

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

(РГГМУ)

На правах рукописи

УДК [ ]

Аль-Бухаири Осама Ахмед Хизам

**Колебание климата в районе Аравийского полуострова на фоне изменений  
циркуляции атмосферы в Северном полушарии**

Специальность: 25.00.30 – «Метрология, климатология, агрометеорология»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидат географических наук

Санкт-Петербург 2012

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете (РГГМУ), кафедра экология и физики природной среды

Научные руководители: доктор геогр. наук, проф.  
Смирнов Николай Павлович

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор  
Попова Елена Сергеевна

доктор географических наук, профессор  
Алексеев Генрих Васильевич

Ведущая организация: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

Защита диссертации состоится «17» мая 2012 г. в 15<sup>30</sup> часов на заседании диссертационного совета Д212.197.01 Российского государственного гидрометеорологического университета по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский проспект, 98

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета

Автореферат разослан «15» апреля 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного  
доктор географических наук



А.И. Угрюмов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы:** На протяжении всей истории развития цивилизации климат оказывал существенное влияние на деятельность человека. Изменения климата во многих случаях были причиной подъема и упадка культур целых наций и государств. В последнее время быстрый рост развития производительных сил приводит к тому, что зависимость ряда отраслей хозяйственной деятельности и даже в целом государств от меняющихся климатических условий растет, вместе с ростом производства.

Если еще недавно считали, что основным практическим применением метеорологии является прогноз погоды, то сейчас многие начали понимать, что для долгосрочного планирования и управления хозяйственной деятельностью, помимо прогноза погоды, нужно шире, глубже и всестороннее использовать знания о климате и его изменениях.

В последнее десятилетия интерес к изменениям климата возрастает. Вопрос об изменении климата привлекает внимание многих исследователей, особенно после появления в средствах массовой информации сообщений о каких-либо экстремальных погодных и климатических условиях штормов, наводнений, засух, аномальных температурах и других катастрофах связанных с погодой и климатом.. Это ведет к возрастанию роли долгосрочных прогнозов погоды и климата, как в региональном, так и глобальном масштабах.

В данной работе мы не ставили глобальных целей и задач. Поскольку до настоящего времени не было выполнено детального исследования изменений основных характеристик климата на Аравийском полуострове и в том числе в Йемене, в работе было обращено внимание именно на изучение климата и его колебаний в этом регионе нашей планеты, климат которого довольно специфичен, поскольку регион находится на стыке воздействия на него процессов происходящих в Атлантическом и Индийском океанах.

**Целью исследования** является изучение изменения климата на Аравийском полуострове и в частности, на территории республики Йемен.

**Для достижения поставленной цели необходимо было решить ряд задач:**

- изучить на основе существующей базы данных колебания сезонных и среднегодовых значений температур воздуха, осадков и температуры воды в данном регионе за многолетний период;
- оценить климатические изменения температуры воздуха, осадков и температуры воды за последние десятилетия, ориентируясь на модель линейного тренда, а также структуру изменения климата с помощью спектрального анализа рядов наблюдений.
- определить влияние изменений циркуляции атмосферы в разных областях планеты на изменения климата в данном регионе.

**Методы исследования.** Для получения результатов использовался программный пакет Statistica 6.0 для Windows, и, в частности, корреляционный анализ, анализ временных рядов с использованием спектрального анализа и расчетом кросс-корреляций. Гармонический анализ колебательных процессов осуществлен в

программе Microsoft Excel при консультации доцента каф. Экологии РГГМУ А.П. Юркова.

**Новизна работы** заключается в том, что впервые выполнено комплексное исследование колебаний климата на Аравийском полуострове в целом и оценена роль циркуляции атмосферы как над Северной Атлантикой, так и над севером Индийского океана на формирование изменений климата этого региона.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что на относительно небольшом регионе показана роль глобальных атмосферных процессов, формирующихся над океанами и способных приводить к разнонаправленным изменениям климата на их границах. Этот результат работы уже используется при чтении курса «Теория климата» в РГГМУ.

Практическое значение работы состоит в том, что получена основа для разработки в дальнейшем сценариев долгосрочных прогнозов климата как в северо-западном, так и юго-западном районах Аравийского полуострова.

**Обоснованность и достоверность результатов** обусловлена достаточным объемом данных использованных в работе, выбором и корректным использованием математического аппарата, а также в целом достаточной их согласованностью с отдельными результатами по колебаниям климата в этом регионе и влиянием на него атмосферной циркуляции, полученных другими авторами.

**На защиту выносятся следующие научные положения:**

- Изменения температуры воздуха и осадков на Аравийском полуострове в течение прошлого столетия и начале текущего не было однородным и определялось сложным характером атмосферной циркуляции в регионе под влиянием атмосферных процессов над Северной Атлантикой и северной частью Индийского океана;

- На формирование климата на севере и западе полуострова основную роль оказывает система центров действия атмосферы северной части Атлантического океана. На востоке и юге полуострова преобладающее влияние на климат играет Индийский антициклон, его положение.

- Гипотеза о глобальном потеплении климата по данным об изменении температуры воздуха и осадков на полуострове не находит своего подтверждения;

- Большую роль в формировании температурного режима на западе полуострова, особенно в прибрежных районах играет Красное море, которое во все сезоны года отдаёт своё тепло в атмосферу.

**Личный вклад автора** заключается в постановке проблемы, методическом обеспечении ее решения и анализе полученных результатов.

**Апробация работы.** Результаты исследования докладывались и обсуждались: на научных сессиях Учёного совета РГГМУ и семинарах кафедры экологии.

**Публикации**

Результаты диссертации опубликованы в 3 научных статьях в журналах, рекомендованных списком ВАК.

**Структура и объем работы** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка источников, содержащего [59 ] источник, 36 рисунков и 12 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, новизна работы, приведены основные положения и результаты исследования, выносимые на защиту, описаны теоретическая и практическая значимость работы.

**В первой главе** приводится общая физико-географическая характеристика Аравийского полуострова, особенности геологии и геоморфологии региона, влияющие на климат, особенности местных экосистем. Также более подробно рассматриваются особенности географии и климата тех стран, которые были включены в исследования колебаний климата на полуострове.

Аравийский полуостров находится на юго-западе Азии, занимает площадь около 3,1 млн.км<sup>2</sup>. Омывается на западе Красным морем, на юге - Аденским заливом и Аравийским морем, на востоке - Оманским и Персидским заливами Индийского океана.

На Аравийском полуострове расположены следующие государства: Бахрейн, Йемен, Катар, Кувейт, Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ), Оман и Саудовская Аравия (СА).

Аравийский полуостров расположен между 12 и 30 с.ш. и 35 и 60 в.д. Регион характеризуется многообразными природными условиями и различной геофизической структурой. Преобладают равнины и плато на западе, а на юге и востоке – горы (высота до 3600 м). Большая часть территории занята полупустынями и пустынями (Руб-эль-Хали, Дехна, Нефуд, Тихама и др.), которые составляют около 89 % территории.

Климат Аравийского полуострова – один из наиболее неблагоприятных для человека. Ограниченное увлажнение, экстремально высокие температуры летнего периода и высокая испаряемость делают этот район наиболее непригодным для жизни человека, животных и растительности. Территория расположена в засушливых районах, на севере которых климат умеренный с максимумом зимних осадков, и тропический климат - на юге. Абсолютный максимум температуры летом достигает +50°С в пустынях, зимние температуры колеблются от +11-20°С в континентальной части полуострова, до +19-28°С на побережье Красного моря и +11-17°С на побережье Персидского залива. Абсолютные минимальные температуры зафиксированы в Кувейте (-2°С) и в Аль-Хафджи (-6°С). Климат южной и средней частей региона – тропический пассатный.

