

В.В. Дроздов, Н.П. Смирнов

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЭКОНОМИЧЕСКИ ВАЖНЫХ РАЙОНАХ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА И ПРОЦЕССЫ ЕЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ

V.V. Drozdov, N.P. Smirnov

LONG-TERM DYNAMICS OF AIR TEMPERATURE IN ECONOMICALLY IMPORTANT AREAS OF THE BLACK SEA REGION AND ITS PROCESSES DEFINING

Произведено рассмотрение особенностей многолетней динамики температуры воздуха на 21 станции в основных экономически важных районах Черноморского региона. Выполнен спектральный и кластерный анализы многолетних данных. Установлена степень и характер влияния на температурный режим Черноморского региона основных климатообразующих процессов над Северной Атлантикой, Арктикой и Восточной Сибирью.

Ключевые слова: температура воздуха, черноморский регион, центры действия атмосферы, атмосферная циркуляция, климат.

Consideration of features of long-term dynamics of air temperature at 21 stations in the main economically important areas of the Black Sea region is made. It is executed spectral and cluster analyses of long-term data. Degree and nature of influence on a temperature mode of the Black Sea region of the main klimatoobrazuyushchy processes over Northern Atlantic, the Arctic and Eastern Siberia is established.

Keywords: air temperature, Black Sea region, centers of action of the atmosphere, atmospheric circulation, climate.

Введение

Черноморский регион, включая побережье и бассейн моря, расположен в пределах двух климатических зон: в умеренной в субтропической, что определяет значительную сложность процессов климатообразования, как в крупномасштабном, так и в региональном значении. Климат умеренной зоны черноморского региона характеризуется относительно мягкой влажной зимой и жарким сухим летом. Климат субтропической зоны отличается теплой влажной зимой и жарким сухим летом, но на восточном побережье Черного моря в пределах гористого Сочинского побережья и Абхазии, а также в восточной части южного берега моря, величины осадков более значительны в течение

всего года, что приводит к формированию районов влажных субтропиков [Зайцев, 2006; Sorokin, 2002].

Главные особенности многолетней динамики температурного режима и климата в черноморском регионе определяются влиянием Северо-Атлантических центров действия атмосферы – Азорского максимума и Исландского минимума атмосферного давления, средиземноморского циклонического центра, активность которого возрастает в зимний период, а также сибирским антициклоном, отроги которого зимой способны достигать восточных областей черноморского региона. Кроме зональных крупномасштабных климатообразующих процессов, климат Черноморского региона, в особенности побережья, находится в существенной зависимости от азональных факторов – выраженных неоднородностей рельефа. Сложный многофакторный процесс климатообразования, наличие экономически важных для России и сопредельных государств промышленных, сельскохозяйственных, портовых и курортно-туристических центров, значительные возможности развития рыболовства, определяют повышенную актуальность и практическую значимость анализа температурного режима Черноморского региона и основных факторов его определяющих [Дроздов 2010; Дроздов 2011, Зайцев 2006].

Целью работы является установление региональных особенностей многолетней динамики температуры воздуха на побережье России, Украины, Абхазии, Грузии, Турции, Болгарии, Румынии и определение степени и характера влияния на температурный режим различных климатообразующих процессов над Северной Атлантикой и Евразией.

Региональные особенности многолетней динамики температуры воздуха

На рисунке 1 представлено расположение станций гидрометеорологических наблюдений на побережье Черного моря, данные которых используются в настоящем исследовании. Многолетние данные об изменчивости температурного режима на указанных береговых станциях, а также на станциях в городах Краснодар, Симферополь, Кишинев, Анкара, Корум (Турция) получены, прежде всего, из климатической базы данных открытого доступа NASA [7]. Для станций Туапсе, Новороссийск и Сочи использовались также данные представленные в отечественном проекте ЕСИМО [6]. Всего выбрана 21 станция метеорологических наблюдений, исходя из их характерного географического положения, способным отражать климатические условия основных районов побережья Черного моря, наличием достаточно продолжительных, статистически значимых рядов данных и значимостью экономического потенциала конкретной территории или близлежащей морской акватории.

