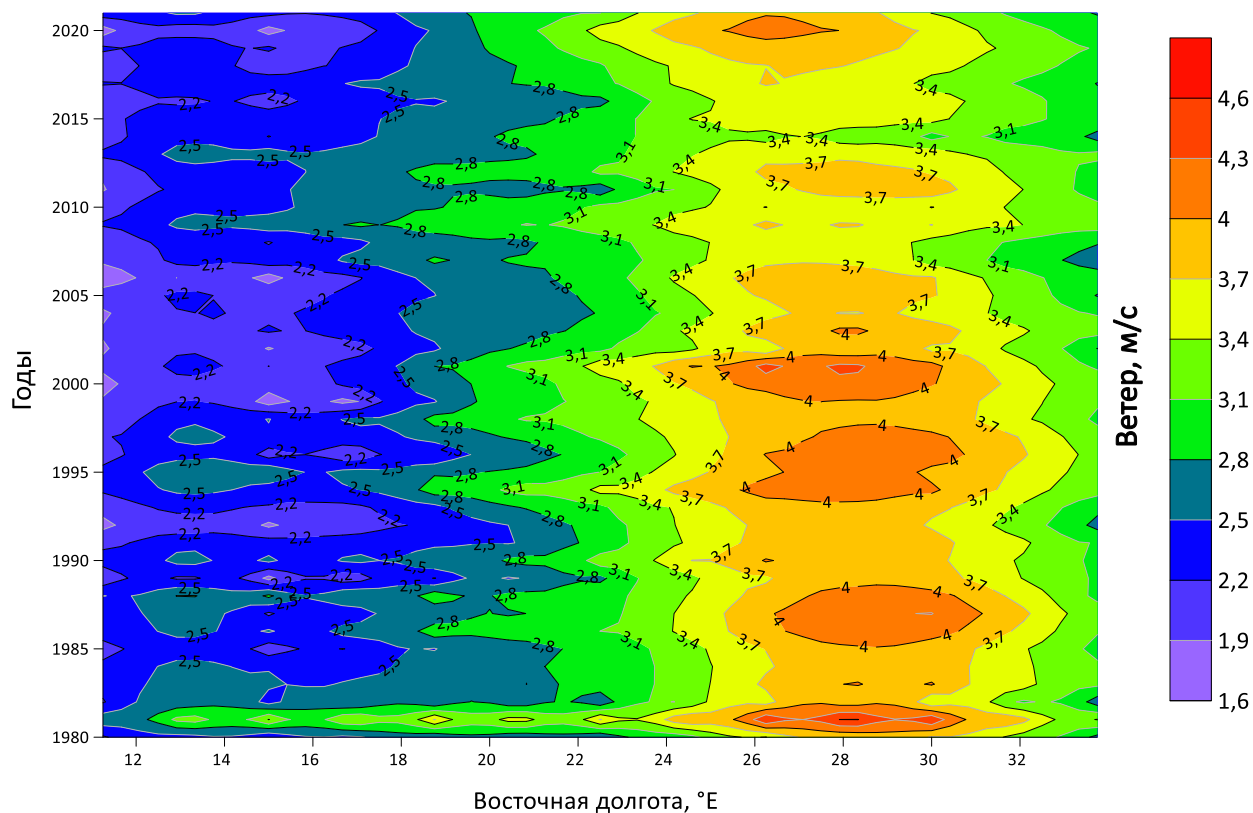


Рис.4.1.8 Распределение ветра с 1980 по 2021 гг. вдоль 33,33°С.Ш.

Если посмотреть на поля ветра, то в целом, в восточной части разреза скорость ветра выше, чем в его западной части примерно в 1,5 - 2 раза. С годами эта характеристика тоже особо не меняется.

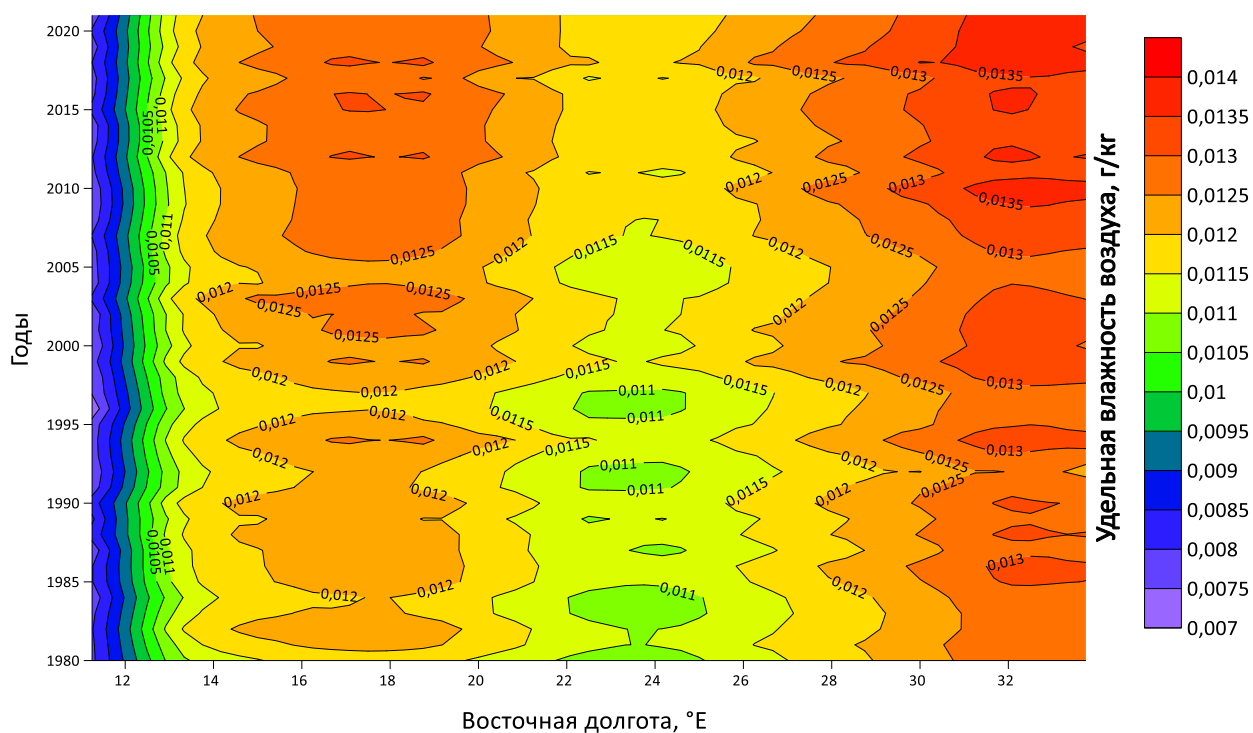


Рис.4.1.9 Распределение удельной влажности воздуха с 1980 по 2021 гг. вдоль 33,33°С.Ш.

Удельная влажность минимальна в самой западной точке разреза – от 0,007 до 0,009 г/кг и максимальна на востоке – от 0,013 до 0,014, причем с годами есть тенденция к увеличению этой характеристики.