Большую часть года Аравийский полуостров находится под воздействием Азорского субтропического максимума давления, влияние которого распространяется на север вплоть до Южной Сирии. Вследствие этого на западе полуострова и над Красным морем преобладают ветра северо-северо-западного направления. И только в зимний период меняются на восточные, несущие воздух из Центральной Азии. В течение всего года условия циркуляции воздушных масс не благоприятствуют выпадению осадков. Только на крайнем севере намечается переход к кратковременному периоду зимних дождей, связанных с прохождением полярного

фронта, а на крайнем юго-западе осадки, приносимые ветрами муссонного характера, выпадают в летнее время. Основную влагу летний муссон теряет, проходя над Эфиопией. Летом на южном побережье Аравийского полуострова наблюдается перенос воздушных масс с запада (летний муссон). В некоторых районах по несколько лет подряд не бывает ни одного дождя, а временами случаются непродолжительные ливни, в течение которых может выпасть несколько десятков миллиметров влаги. Почти повсюду эти случайные дожди приходится на зимнее время года. В горах внутренних частей Аравийского полуострова выпадает мало дождей, и они так же пустынно, как и равнины.

Основными экосистемами Аравийского полуострова являются горные экосистемы, экосистемы песчаных и гравийных пустынь и солончаковые экосистемы. Самые высокие точки полуострова, находящиеся на территории Йемена, и возвышенности в восточной части Аравийского полуострова характеризуются растительностью с доминированием диких маслин и можжевельников. Несмотря на засушливый климат, разнообразие наземных и пресноводных животных на удивление велико. Многие виды современной фауны являются эндемичными. Большинство видов описанных животных относится к типу членистоногих, среди которых часть семейств насекомых и пауков являются высоко эндемичными. Большинство местных видов позвоночных тоже приурочены именно к Аравийскому полуострову: практически все из 15 известных видов пресноводных рыб являются эндемиками, так же, как и около 60% из известных там 145 видов рептилий и амфибий. Эндемизм несколько более характерен для южных районов.

Коралловые рифы широко распространены в регионе; известно более 250 видов кораллов. Здесь наблюдается самое большое видовое богатство кораллов во всем Индийском океане. Они распространены в основном в северной и центральной части Красного моря, в южной части его их меньше. Вдоль берегов Южной Аравии коралловые рифы менее распространены, в связи с сезонным холодным апвеллингом. В районе Персидского залива кораллы практически отсутствуют по причине неподходящих им каменистых субстратов. Коралловые биоценозы являются одними из наиболее продуктивных экосистем Земли. Коралловые рифы Красного моря, как и в большинстве районов Земли, находятся под угрозой исчезновения.

**Во второй главе** описаны данные, использованные при анализе изменения климата в регионе Аравийского полуострова.

Временные ряды наблюдений температуры воздуха и воды были взяты из базы данных с сайта Международного исследовательского института климата в Колумбии. Точки образуют равномерную сетку с шагом в 5° по широте и долготе, покрывая почти всю территорию Аравийского полуострова. Ряд наблюдений составляет 100 лет, за исключением двух точек, где имеются данные только за 61 год. Всего выбрано семь точек.

Данные по температуре воды взяты для двух точек на побережье Красного моря. В одной из них временной ряд составляет 105 лет, другая точка, с коротким временным рядом (27 лет), была взята для сравнения колебаний температуры за последнее время.

Данные по осадкам взяты на метеорологических станциях Тайз, Сана, Салала, Медина, Дахран. Выбор точек обусловлен тем, что на этих метеостанциях имеются наиболее длинные ряды наблюдений, без пропусков; при этом местоположение станций отражает разнообразие климатических условий Аравийского полуострова.

Благодаря наличию центров действия атмосферы в умеренных широтах над Северной Атлантикой постоянно осуществляется западно-восточный перенос воздушных масс. Интенсивность этого переноса значительно меняется во времени вследствие того, что центры действия значительно варьируют как по интенсивности, так и по положению. Интенсивность этого потока уже достаточно давно стали определять разностью давления на станциях, расположенных вблизи климатических центров действия, например между Понта-Делгада на Азорских островах и Акюрейри в Исландии. Эту разность давления, определяемую обычно в среднем за зимние месяцы, стали называть Северо-Атлантическим колебанием (North Atlantic Oscillation - NAO). В настоящее время именно этот индекс, а не характеристики самих центров действия атмосферы, наиболее широко используется для характеристики интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой, ее влияние на все близлежащие регионы северного полушария.

Главной особенностью за рассматриваемый период является резкое ослабление зональной циркуляции над Северной Атлантикой в 50-е годы с глубоким минимумом в 60-е годы. Столь глубокого минимума, по-видимому, не наблюдалось, по крайней мере, с 20-х годов XIX столетия. Об этом можно судить по изменениям разности давления между пунктами Барселона и Тронхейм. После этого минимума в 70-80-е годы произошло резкое усиление интенсивности зональной циркуляции, опять-таки никогда не наблюдавшееся в столь значительных масштабах за последние два столетия. Таким образом, именно в последние 50 лет в циркуляции атмосферы над Северо-Атлантическим регионом наблюдались изменения, которые по своим масштабам превосходили все, что имели место в предшествующие 150 лет.

Одним из наиболее ярких проявлений взаимодействия океана и атмосферы и влияние этого взаимодействия на формирование изменчивости климатических характеристик на обширной акватории и частью континентальной территории является Южное колебание в области пассатной зоны Южно-Тихоокеанского антициклона.

Если взять антициклон на юго-востоке Тихого океана и область низкого давления в районе от Северной Австралии до Индонезии, то обнаруживаются согласованные колебания приземного давления, которое и было названо Южной осцилляцией или Южным колебанием (South Oscillation).

В северной части Индийского океана хорошо выражена область высокого давления – Индоокеанская. Как показали исследования, с динамикой характеристик этого центра тесно связаны и колебания климата сопредельных территорий суши, в том числе юго-восточной части Аравийского полуострова.

Индоокеанский антициклон наиболее интенсивен в зимний период Южного полушария (от 1017 гПа - летом, до 1024 гПа - зимой). По усредненным за многолетний период данным, его центр располагается в районе 30° ю.ш. и 69° в.д. Зимой он имеет тенденцию смещаться к северу и на запад, а летом, наоборот, на юг и на восток. В отдельные годы эти смещения могут достигать очень заметных величин, особенно по долготе (от 45° в.д. до 84° в.д.) В широтном направлении эти смещения меньше.

**Третья глава** посвящена изменению температурного режима на Аравийском полуострове и его многолетней изменчивости.

В разделе 3.1 рассмотрен сезонный ход температур воздуха на полуострове. Как следует из рисунка 1, изменения температуры воздуха на полуострове в течение

года, имея однородный сезонный ход, заметно различаются по величине в зимний и летний период.

Зимой самые низкие температуры наблюдаются на севере полуострова (до 13°C, точка 7), а также на внутриконтинентальных точках (17-19°C, точки 3, 4 и 5), в средней части полуострова. В точках, расположенных на побережье Красного моря и Аденского залива (точки 6 и 1), а также в точке 2, расположенной на юге, в горной части Йемена температуры не опускаются в декабре и январе ниже 24°C.

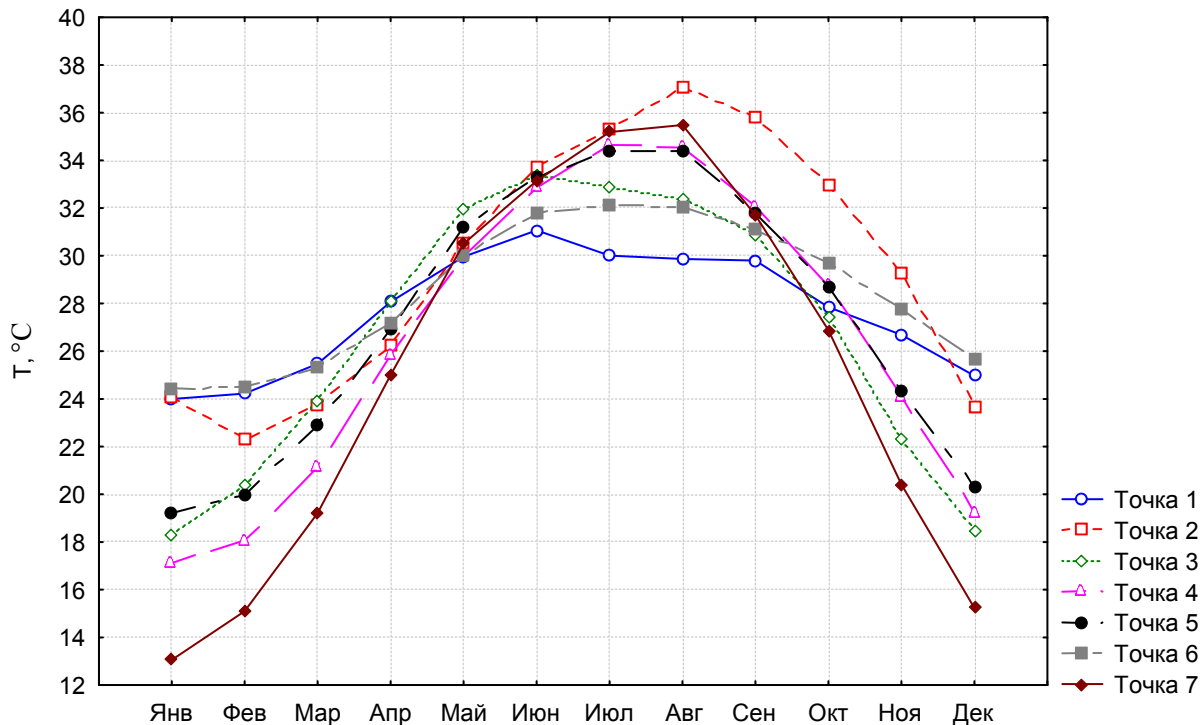


Рис. 1. Годовой ход температур в каждой из точек, в которых проведены температурные наблюдения.

Самые высокие температуры в летний период наблюдаются почти во всех точках полуострова в августе и различия между ними достигают 5° от 32°C в точке на берегу Красного моря до 37° в точке 2, расположенной на юге в горах. Следует заметить, что в самой северной точке (7), расположенной на большем расстоянии, чем другие точки от моря, температура достигает 36°C. Наиболее прохладно летом в точке 1, расположенной на берегу Аденского залива (30°C), что связано с охлаждающим влиянием на температуру воздуха вод Индийского океана. Следует отметить, что максимум летней температуры в этой точке, как и в точке 3 на юго-востоке полуострова приходится не на август, а на июнь, что связано, скорее всего, с летним муссоном.

Результаты гармонического анализа сезонного хода температур показали, что в их изменениях на Аравийском полуострове полностью преобладает годовая волна. Наибольшая амплитуда (11,1°C) наблюдается на севере полуострова (т. 7). Самые небольшие амплитуды годовой волны (3.3 и 4.1) характерны для точек расположенных на побережье Аденского залива и Красного моря. У остальных точек амплитуды годовых волн достаточно близки между собой (7.4°-8.8°C). Фазы годовой волны относительно близки между собой. Полугодовая волна практически не играет заметной роли в колебаниях температуры воздуха на полуострове. Самое большое отношение амплитуды полугодовой волны к годовой наблюдается в точке 1,



расположенной на берегу Аденского залива, что связано, по видимому, с тем, что в Индийском океане полугодовая составляющая заметна как в изменениях давления, так и температуры воды и воздуха. По-видимому, это связано с наличием в Индийском океане полугодового прилива.

В разделе 3.2 приведен анализ многолетних колебаний температур. Изменения средних значений среднегодовой температуры за рассматриваемый промежуток времени на территории Аравийского полуострова невелики и варьируют в пределах от 25°C до 28.5°C. Минимальные значения температур варьируют от 24°C до 27°C, а максимальные - от 26°C до 31°C. Размах колебаний среднегодовых значений температур за период более 100 лет составил от 1.5°C в точке 6 до 4.2 в точке 2, т.е. различия между максимальными и минимальными значениями среднегодовых температур за последнее столетие на рассматриваемой территории также невелики. Есть все основания считать, что на Аравийском полуострове среднегодовые температуры воздуха в целом менялись незначительно. Если брать средние значения температуры воздуха за отдельные сезоны, то различие между максимальными и минимальными значениями здесь больше. Самые большие различия в зимний период наблюдались в северном регионе (более 5°C), а самые большие различия в летний и переходные сезоны характерны для юго-западной части Аравийского полуострова в горных районах (до 9°C).

Нами были рассмотрены линейные тренды и стандартные отклонения изменений температуры воздуха в различных точках Аравийского полуострова рассчитаны за последние 50 лет

Таблица 1. Линейные тренды и стандартные отклонения изменений температуры воздуха в различных точках Аравийского полуострова за последние 50 лет.

Точки	Среднегодовые значения		Зимние значения		Летние значения	
	t, °C	$\sigma$ , °C	t, °C	$\sigma$ , °C	t, °C	$\sigma$ , °C
1	-0.05	0.41	0.18	0.56	0.15	0.53
2	-2.05	1.14	-1.43	1.06	-0.28	1.46
3	1.16	0.7	-0.36	0.71	2.97	1.40
4	0.76	0.63	0.32	0.8	0.98	0.82
5	0.90	0.83	0.72	1.03	0.96	0.93
6	0.18	0.39	0.22	0.65	0.44	0.51
7	0.23	0.54	0.02	1.05	0.31	0.59

В точках 3, 4 и 5, т.е. на востоке полуострова, наблюдалось значимое повышение среднегодовой температуры воздуха. Особенно это характерно для точки 3 - более чем на 1°C.

Однако это повышение характерно только для летнего сезона. Зимой это повышение значительно меньше (для точки 4 вообще не значимо). А в точке 3 в зимний период (на юго-востоке полуострова) наблюдалось понижение температуры, хотя также не значимое.

В трёх точках - первой и шестой, расположенных на побережье Аденского залива и Красного моря, а также седьмой, расположенной на севере полуострова, тренды отсутствовали.

В точке же 2, расположенной на юго-западе, в горном районе Йемена наблюдалось значимое на 2°C похолодание. При этом наиболее выражено оно было в осенне-зимний период и, наоборот, в летний период оно незначимо.

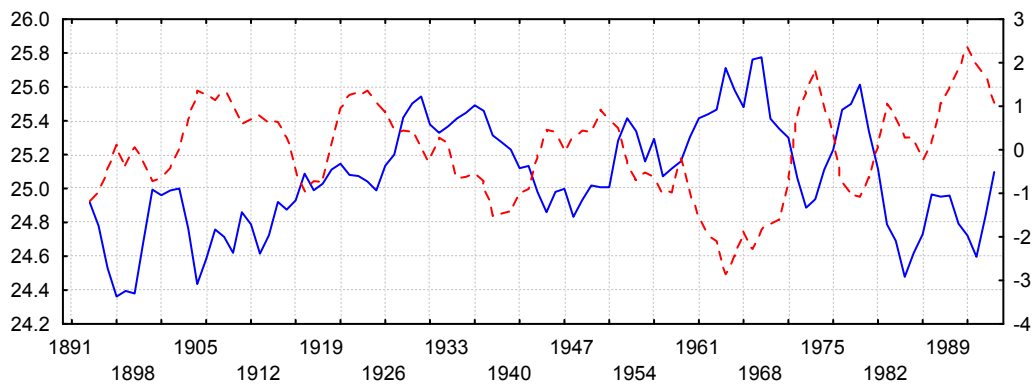
Таким образом, изменение температуры воздуха на Аравийском полуострове, исходя из их изменений по отдельным десятилетиям, а также на основе анализа трендов, ещё раз подтверждает отсутствие направленных изменений температуры воздуха во второй половине XX столетия на полуострове. В центральной части полуострова на востоке (в районах активной добычи нефти) и на юго-востоке наблюдалось повышение температуры воздуха. На юго-западе, в горных районах – её понижение. В прибрежных районах и на севере полуострова температура воздуха заметно не изменилась. Этот результат не свидетельствует в поддержку глобального потепления на Земле в последние 50 лет.