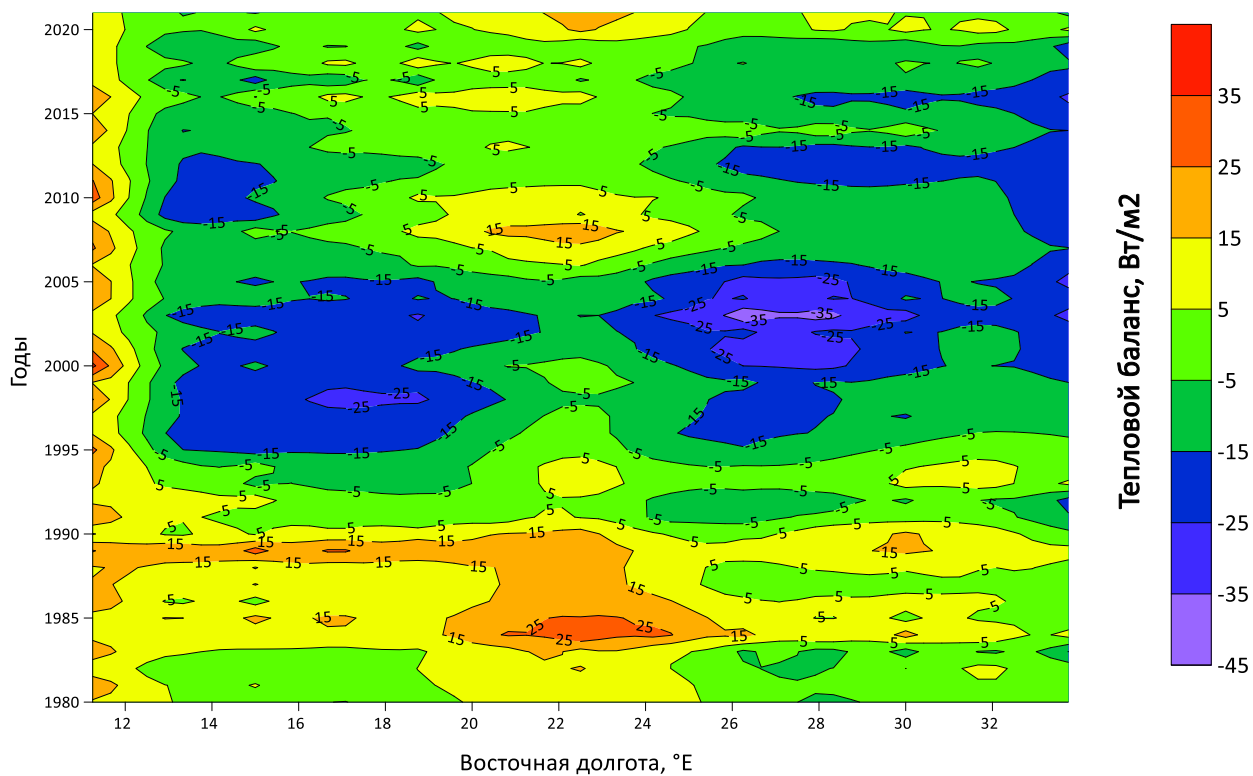


Рис.4.1.10 Распределение теплового баланса с 1980 по 2021 гг. вдоль 33,33°С.Ш.

Тепловой баланс распределен неравномерно ни по широте, ни по годам. С уверенностью можно сказать, что в самой западной точке разреза тепловой баланс положительный из года в год.

4.2 Результаты корреляционного анализа

Для каждой из 13 точек была рассчитана корреляционная матрица и была выполнена проверка коэффициентов корреляции на значимость. Ниже представлены результаты, зеленым цветом выделены значимые коэффициенты корреляции r ; а красным цветом выделены значимые коэффициенты корреляции r , которые больше 0,67 по модулю (что отражает высокую степень связи между характеристиками)

Таблица 4.2.1 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №1

33,33 °N	11,25°E								
<i>r, коэфф.корреляц</i>	R, Вт/м2	Pp, мм/год	P, Гпа	Tw, °C	n, %	Ta, °C	W, м/с	Qa, г/кг	B, Вт/м2
R, Вт/м2									
Pp, мм/год	-0,16								
P, Гпа	0,32	0,01							
Tw, °C	-0,70	-0,08	-	0,24					
n, %	-0,71	0,16	-	0,36	0,53				
Ta, °C	-0,72	-0,08	-	0,24	0,997	0,54			
Wind, м/с	0,03	0,18	0,07	0,08	0,07	0,05			
Qa, г/кг	0,08	0,16	0,28	0,30	0,14	0,27	0,19		
B, Вт/м2	0,22	-0,25	0,10	-0,32	0,34	-0,29	-0,18	-0,24	

Как видно из результатов корреляционного анализа в точке №1 замечена хорошая обратная связь радиационного баланса с температурой воздуха, температурой воды и облачностью. Также важно отметить, что это единственная точка, где коэффициент корреляции между температурой воздуха и температурой воды практически равен единице – 0,997. Также значимыми оказались связи между температурой воды и облачностью,

уд.влажностью, тепловым балансом; между облачностью и давлением, температурой воды, тепловым балансом.

Таблица 4.2.2 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №2

33,33 °N	13,125°E									
<i>г, коэфф.корреляц</i>		R, Вт/м2	Pp, мм/год	P, Гпа	Tw, °C	n, %	Ta, °C	W, м/с	Qa, г/кг	B, Вт/м2
R, Вт/м2										
Pp, мм/год		-0,37								
P, Гпа		0,20	-0,02							
Tw, °C		-0,23	0,21	- 0,09						
n, %		-0,69	0,24	- 0,19	0,02					
Ta, °C		-0,16	0,08	0,20	0,89	0,11				
Wind, м/с		0,13	0,20	- 0,09	-0,32	0,07	-0,27			
Qa, г/кг		-0,11	0,25	- 0,01	0,84	0,12	0,86	-0,16		
B, Вт/м2		0,45	-0,35	0,40	-0,60	0,06	-0,35	-0,04	-0,29	

В точке №2 хорошая прямая связь между Tw и Ta, Tw и Qa, Ta и Qa, а также хорошая обратная связь между R и n.

Таблица 4.2.3 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №3

33,33 °N	15°E									
<i>г, коэфф.корреляц</i>		R, Вт/м2	Pp, мм/год	P, Гпа	Tw, °C	n, %	Ta, °C	W, м/с	Qa, г/кг	B, Вт/м2
R, Вт/м2		1,00								
Pp, мм/год		-0,36	1,00							
P, Гпа		0,08	-0,07	1,00						
Tw, °C		-0,02	0,32	-	1,00					
n, %		-0,73	0,17	0,10	-0,05	1,00				
Ta, °C		0,15	0,14	0,30	0,91	0,07	1,00			
Wind, м/с		0,07	0,12	0,14	-0,23	0,04	-0,26	1,00		
Qa, г/кг		0,15	0,26	0,21	0,87	0,06	0,92	-0,14	1,00	
B, Вт/м2		0,43	-0,45	0,33	-0,52	0,12	-0,23	-0,13	-0,18	1,00

В точке №3 хорошая прямая связь между T_w и T_a , T_w и Q_a , T_a и Q_a , а также хорошая обратная связь между R и p .