Приведенные исследования структуры многолетней изменчивости температуры воздуха на Аравийском полуострове с помощью спектрального анализа показали следующий в западной части полуострова структура изменчивости очень хорошо совпадает со структурой многолетних изменений Северо-Атлантического колебания, формируемого Исландским минимумом давления и Азорским максимумом ( $\approx 60$  лет, 20 лет и 8 лет). Структура изменчивости температуры воздуха на востоке полуострова несколько другая. В её формирование заметно влияние Индоокеанского антициклона (35 лет, и около 12 лет) и возможно южного колебания (5-6 лет)

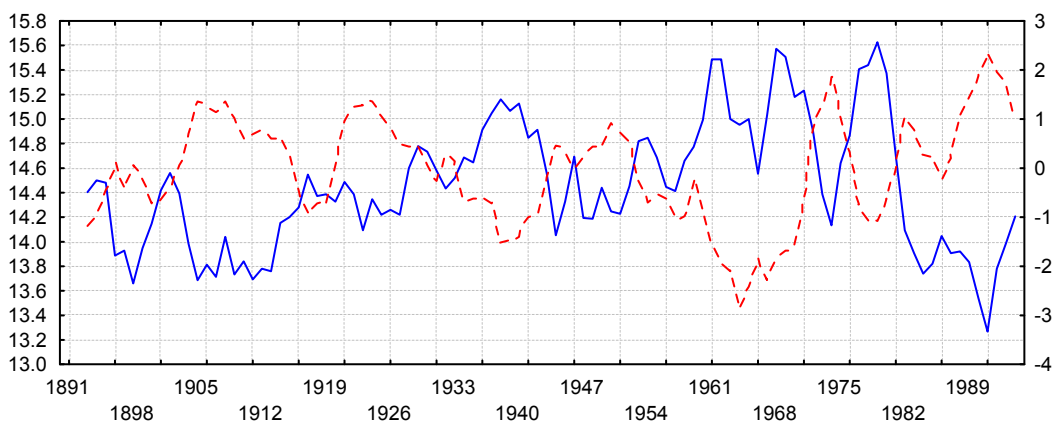
В разделе 3.3 рассматривается связь изменчивости температуры воздуха на Аравийском полуострове с индексами атмосферной циркуляции. Влияние Северо-Атлантического колебания наиболее сказывается на севере полуострова, а на остальной части полуострова заметно только в зимний период.

Связь во всех случаях отрицательная. Это означает, что с увеличением индекса NAO температура воздуха, особенно в зимний период, на полуострове понижается. По-видимому, это связано с тем, что с увеличением индекса NAO атлантические циклоны двигаются по более северным траекториям, в связи с чем в регион полуострова поступает меньше тепла. И наоборот, при ослаблении индекса, происходит смещение движения циклонов к югу, и они захватывают в своём движении к западу и Аравийский полуостров, особенно его северную часть.

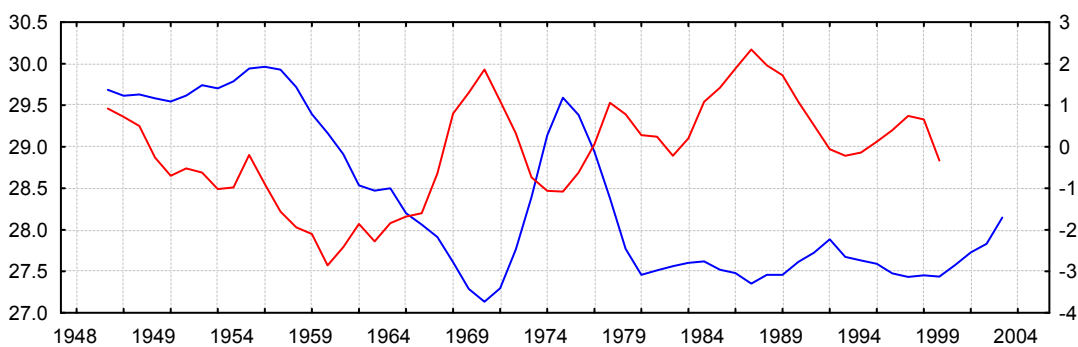
a)



б)



в)



г)

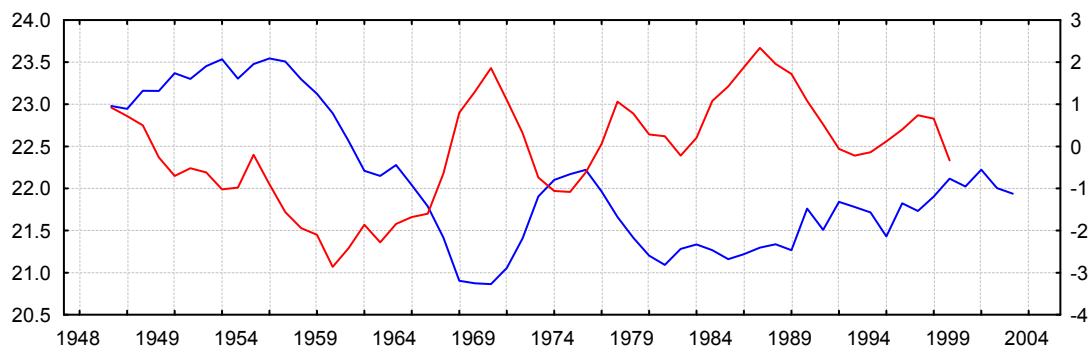
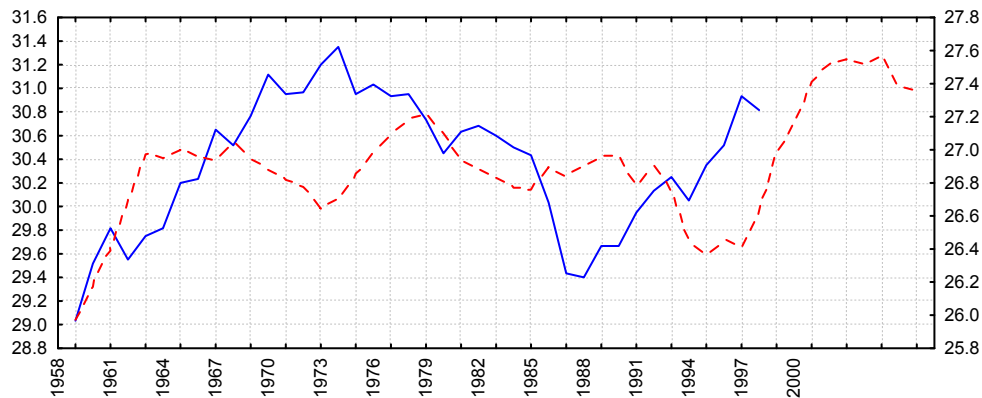


Рис. 2. Сопоставление пятилетних скользящих средних значений NAO (штриховая линия) и температуры воздуха  $T^{\circ}\text{C}$  в точке 7 в среднем за год (а) и за зимний период (б) и в точке 2 в среднем за год (в) и за зимний период (г).

Что касается Южного колебания, то его влияние на температуру воздуха в регионе Аравийского полуострова практически отсутствует. Если и можно, что-то сказать о влиянии SOI, то, по-видимому, влияние это опосредованное и слабо проявляется в некоторых береговых точках только в летний период. В моменты Эль-Ниньо наблюдается слабое понижение температуры воздуха летом.

а)



б)

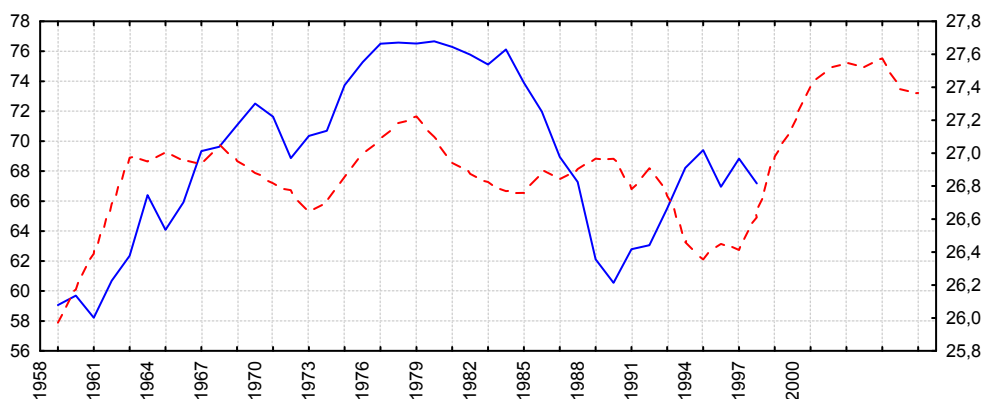


Рис.3. Сопоставление среднегодовых значений температуры воздуха  $T^{\circ}\text{C}$  .(сплошная линия).в т. 3. со среднегодовыми значениями широты (а) и долготы (б) центра Индоокеанского антициклона. (штриховая линия)

Характеристики Индоокеанского циклона оказались намного более тесно связаны с изменениями температуры воздуха на Аравийском полуострове по сравнению с индексом Южного колебания. Наиболее тесная связь температуры воздуха наблюдается не столько с интенсивностью антициклона, сколько с его положением, особенно положением по долготе.

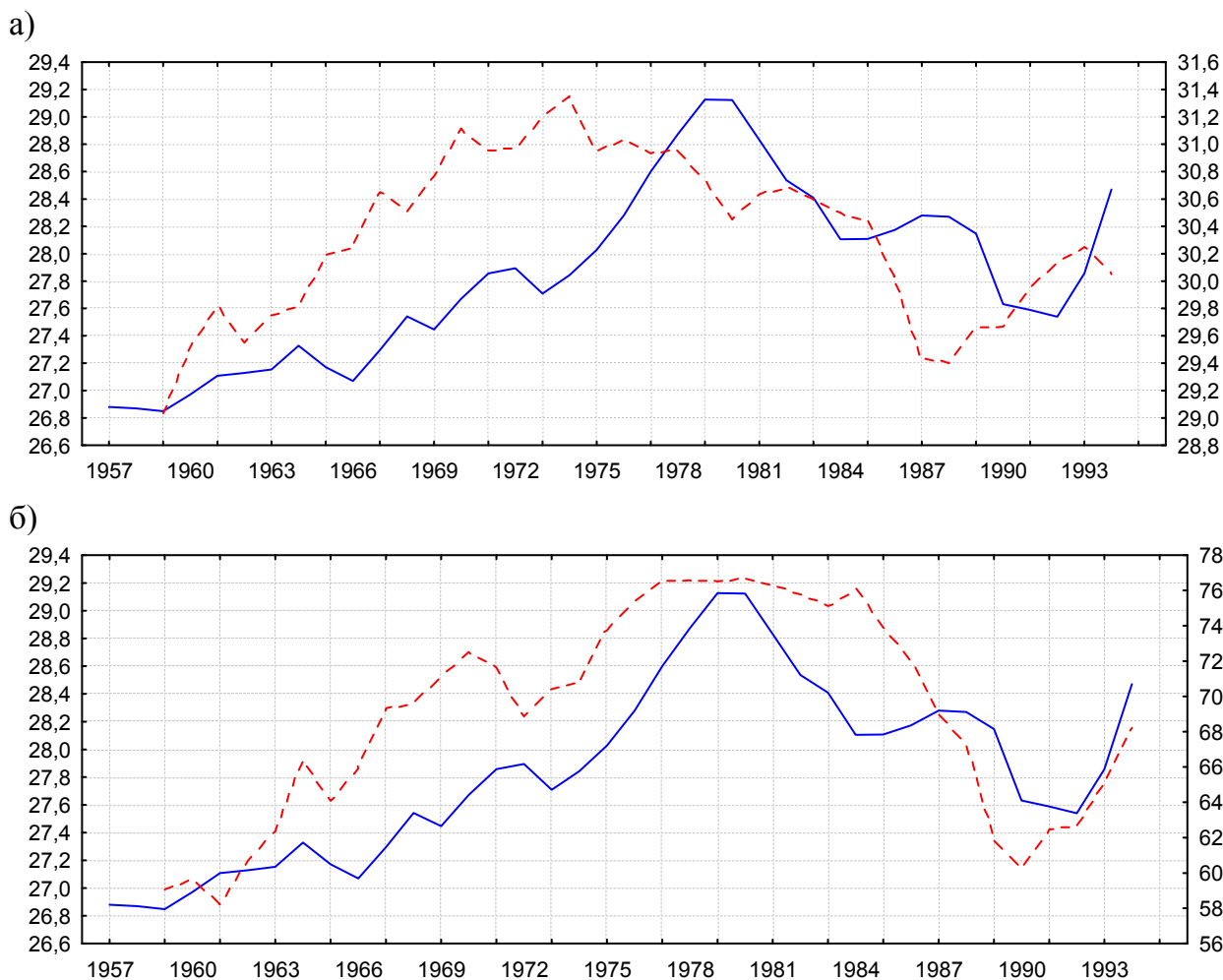


Рис. 4. Сопоставление среднегодовых значений температуры воздуха  $T^{\circ}\text{C}$  (сплошная линия) . в т. 5. со среднегодовыми значениями широты (а) и долготы (б) центра Индоокеанского антициклона (штриховая линия).

Смещение антициклона на юго-восток приводит к ослаблению Сомалийского течения и потока тёплых воздушных масс с Африканского континента из района Сомали на юго-запад Аравийского полуострова (точка 1). На северо-западные районы полуострова, наоборот, усиливается перенос горячих воздушных масс из района Сахары (т.очка 5), потоки которых достигают и юго-восточной части полуострова.

В четвертой главе описан режим осадков на Аравийском полуострове и в районе республике Йемен. Для Аравийского полуострова в целом типичны пустынные ландшафты с осадками менее 100 мм/год. В пустынях центральной части полуострова дождей иногда не бывает практически весь год и если они и выпадают, то, как правило, в виде ливней. На большей части Йемена количество осадков также мало и не превышает 100 мм в год, как и в других частях полуострова. Только на крайнем западе республики количество осадков несколько увеличивается и на побережье западнее хребта Худжа (ст. Тайз) могут превышать 500 мм за год. Однако на южном побережье Йемена, в районе Баб-эль-Мандебского пролива средняя многолетняя величина осадков за год составляет всего 30 мм. Далее к востоку она несколько увеличивается и в Салала (Оман, у западной границы с Йемен) составляет 76 мм за год.

В разделе 4.1 рассмотрен сезонный ход осадков на полуострове. Типичные распределения осадков по месяцам представлено на рис.5

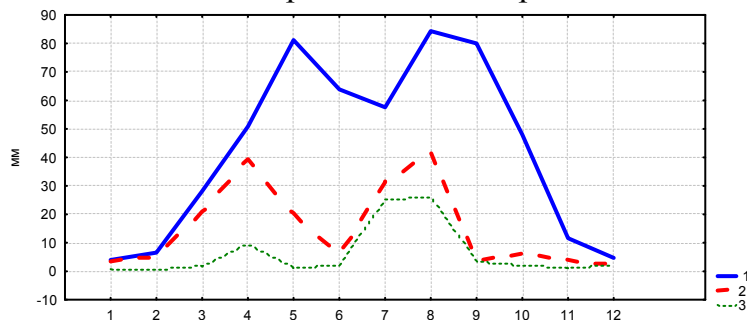


Рис .5.Сезонный ход количества осадков за месяц на станциях Таиз (1), Сана (2) и Салала (3).

Наибольшее количество осадков приходится на конец весны и лета. В основном это апрель - май и июль, август. Минимум выпадения осадков: декабрь, январь, февраль. Снижение осадков, особенно в засушливой части страны наблюдается в мае – июне, когда осадки практически не выпадают.

Следует отметить, что в центральной части Аравийского полуострова максимальные осадки выпадают весной на западе (Медина) и зимой на востоке (Дахран). Что касается восточной части Аравийского полуострова, то в летний период на юге начинает сказываться влияния индоокеанского максимума давления с переносом влаги с Индийского океана. В зимний же период ветра в основном с востока, с Персидского залива и северной части Аравийского моря.

В Центральной и Северной частях Аравийского полуострова в основном господствуют слабые западные ветра в зимний период, которые усиливаются к весне и меняют направление на северо-западное, особенно, в восточной части полуострова. По-видимому, именно с ними и связано поступление влаги в северную половину Аравийского полуострова.

Что касается тропических циклонов, то они не оказывают непосредственного заметного влияния на Аравийский полуостров.