Таблица 4.2.4 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №4

33,33 °N	16,875°E								
<i>r, коэфф.корреляц</i>	R , Вт/м ²	P_p , мм/год	P , Гпа	T_w , °C	n , %	T_a , °C	W , м/с	Q_a , г/кг	B , Вт/м ²
R , Вт/м ²	1,00								
P_p , мм/год	-0,43	1,00							
P , Гпа	0,02	-0,21	1,00						
T_w , °C	-0,02	0,47	-	1,00					
n , %	-0,76	0,24	-	0,04	1,00				
T_a , °C	0,22	0,27	0,36	0,90	0,08	1,00			
W , м/с	0,10	0,08	0,22	-0,07	0,02	-0,11	1,00		
Q_a , г/кг	0,21	0,33	0,36	0,87	0,08	0,95	0,02	1,00	
B , Вт/м ²	0,59	-0,45	0,17	-0,40	0,40	-0,03	-0,06	0,01	1,00

В точке №4 хорошая прямая связь между T_w и T_a , T_w и Q_a , T_a и Q_a , а также хорошая обратная связь между R и p .

Таблица 4.2.5 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №5

33,33 °N	18,75°E								
<i>r, коэфф.корреляц</i>	R , Вт/м ²	P_p , мм/год	P , Гпа	T_w , °C	n , %	T_a , °C	W , м/с	Q_a , г/кг	B , Вт/м ²
R , Вт/м ²	1,00								
P_p , мм/год	-0,42	1,00							
P , Гпа	-0,07	-0,36	1,00						
T_w , °C	0,09	0,59	0,32	1,00					
n , %	-0,79	0,29	0,21	0,00	1,00				
T_a , °C	0,32	0,38	0,41	0,91	0,12	1,00			
W , м/с	0,13	0,19	0,28	0,06	0,04	0,07	1,00		
Q_a , г/кг	0,30	0,43	0,42	0,89	0,12	0,97	0,15	1,00	

В, Вт/м2	0,57	-0,50	0,07	-0,33	-	0,03	-0,02	0,04	1,00
----------	------	-------	------	-------	---	------	-------	------	------

В точке № 5 хорошая прямая связь между Tw и Ta, Tw и Qa, Ta и Qa, а также хорошая обратная связь между R и n.

Таблица 4.2.6 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №6

33,33 °N	20,625° E									
r, коэфф.корреляц		R, Вт/м2	Pp, мм/год	P, Гпа	Tw, °C	n, %	Ta, °C	W, м/с	Qa, г/кг	B, Вт/м2
R, Вт/м2		1,00								
Pp, мм/год		-0,43	1,00							
P, Гпа		-0,06	-0,40	1,00						
Tw, °C		0,00	0,65	-	1,00					
n, %		-0,79	0,32	-	0,06	1,00				
Ta, °C		0,26	0,46	-	0,90	0,08	1,00			
Wind, м/с		0,06	0,30	-	0,17	0,03	0,18	1,00		
Qa, г/кг		0,22	0,53	-	0,91	0,09	0,97	0,23	1,00	
B, Вт/м2		0,61	-0,54	0,03	-0,41	0,53	-0,03	-0,11	-0,08	1,00

В точке №6 хорошая прямая связь между Tw и Ta, Tw и Qa, Ta и Qa, а также хорошая обратная связь между R и n.

Таблица 4.2.7 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №7

33,33 °N	22,5°E									
r, коэфф.корреляц		R, Вт/м2	Pp, мм/год	P, Гпа	Tw, °C	n, %	Ta, °C	W, м/с	Qa, г/кг	B, Вт/м2
R, Вт/м2		1,00								
Pp, мм/год		-0,51	1,00							
P, Гпа		0,06	-0,37	1,00						
Tw, °C		-0,20	0,57	-	1,00					
n, %		-0,73	0,33	-	0,17	1,00				

Ta, °C	0,07	0,44	0,53	0,90	0,00	1,00			
Wind, м/с	0,01	0,35	0,13	0,20	0,04	0,21	1,00		
Qa, г/кг	0,02	0,54	0,45	0,92	0,01	0,96	0,30	1,00	
B, Вт/м2	0,66	-0,47	0,17	-0,53	0,52	-0,18	-0,14	-0,23	1,00

В точке №5 хорошая прямая связь между Tw и Ta, Tw и Qa, Ta и Qa, а также хорошая обратная связь между R и n.

Таблица 4.2.8 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №8

33,33 °N	24,375°E								
<i>r, коэфф.корреляц</i>	R, Вт/м2	Pp, мм/год	P, Гпа	Tw, °C	n, %	Ta, °C	W, м/с	Qa, г/кг	B, Вт/м2
R, Вт/м2	1,00								
Pp, мм/год	-0,40	1,00							
P, Гпа	0,13	-0,28	1,00						
Tw, °C	-0,25	0,53	0,36	1,00					
n, %	-0,69	0,27	0,17	0,26	1,00				
Ta, °C	-0,01	0,39	0,53	0,89	0,14	1,00			
Wind, м/с	0,07	0,33	0,04	0,15	0,02	0,13	1,00		
Qa, г/кг	-0,04	0,48	0,49	0,89	0,09	0,97	0,22	1,00	
B, Вт/м2	0,59	-0,40	0,04	-0,49	0,41	-0,13	-0,19	-0,14	1,00

В точке №8 хорошая прямая связь между Tw и Ta, Tw и Qa, Ta и Qa, а также хорошая обратная связь между R и n.

Таблица 4.2.9 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №9

33,33 °N	26,25°E								
<i>r, коэфф.корреляц</i>	R, Вт/м2	Pp, мм/год	P, Гпа	Tw, °C	n, %	Ta, °C	W, м/с	Qa, г/кг	B, Вт/м2

R, Вт/м2	1,00								
Pp, мм/год	-0,46	1,00							
P, Гпа	0,16	-0,22	1,00						
Tw, °C	-0,26	0,48	-	1,00					
n, %	-0,62	0,27	0,21	0,30	1,00				
Ta, °C	-0,06	0,33	0,54	0,94	0,24	1,00			
Wind, м/с	0,14	0,24	0,03	-0,14	0,10	-0,14	1,00		
Qa, г/кг	-0,06	0,38	0,54	0,91	0,19	0,97	-0,09	1,00	
B, Вт/м2	0,57	-0,45	0,13	-0,42	0,35	-0,16	-0,17	-0,12	1,00

В точке № 9 хорошая прямая связь между Tw и Ta, Tw и Qa, Ta и Qa

Таблица 4.2.10 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №10

33,33 °N	28,125°E									
<i>г, коэфф.корреляц</i>		R, Вт/м2	Pp, мм/год	P, Гпа	Tw, °C	n, %	Ta, °C	W, м/с	Qa, г/кг	B, Вт/м2
R, Вт/м2		1,00								
Pp, мм/год		-0,50	1,00							
P, Гпа		0,14	-0,31	1,00						
Tw, °C		-0,29	0,39	- 0,48	1,00					
n, %		-0,52	0,28	- 0,29	0,36	1,00				
Ta, °C		-0,06	0,31	- 0,53	0,95	0,30	1,00			
Wind, м/с		0,19	0,17	0,06	-0,45	- 0,14	-0,42	1,00		
Qa, г/кг		-0,02	0,33	- 0,56	0,90	0,28	0,96	-0,39	1,00	
B, Вт/м2		0,58	-0,42	0,24	-0,45	- 0,36	-0,20	-0,06	-0,12	1,00