**В разделе 4.2** описываются многолетние изменения выпадения осадков на Аравийском полуострове. Колебание осадков год от года очень велики. Это относится ко всем станциям ( табл.2 )

Таблица 2. Статистические данные колебания осадков за год на станциях Аравийского полуострова

№п/п	Название станции	Число лет	Среднее значение, мм	Максимальное значение, мм	Минимальное значение, мм	Разница давления, мм	Тренд за 40 лет мм	Стандартное отклонение (σ), мм
1	Таиз	41	520	734	268	466	+47,8	121,6
2	Сана	39	186	502	17	485	-93,7	105,6
3	Салала	62	76	256	21	235	+0,9	43,1
4	Медина	43	54	152	0	152	+50,0	39,5
5	Дахран	53	75	240	5	235	+15,6	52,5

За последние 40 лет мы не наблюдали ни однозначного повышения осадков, ни понижения их на территории Аравийского полуострова. На трёх станциях из пяти тренд не значимый (Таиз, Салала и Дахран). На станции Сана наблюдался значимый отрицательный тренд, а на станции Медина – значимый положительный тренд. Наличие таких трендов не совсем понятно. Можно предположить, что положительный тренд на ст. Медина связан с активным освоением этого региона нефтедобывающими предприятиями, увеличением запылённости и, как следствие, увеличением количества ядер конденсации в переносимой северо-западными и северными ветрами влагой.

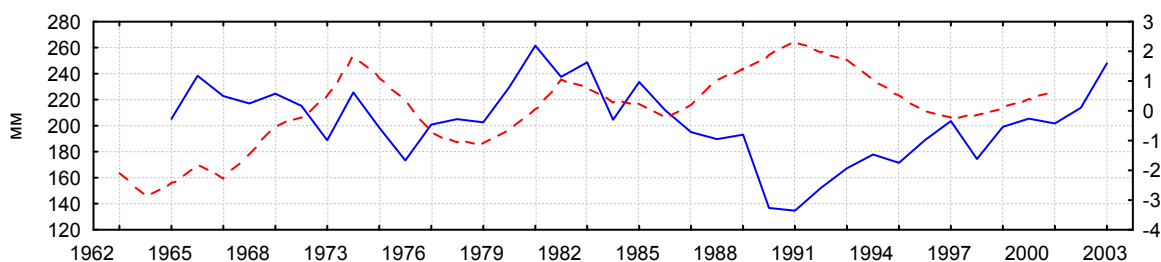
Что касается ст. Сана, которая расположена в горах, на их восточном склоне, то ослабление переносов влаги северо-западными ветрами и смещение основных переносов к северу сказалось на выпадении осадков здесь значительно сильнее, чем на расположенной на побережье к западу от хребта ст. Таиз.

**В разделе 4.3** описывается связь изменчивости выпадения осадки на Аравийском полуострове с индексами атмосферной циркуляции.

Отмечено, что при увеличении индекса NAO количество осадков на юго-востоке Йемена уменьшается ( $r = -0,50$ ). Это связано с тем, что при увеличении индекса пути Атлантических циклонов смещаются к северу и количество осадков выпадающих в более южных районах уменьшается. Вышеуказанный факт был установлен на циклонах чисто Атлантического происхождения. Однако полученные нами результаты свидетельствуют, что эта закономерность свойственна и средиземноморским циклонам.

Количество осадков на станциях, расположенных севернее Саны и Таиза имеют противоположный характер связи с индексом NAO. На станциях Медина и Дахран количество осадков увеличивается с увеличением индекса NAO ( $r = 0,77$ ). Таким образом, мы получили результат, соответствующий осадкам над территорией Европы. Это ещё раз указывает на большую универсальность индекса Северо-Атлантического колебания для исследования многолетних изменений климата.

а)



б)

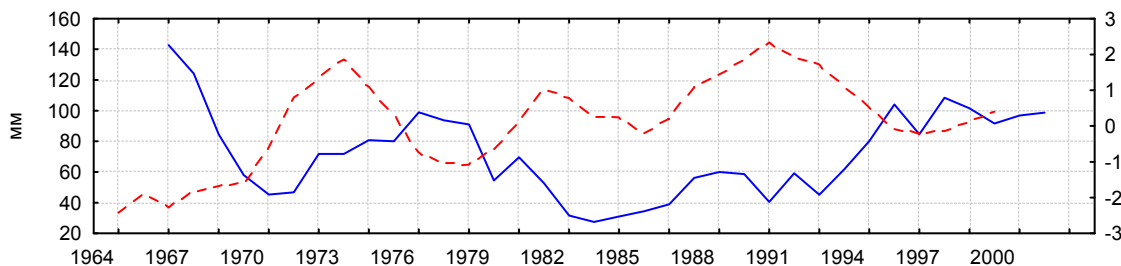
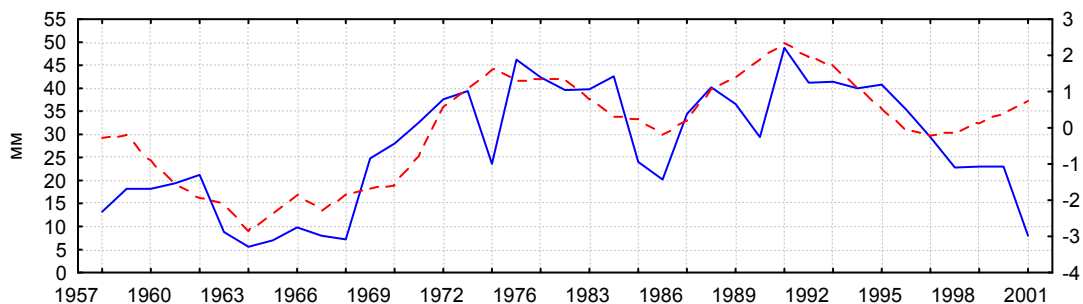


Рис.6. Сопоставление пятилетних скользящих средних значений NAO (штриховая линия) с осадками за лето на станциях Сана (а) со сдвигом на 2 года вперед и Таиз (б) (сплошная линия).

а)



б)

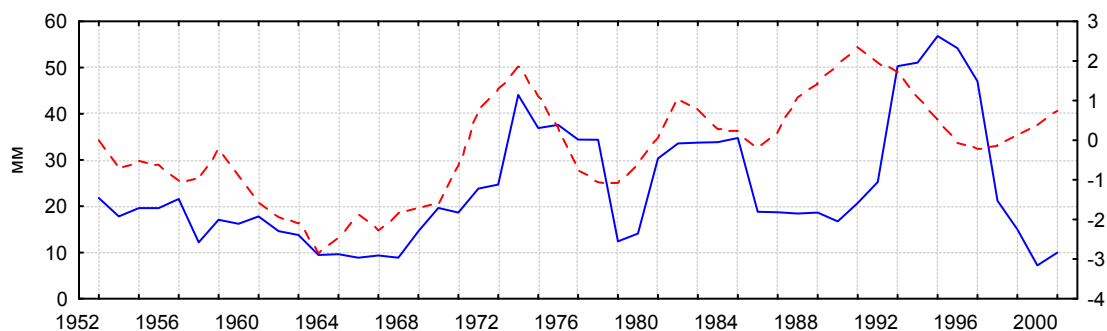
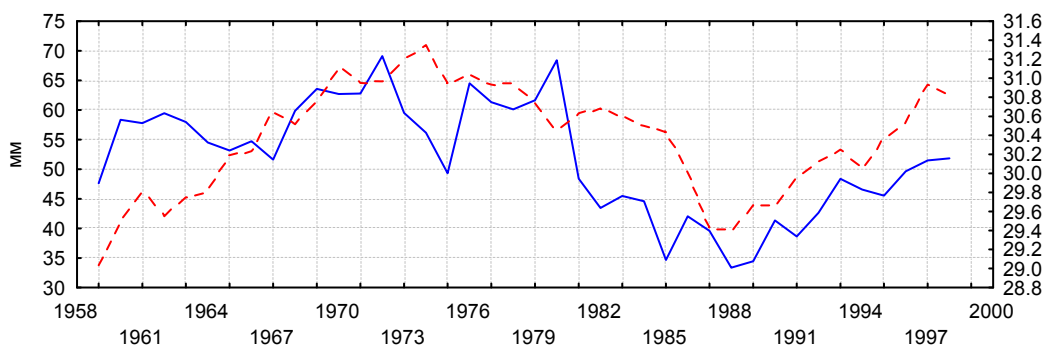


Рис.7. Сопоставление пятилетних скользящих средних значений NAO (штриховая линия) с осадками за весну на станциях Медина (а) и Дахран (б) (сплошная линия).