В точке № 10 хорошая прямая связь между Tw и Ta, Tw и Qa, Ta и Qa

Таблица 4.2.11 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №11

33,33 °N	30°E									
г, коэфф.корреляц		R, Вт/м2	Pp, мм/год	P, Гпа	Tw, °C	n, %	Ta, °C	W, м/с	Qa, г/кг	B, Вт/м2
R, Вт/м2		1,00								

Pp, мм/год	-0,56	1,00							
P, Гпа	0,20	-0,44	1,00						
Tw, °C	-0,34	0,46	-	1,00					
n, %	-0,63	0,34	-	0,46	1,00				
Ta, °C	-0,17	0,41	-	0,97	0,41	1,00			
Wind, м/с	0,19	0,00	0,02	-0,52	0,20	-0,47	1,00		
Qa, г/кг	-0,12	0,46	-	0,90	0,42	0,95	-0,43	1,00	
B, Вт/м2	0,58	-0,39	0,30	-0,49	0,37	-0,32	0,02	-0,18	1,00

В точке № 11 хорошая прямая связь между Tw и Ta, Tw и Qa, Ta и Qa

Таблица 4.2.12 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №12

33,33 °N	31,875°E									
<i>г, коэфф.корреляц</i>	R, Вт/м2	Pp, мм/год	P, Гпа	Tw, °C	n, %	Ta, °C	W, м/с	Qa, г/кг	B, Вт/м2	
R, Вт/м2	1,00									
Pp, мм/год	-0,53	1,00								
P, Гпа	0,17	-0,42	1,00							
Tw, °C	-0,28	0,60	-	1,00						
n, %	-0,68	0,41	-	0,42	1,00					
Ta, °C	-0,16	0,54	-	0,96	0,39	1,00				
Wind, м/с	0,13	-0,11	-	-0,44	0,10	-0,34	1,00			
Qa, г/кг	-0,08	0,57	-	0,89	0,39	0,95	-0,31	1,00		
B, Вт/м2	0,53	-0,40	0,28	-0,55	0,33	-0,40	0,09	-0,24	1,00	

В точке № 12 хорошая прямая связь между Tw и Ta, Tw и Qa, Ta и Qa, а также хорошая обратная связь между R и n.

Таблица 4.2.13 Коэффициенты корреляции между характеристиками в точке №13

33,33 °N	33,75°E									
<i>г, коэфф.корреляц</i>	R, Вт/м2	Pp, мм/год	P, Гпа	Tw, °C	n, %	Ta, °C	W, м/с	Qa, г/кг	B, Вт/м2	

R, Вт/м2	1,00								
Pp, мм/год	-0,37	1,00							
P, Гпа	0,11	-0,38	1,00						
Tw, °C	-0,24	0,45	0,38	1,00					
n, %	-0,63	0,38	0,34	0,32	1,00				
Ta, °C	-0,06	0,37	0,42	0,94	0,26	1,00			
Wind, м/с	0,12	0,10	0,17	-0,14	0,01	-0,03	1,00		
Qa, г/кг	0,00	0,44	0,48	0,87	0,30	0,95	0,02	1,00	
B, Вт/м2	0,51	-0,36	0,21	-0,63	0,23	-0,40	0,12	-0,25	1,00

В точке № 13 хорошая прямая связь между Tw и Ta, Tw и Qa, Ta и Qa

В общем и целом корреляционный анализ для всех 13 точек показал нам, что чем больше температура воды и воздуха, тем сильнее воздух насыщается водяным паром, также для большинства точек значимой оказалась обратная корреляционная связь между облачностью и радиационным балансом. Стоит отметить, что результаты корреляционного анализа для характеристик в точке №1 очень сильно отличаются от результатов корреляционного анализа для оставшихся двенадцати точек.

4.3 Расчет линейных трендов характеристик

Для самой западной точки № 13 (33,33 °N, 33,75°E) для каждой из характеристик был произведен расчет линейных трендов и оценка значимости линейного тренда. В результате получилось, что:

- линейный тренд отсутствует для радиационного баланса, давления, облачности, ветра;
- линейный тренд присутствует для осадков, температуры воды, температуры воздуха, удельной влажности, теплового баланса.

Ниже представлены графики для характеристик со значимым линейным трендом в точке № 13:

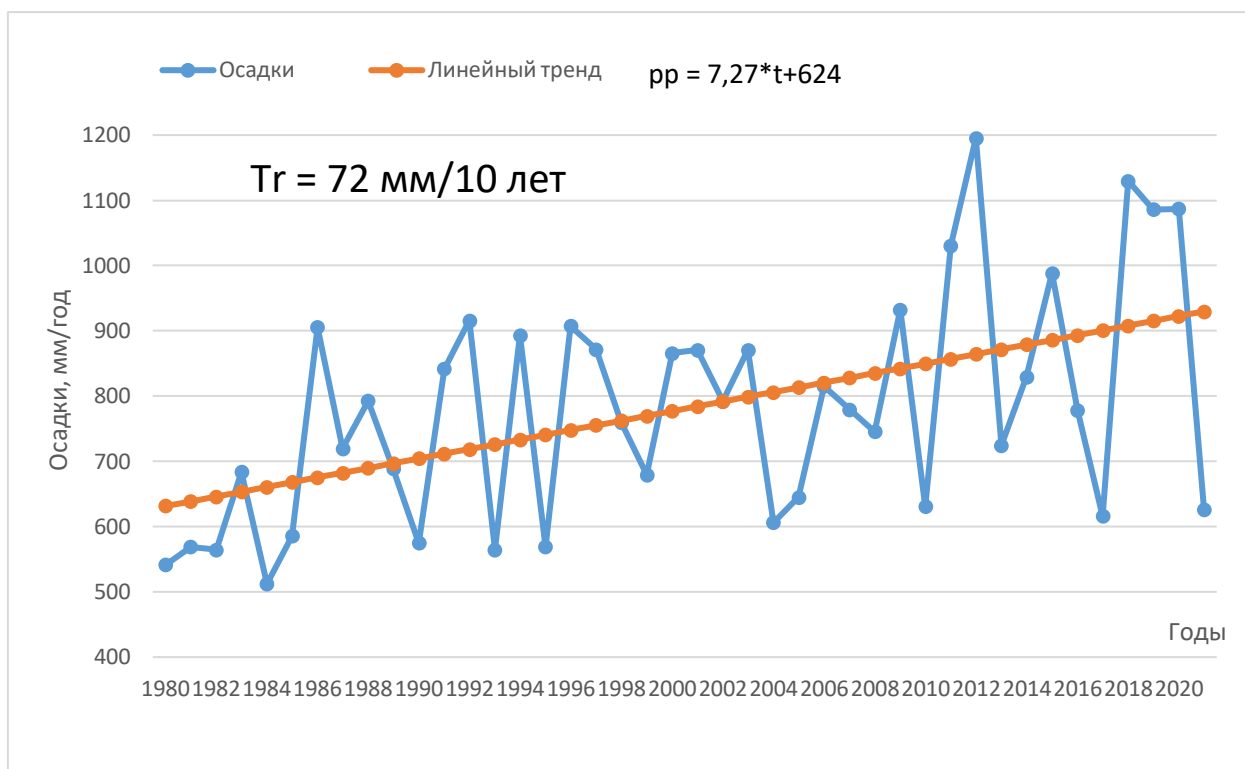


Рис. 4.3.1 Среднегодовая изменчивость осадков и ее линейный тренд в Средиземном море с 1980 года по 2021 год для точки № 13

Уравнение линейного тренда: $Pp = 7,27 \cdot t + 624$; характер тренда положительный, количество осадков растет. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 7,27 \text{ мм/год}$. Тогда величина тренда $Tr = 72 \text{ мм/10 лет}$.

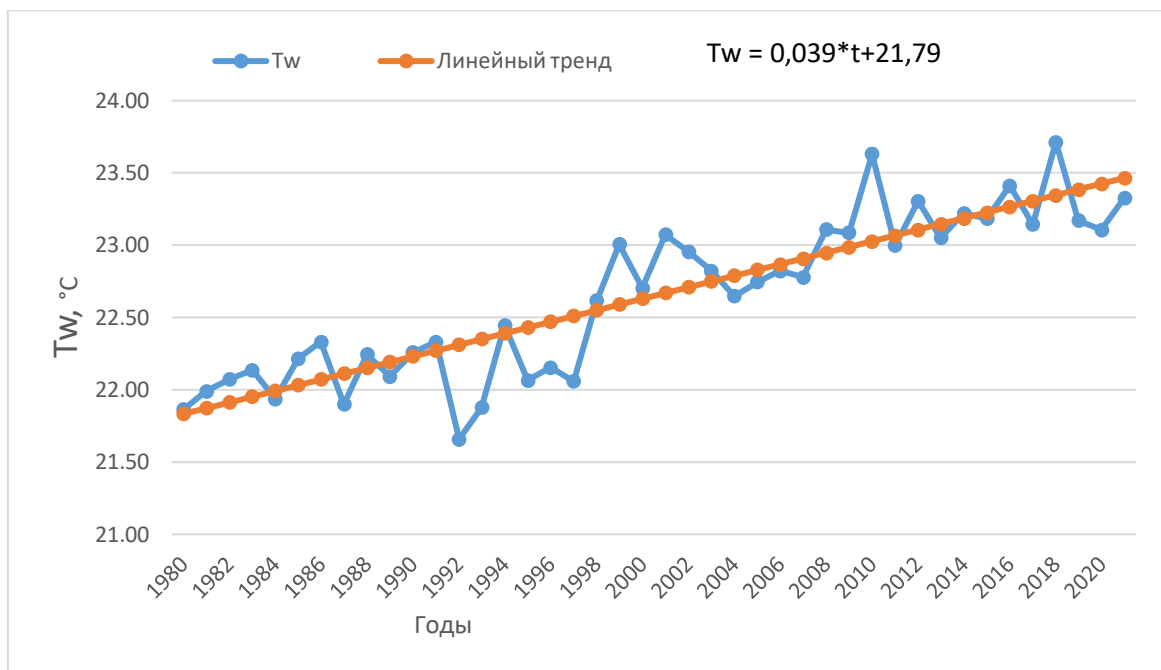


Рис. 4.3.2 Среднегодовая изменчивость температуры воды и ее линейный тренд в Средиземном море в период с 1980 года по 2021 год для точки № 13

Уравнение линейного тренда: $T_w = 0,039 \cdot t + 21,79$; характер тренда положительный, температура воды растет. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 0,039 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{год}$. Тогда величина тренда $Tr = 0,39^{\circ}\text{C} / 10 \text{ лет}$.

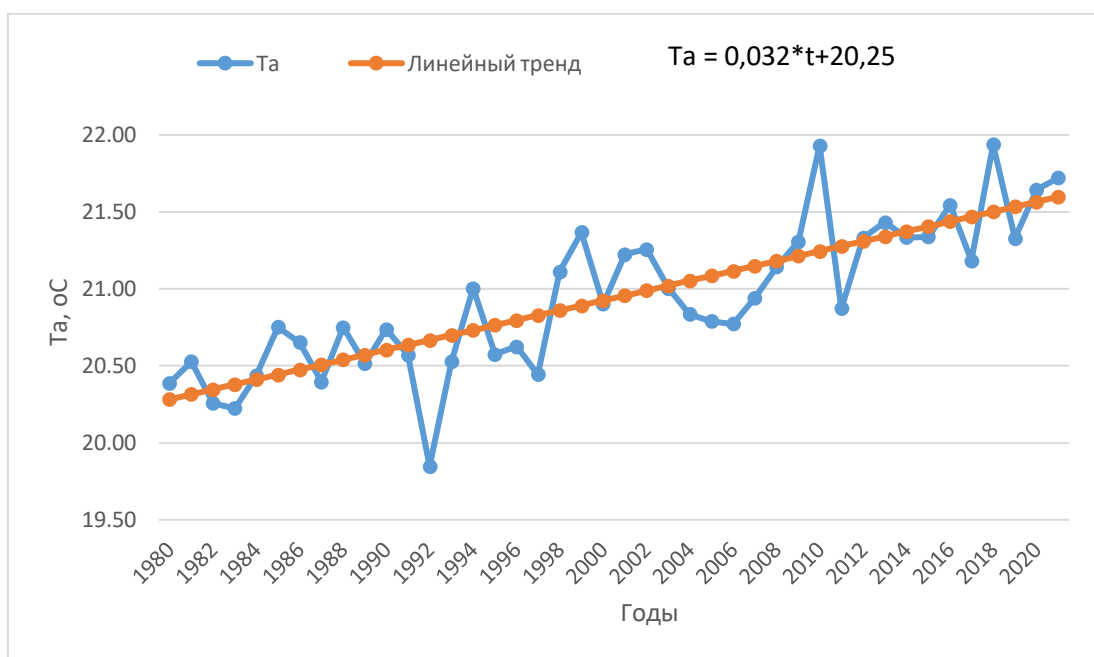


Рис. 4.3.3 Среднегодовая изменчивость температуры воздуха и ее линейный тренд в Средиземном море в период с 1980 года по 2021 год для точки № 13

Уравнение линейного тренда: $Ta = 0,032 * t + 20,25$; характер тренда положительный, температура воздуха растет. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 0,032$ °C /год. Тогда величина тренда $Tr = 0,32$ °C /10 лет.