а)



б)

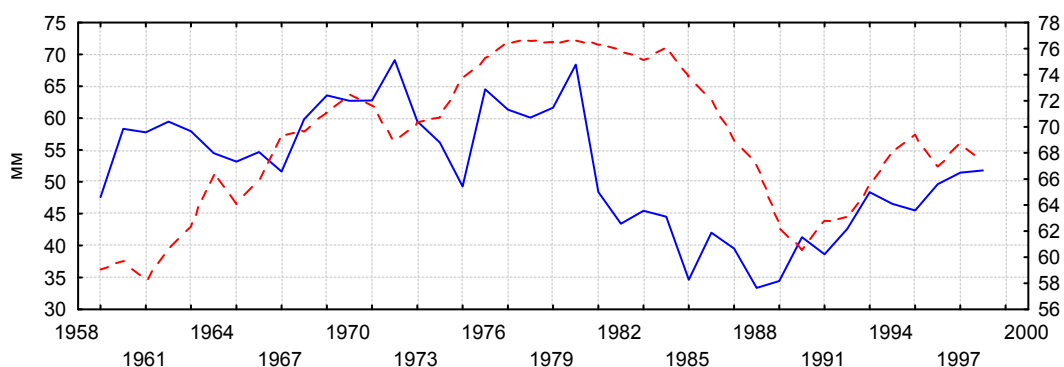


Рис. 8. Сопоставление пятилетних скользящих средних значений осадков за летний период на станции Салала (штриховая линия) со среднегодовыми значениями широты (а) и долготы (б) центра Индоокеанского антициклона.



Количество выпадающих осадков на станции Салала не показало значимой связи с НАО. Поэтому мы сделали предположение, что на величину осадков на этой станции может влиять Индоокеанский антициклон. При его смещении на юго-запад происходит и некоторое смещение летнего юго-западного муссона к северо-западу, и в этом случае в летний период происходит увеличение количества осадков на южном побережье Аравийского полуострова. Это предположение подтверждается положительной связью соответственно с широтой и долготой антициклона (рис. 8).

**Пятая глава** посвящена закономерностям изменениям температуры воды в южной части Красного моря. В разделе 5.1 приводится общая физико-географическая характеристика Красного моря.

Среднее значение температуры поверхностного слоя воды в Красном море остается практически постоянным и составляет в среднем 22 градуса. Системы низкого атмосферного давления (циклоны), развивающиеся на границе Сахары и Средиземного моря горячие сухие восточные ветры из Азии приносят сюда горячий воздух и песчаные бури. Температура воздуха повышается, повышается и температура воды в море. В то же время циклоны, образующиеся на границе Красного моря и Индийского океана, несут более прохладный воздух с юга, образуя облачность. На севере, где располагаются заливы, температура воды выше, чем на юге, где сказывается близость океана. Охлаждающий эффект близости океана порождает интересные температурные явления: максимальные летние температуры на юге ниже минимальных температур на севере. Зимой наблюдается обратная картина. В любом случае, самый холодный месяц года - январь, а самые теплые месяцы - июль и август.

Метеорологические условия моря формируются под воздействием стационарных и сезонных барических центров действия атмосферы. Это отрог повышенного давления над Северной Африкой Азорского максимума давления и Исландского минимума над северной частью Средиземного моря, а также центров повышенного давления (зимой) над центральной Азией и пониженного давления над юго-западом Азии (Азиатский минимум), в летний период.

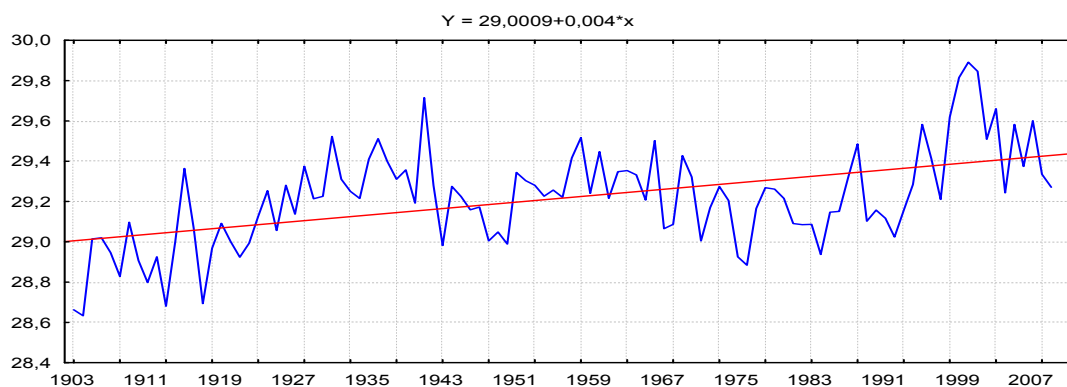
**В разделе 5.2** приводится сравнение сезонных колебаний температуры воды в Красном море и температуры воздуха неподалеку от точек, в которых рассматривается температура воды.

Различия сводятся к следующему. Максимумы температуры воды наступают несколько позже, чем в воздухе (в августе – сентябре), а в центральной части моря даже в октябре. Летом температуры близки между собой, но, тем не менее, температура воздуха примерно на градус или чуть меньше, чем температура воды. В зимний период это различие достигает уже 2-3°C. Это означает, что Красное море в течение всего года отдаёт тепло атмосфере.

**В разделе 5.3** приведена многолетняя изменчивость температуры воды.

Среднегодовая температура воды в т. 1 за последнее столетие изменялась от +28.6°C до +29.9°C.

а)



б)

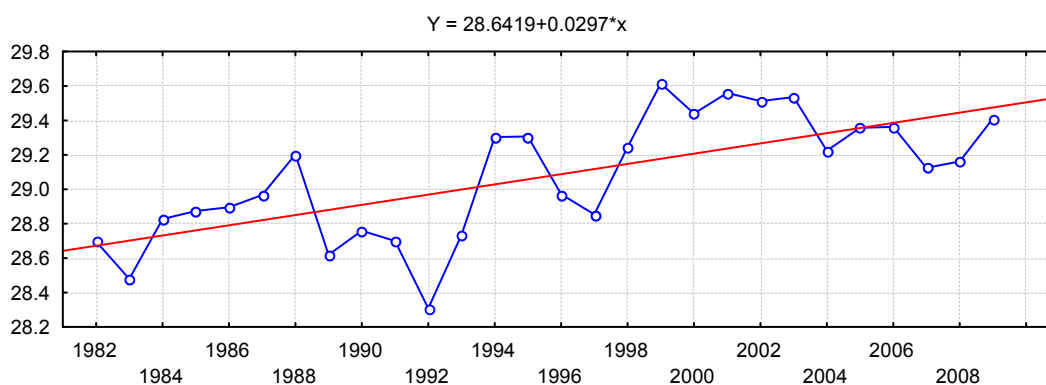


Рис.9. Изменения среднегодовых значений температуры воды в т.1(а) и т.2(б) Красного моря и линейные тренды этих изменений.

В изменениях температуры воды наблюдается колебание с периодом около 30-лет на фоне небольшого повышения температуры воды на  $0.4^{\circ}\text{C}$  за столетие. Особенно заметное повышение температуры воды наблюдалось во второй половине 80-х годов и 90-е годы. Если рассматривать изменения температуры воды за отдельные сезоны, то так же можно отметить наличие во все сезоны циклического колебания с периодом около 30 лет и тренда. Положительный тренд более выражен в осенне-зимний период ( $1.5\text{-}0.6^{\circ}\text{C}$  за столетие), и заметно слабее в весенне-летний период ( $0.2^{\circ}\text{C}$ ).

В структуре изменчивости в точке 2, так же, как и в 1-ой точке, заметно на глаз циклическое колебание с периодом около 7 лет и 4 года. Более длительных циклических колебаний из-за короткого периода наблюдений, естественно, выявить невозможно.