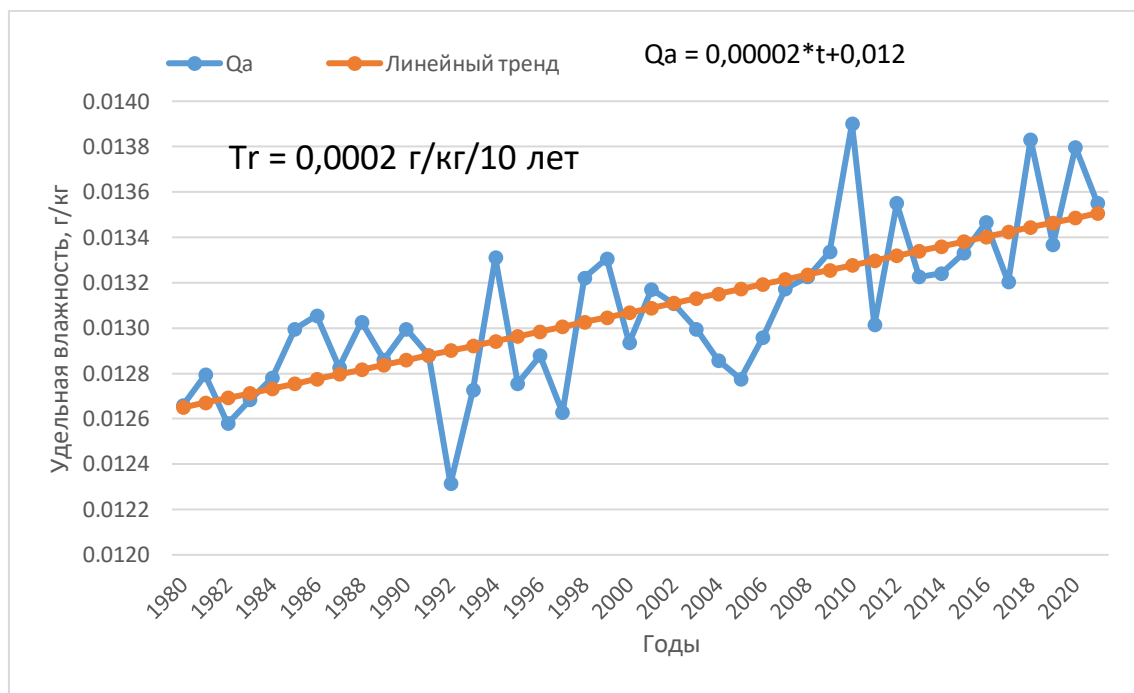


Рис. 4.3.3 Среднегодовая изменчивость удельной влажности и ее линейный тренд в Средиземном море в период с 1980 года по 2021 год для точки № 13

Уравнение линейного тренда: $Qa = 0,0002 * t + 0,012$; характер тренда положительный, удельная влажность воздуха растет. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 0,0002$ г/кг. Тогда величина тренда $Tr = 0,0002$ г/кг/10 лет

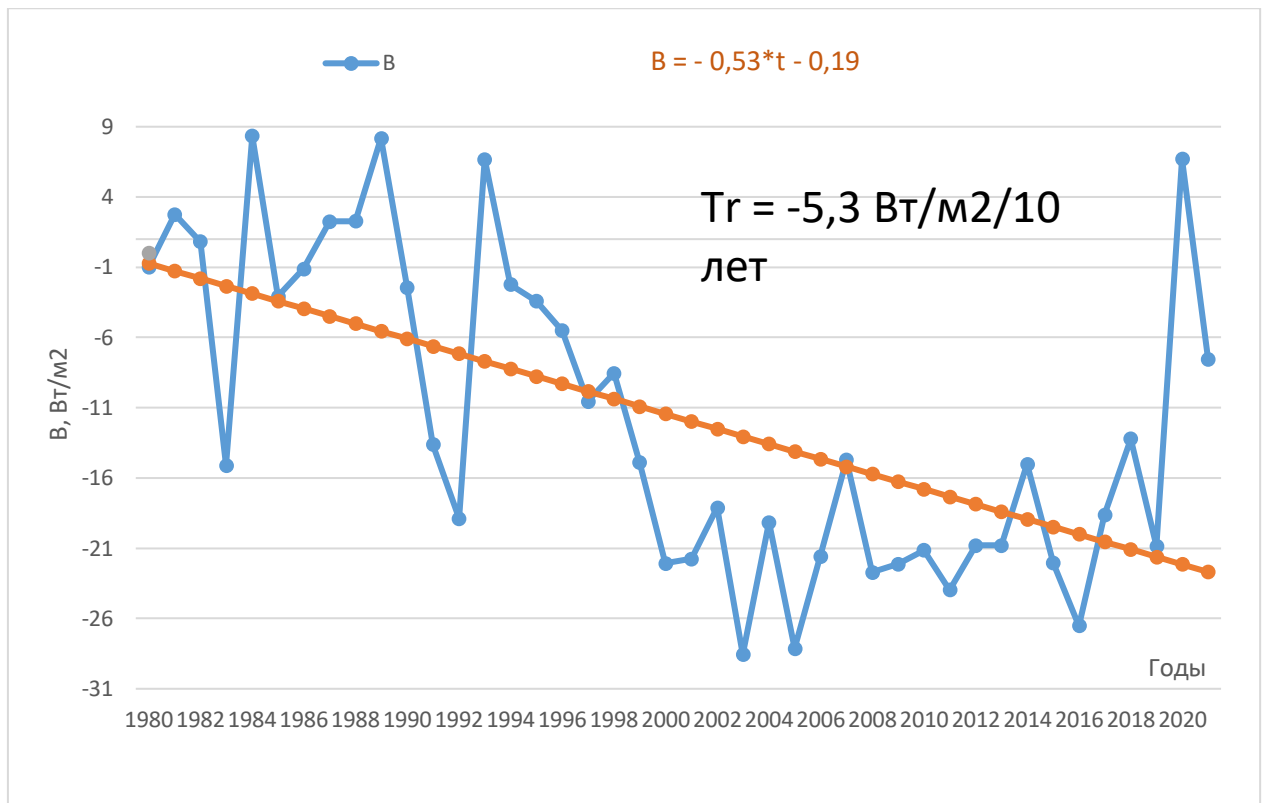


Рис. 4.3.4 Среднегодовая изменчивость теплового баланса и его линейный тренд в Средиземном море в период с 1980 года по 2021 год для точки № 13

Уравнение линейного тренда: $B = -0,53 \cdot t - 0,19$; характер тренда отрицательный, тепловой баланс уменьшается. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = -0,53 \text{ Вт/м}^2$. Тогда величина тренда $Tr = -5,3 \text{ Вт/м}^2/10 \text{ лет}$.

Также были произведены расчеты линейных трендов для самой восточной точки № 1 ($33,33^\circ\text{N}$, $11,25^\circ\text{E}$). Ниже приведены результаты:

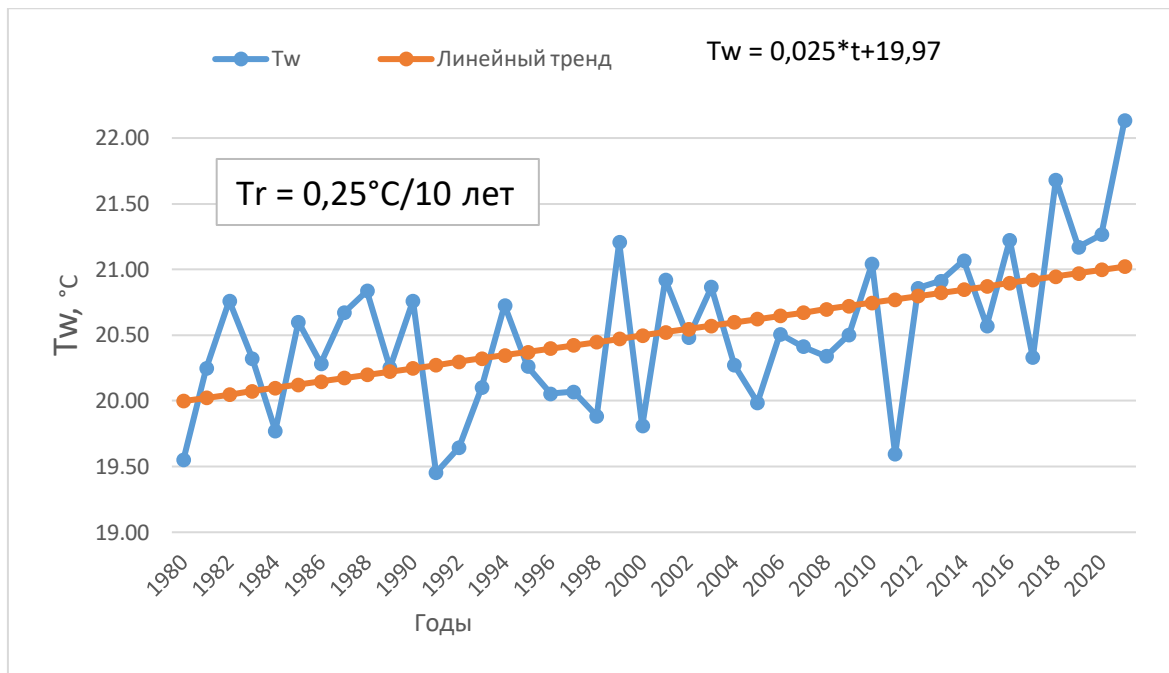


Рис. 4.3.5 Среднегодовая изменчивость температуры воды и ее линейный тренд в Средиземном море в период с 1980 года по 2021 год для точки № 1

Уравнение линейного тренда: $Tw = 0,025 \cdot t + 19,97$; характер тренда положительный, температура воды растет. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 0,025^\circ\text{C}/\text{год}$. Тогда величина тренда $Tr = 0,25^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$.

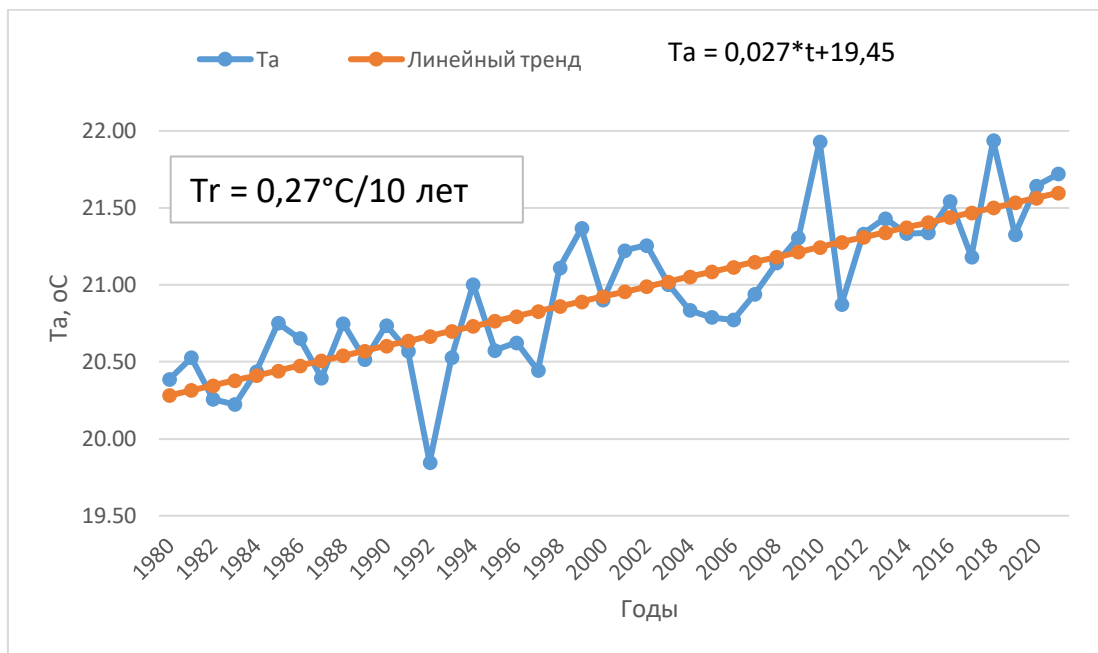


Рис. 4.3.6 Среднегодовая изменчивость температуры воздуха и ее линейный тренд в Средиземном море в период с 1980 года по 2021 год для точки № 11

Уравнение линейного тренда: $Ta = 0,027 * t + 19,45$; характер тренда положительный, температура воздуха растет. Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. $a_1 = 0,027$ °C /год. Тогда величина тренда $Tr = 0,27$ °C /10 лет.

Если проанализировать полученные результаты, то можно сказать, что в западной части разреза (район Израиля и Ливана) величина трендов температуры воздуха ($TRa = 0,32$ °C/10 лет) и температуры воды ($TRw = 0,32$ °C/10 лет) больше, чем в восточной части широтного разреза (район Туниса), где величина трендов температуры воздуха ($TRa = 0,27$ °C/10 лет) и температуры воды ($TRw = 0,25$ °C/10 лет). Также можно сказать, что в западной части разреза величина тренда температуры воды преобладает над величиной тренда температуры воздуха, а в восточной части разреза равным счетом наоборот ($TRw < TRa$).

4.4 Результаты гармонического анализа для температуры воды в точке № 13. Для расчета гармоник значимый линейный тренд был удален из исходного ряда температуры воды. Основываясь на данном ряде отклонений была рассчитана периодограмма, на которой было 3 пика. Дисперсия ряда отклонений и исходного ряда Tw равны $0,063$ °C² и $0,3$ °C² соответственно.

Табл.№4.4.1 Результаты измерения параметров гармоник.

Параметры	G1	G2	G3
Частота, 1/год	0,03	0,08	0,12
Период, год	29,82	4,00	2,71
Частота, рад/год	0,21	1,57	2,32
К-т Фурье a_k	-0,02	-0,13	0,07
К-т Фурье b_k	0,17	0,02	-0,09
A °C	0,17	0,14	0,11
Фаза, рад	-0,10	-1,41	-3,81

Фаза, год	-0,46	-0,90	-1,64
Дисперсия гармоники	0,01	0,01	0,006
Дисперсия исходного ряда	0,30	0,30	0,30
Вклад гармоники в ряд откл. от Tw	0,22	0,15	0,095
Вклад гармоники в исх. ряд Tw	0,05	0,03	0,020

В результате измерений амплитуда годовой гармоники больше, чем полугодовой ($0,17^{\circ}\text{C} > 0,14^{\circ}\text{C}$).

Уравнение для годовой гармоники – $G_1 = 0,17 \cos(0,03 \cdot t + 0,10)$

Уравнение для полугодовой гармоники – $G_2 = 0,14 \cos(0,08 \cdot t + 1,41)$

Уравнение для гармоники – $G_3 = 0,11 \cos(0,12 \cdot t + 3,81)$

Все три гармоники незначимы для исходного ряда, но значимы для ряда отклонений. Так как значимы все три гармоники для ряда отклонений, то суммируем их и формируем ряд восстановленных значений Tw, а также строим совмещённый график восстановленных значений и исходного ряда отклонений.