**В разделе 5.4** приводится связь изменений температуры воды Красного моря с индексами атмосферной циркуляции.

Колебания температуры воды в Красном море хорошо совпадают с теми, которые были получены при исследовании многолетней изменчивости индекса Северо-Атлантического колебания, который отражает интенсивность и положение центров действия атмосферы над северной Атлантикой. Эти центры и определяют, как было сказано ранее, преобладание северо-западного переноса воздушных масс над Красным морем в течение года, и особенно в летний период.

Поэтому естественно было сопоставить изменения индекса NAO с изменениями температуры воды.

В таблице 3 приведены коэффициенты корреляции между индексом NAO другими индексами циркуляции атмосферы для среднегодовых значений температуры воды и для отдельных сезонов в точке 1.

Таблица 3. Коэффициенты линейной корреляции между многолетними среднегодовыми и сезонными значениями температуры воды в т.1 и индексами циркуляции NAO, SOI и характеристиками Индоокеанского антициклона

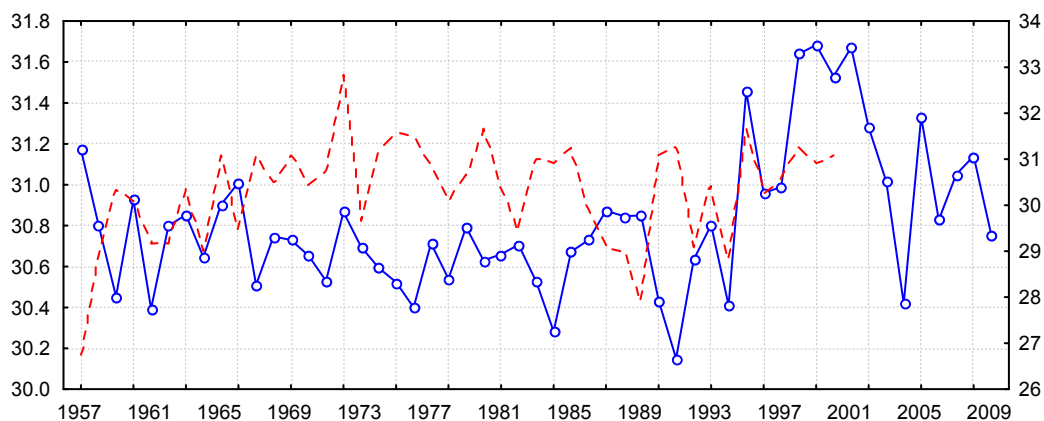
	NAO	SOI	Инд АЦ	Инд АЦ_шир	Инд АЦ_долг
Весна	-0.44	-0.02	-0.11	-0.57	-0.59
Лето	-0.41	-0.15	0.14	-0.23	-0.56
Осень	-0.23	0.02	0.31	0.02	-0.17
Зима	-0.23	0.01	-0.34	-0.67	-0.71
Среднегод.	-0.37	-0.04	0.10	-0.31	-0.51

Из этого следует, что при усилении индекса NAO, когда происходит акцентуация атлантических центров действия атмосферы и их смещение на север, температура воды в Красном море понижается, и наоборот, при деакцентуации давления в центрах действия атмосферы и их смещение на юг (весной и летом), их влияние на Средиземноморский регион и Красное море усиливается, и тёплые воздушные массы, приходящие из района Сахары, повышают температуру поверхности вод Красного моря, что особенно заметно в его восточной половине.



Рис.10. Сопоставление 5-летних скользящих средних значений NAO (штриховая линия) и температуры воды в точке 1 (а) (сплошные линии).

а)



б)

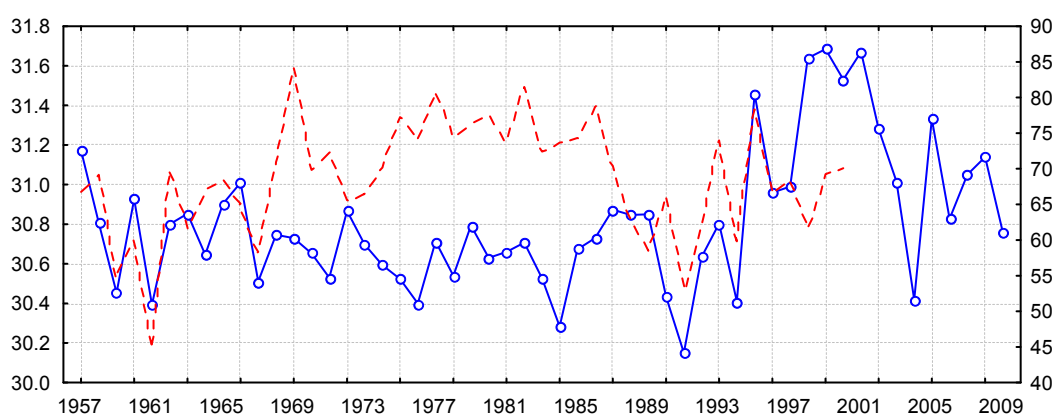


Рис .11. Средние значения температуры воды за осенний период и среднегодовые значения широты (а) и долготы (б) центра Индоокеанского антициклона

Из таблицы 3 и рисунка 11 следует, что заметное влияние на температуру воды оказывает интенсивность и положение Индоокеанского антициклона. Рассчитанные коэффициенты корреляции между изменениями температуры воды и значениями SOI, как и в случае с температурой воздуха, оказались очень малы и незначимы.

**В заключении** приводятся основные результаты, полученные при выполнении диссертационной работы:

1. Изменение температуры воздуха и осадков на Аравийском полуострове в течение прошлого столетия и начале текущего не было однородным по территории - в каждом конкретном районе полуострова эти изменения имели свои особенности;
2. Гипотеза о глобальном потеплении на основе данных об изменении температуры воздуха на Аравийском полуострове не подтверждается;
3. Многолетние колебания температуры воздуха определяются сложным характером атмосферной циркуляции в этом регионе, на который оказывает влияние циркуляционные процессы над Северной Атлантикой и северной частью Индийского океана;
4. Многолетний характер изменчивости выпадения осадков в центральной и северной частях полуострова и на его юго-западе, прежде всего определяется изменениями в циркуляции атмосферы в Атлантическом регионе северного полушария, определяемыми индексом Северо-Атлантического колебания. При этом характер

связи с Северо-Атлантическим колебанием на севере полуострова и на юго-западе является противоположным;

5. Количество осадков на южном побережье Йемена во многом зависит от летнего юго-западного муссона, который в зависимости от положения Индоокеанского антициклона может регулировать количество осадков на большей или меньшей площади;

6. Температура воды в южной части Красного моря за столетие показала практическое отсутствие тренда, а структура колебаний температуры воды, как и воздуха, имеет наиболее заметные периоды около 20 и 8 лет и, в отличие от воздуха, колебание с периодом около 30 лет;

7. В многолетние изменения температуры воды южной части Красного моря основной вклад вносят изменения в положении Индоокеанского антициклона, а также, хотя и более слабый, но, тем не менее, достаточно заметный – Северо-Атлантическое колебание.

### **Список публикаций по теме работы**

1. Аль-Бухайри Осама Ахмед, Н.П. Смирнов. Сезонные и многолетние изменения температуры воздуха в республике Йемен и южной части Аравийского полуострова в XX и начале XXI века. // Ученые записки РГГМУ № 15, СПб, 2010, с. 50-63.

2. Аль-Бухайри Осама Ахмед, Н.П. Смирнов. Многолетние изменения выпадения осадков в республике Йемен за последние 50 лет. // Ученые записки РГГМУ №14, СПб, 2010, с. 115-125.

3. Аль-Бухайри Осама Ахмед. Изменение температуры воды в южной части Красного моря. // Ученые записки РГГМУ №18, СПб, 2010, с. 41-47.

Соискатель

Аль-Бухайри Осама Ахмед

*Отпечатано с готового оригинал-макета*

Лицензия ЛР № .....

---

Подписано в печать с оригинал-макета.....  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.  
Уч.-изд. л. 1,0. Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ №

---

РГГМУ, 195196, СПб, Малоохтинский пр. 98