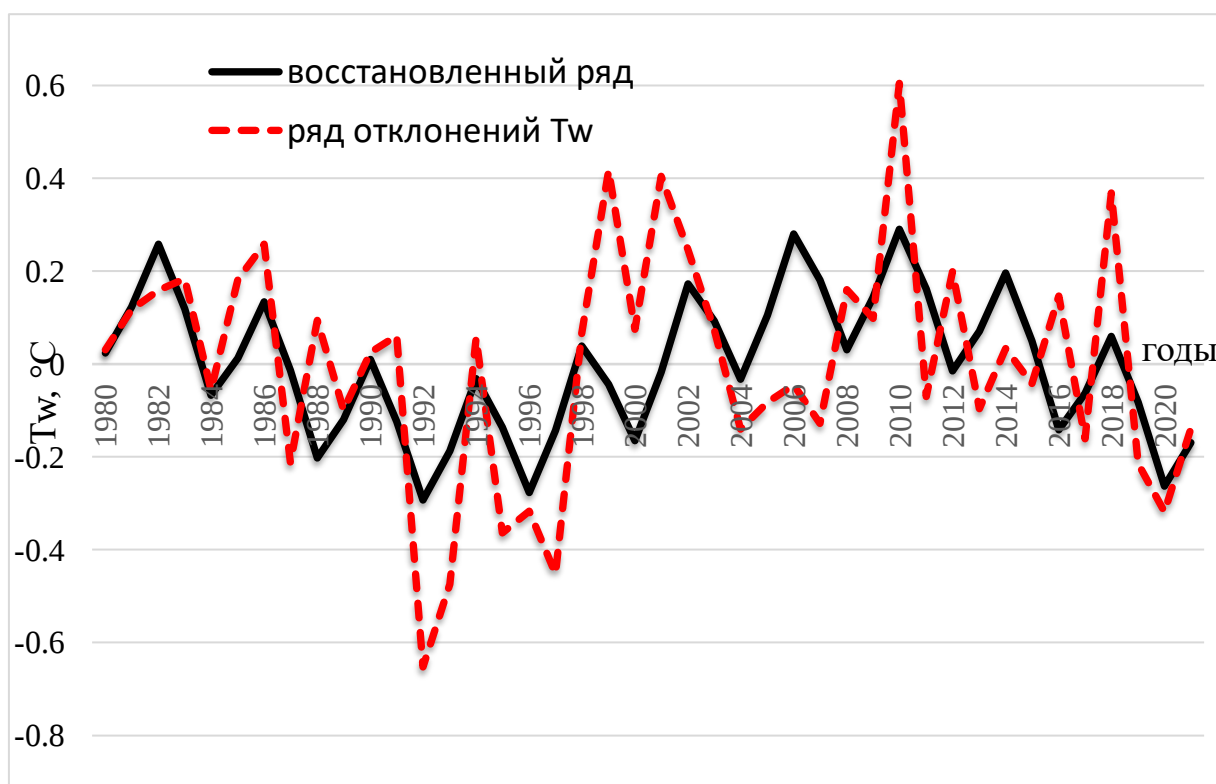


Рис. 4.4.1 Совмещенный график суммы гармоник и ряда отклонений Tw.

Из рисунка 4.4.1 видно, что восстановленные значения температуры воды на поверхности хорошо описывают ход исходной температуры воды на

поверхности, но имеют заниженные значения. Первая гармоника с периодом в 29,8 лет описывает ряд отклонений на 22%, а суммарно три гармоники вносят вклад в дисперсию ряда отклонений – на 46,5%. Наибольшее отклонение от ряда принимают значения $\sim 0,35^{\circ}\text{C}$ в 1992 году, в периоды с 1999 по 2001 гг. в 2010 и в 2018 годах.

Закключение

В данной работе был проведен сбор информации об исследуемых климатических характеристиках, подготовлена Выборка данных за период 1980 – 2021 гг, был проведен статистический анализ климатических характеристик (корреляционный анализ, выделение тренда, гармонический анализ), были построены широтные разрезы климатических характеристик.

Были исследованы изменения климатических характеристик Средиземного моря таких как температура воды, температура воздуха, давление, удельная влажность, осадки, радиационный и тепловой баланс, скорость ветра, облачность. Были выявлены некоторые особенности распределения характеристик на широтном разрезе, были получены линейные тренды для некоторых значимых характеристик по обе стороны широтного разреза. В результате проведенных мною исследований можно точно сказать, что за период с 1980 по 2021 гг. температура воды и воздуха значительно выросли в Средиземноморском бассейне, вследствие этого возросла и удельная влажность. Линейные тренды для температуры воды, температуры воздуха и удельной влажности имеют четкую положительную тенденцию, а это значит, что и в ближайшее время данные характеристики продолжат расти. Хотя на протяжении всей истории Средиземноморья происходили значительные изменений климатических условий: температура в среднем была на 8 °C ниже нынешней в разгар последнего ледникового периода (около 20 000 лет назад) или на 1-3 ° C выше в середине голоцена (6000 лет назад), нынешние изменения являются беспрецедентными.

Список использованных источников

1. <http://iridl.ldeo.columbia.edu>
2. <http://openseamap.org/>
3. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации», Санкт-Петербург, РГГМУ, 2017 г., 68 с.
4. https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lsa/SeaLevelRise/LSA_SLR_timeseries.php
5. The Mediterranean Region under Climate change (A Scientific update) Hakima El Yaite, Marseille, 2016, 720 с.
6. Climate Change in the Mediterranean: Environmental Impacts and Extreme Events, Mediterranean Yearbook 2020, 16 с.
7. Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future, Chapter 2 Drivers of Change, France, 2020, 128 с.
8. Rizzo, A.; Vandelli, V.; Gauci, C.; Buhagiar, G.; Micallef, A.S.; Soldati, M. Potential Sea Level Rise Inundation in the Mediterranean: From Susceptibility Assessment to Risk Scenarios for Policy Action. Water 2022, Italy, 24 с.
9. Физическая география материков и океанов: Учебн. для геогр. Спец. Ун-тов/Ю.Г.Ермаков, Г.М.Игнатьев, Л.И.Куракова и др.; Под общей ред. А.М. Рябчикова. - М.: Высшая школа., 1988. -592 с.
10. The climate change signal in the Mediterranean Sea in a regionally coupled atmosphere–ocean model Ivan M. Parras-Berrocal , Ruben Vazquez , William Cabos , Dmitry Sein , Rafael Mañanes , Juan Perez-Sanz , and Alfredo Izquierdo, Spain, 2020, 20 стр
11. Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global temperature rise. A report for WWF 1 July 2005 C. Giannakopoulos, M. Bindi, M. Moriondo, P. LeSager and T. Tin, 62 стр
12. Ананьев Г.С. Леонтьев О.К. Геоморфология материков и океанов. - М.: Изд-во МГУ, 1987. - 275 с.
13. Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region, A preliminary assessment by the MedECC Network Science-policy interface – 2019, 35 с.
14. CARATTERISTICHE BIOCHIMICHEDEL MEDITERRANEO

ANALIZZATE ATTRAVERSO BANCHE DATI STORICI, Alessio
Antonelli, Anno Accademico 2002, 108 c.