На рисунках 2, 3, 4 и 5 представлена многолетняя динамика средних за год значений температуры воздуха на станциях в регионе Черного моря, а также соответствующие полиномиальные тренды, позволяющие наглядно оценить основные тенденции изменчивости температуры.



Рис. 1. Расположение станций гидрометеорологических наблюдений на побережье Черного моря, данные по которым используются в настоящей работе.

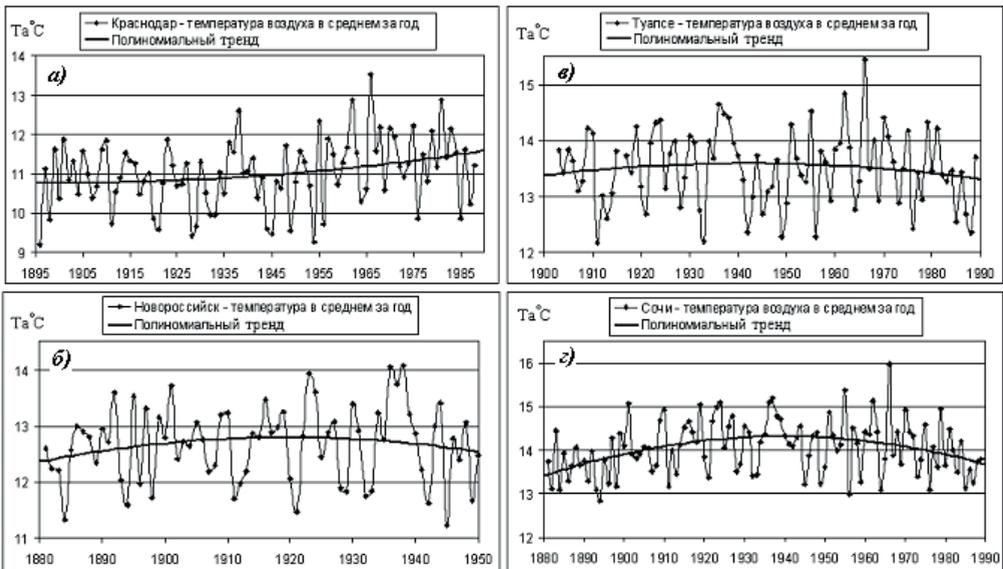


Рис. 2. Многолетняя динамика средней за год температуры воздуха на станциях северо-восточной части бассейна Черного моря:
 а – Краснодар; б – Новороссийск; в – Туапсе; г – Сочи.

Как видно из представленных на рисунке 2, данных, многолетняя динамика средней за год температуры воздуха на станциях северо-восточной части региона Черного моря, в Сочи, Туапсе и Новороссийске имеет значительное сходство. На данных станциях максимальные значения температуры воздуха в среднем за год отмечались в середине 1930-х, в конце 1970-х гг. Минимальные значения за анализируемый ряд, проявлялись в середине 1940-х гг. Полиномиальные тренды демонстрируют тенденции к плавному снижению температур в Туапсе и Сочи с середины XX в. к началу 1990-х гг. Температура в Краснодаре, как видно из рисунка 2б), в отличие от береговых станций, характеризуется возрастающим полиномиальным трендом, в особенности проявляющимся с середины 1950-х гг. Тем не менее, в Краснодаре, так же как и на береговых станциях Сочи и Туапсе, на протяжении XX века максимальные значения средней годовой температуры были зарегистрированы в 1966 г. (соответственно + 13,5, 15,9 и 15,4°С). Кроме того, на всех четырех рассматриваемых станциях, четко выделяется период 1934 по 1939 г., когда значения температуры в среднем за год существенно превышали норму. Максимальная межгодовая и многолетняя амплитуда колебаний температуры свойственна для Краснодара, минимальная для Сочи. Очевидно, что некоторые отличия в динамике температуры воздуха в столице Краснодарского края могут быть связаны с внутриконтинентальным положением данного города, удаленным от моря почти на 200 км.

На рисунке 3 показана многолетняя динамика средней за год температуры воздуха на станциях Крыма.

Заметно, что в Ялте и Симферополе наблюдаются положительные полиномиальные тренды изменчивости средней за год температуры воздуха. Применительно к столице Крыма, можно сказать что с конца 1980-х гг. по 2011 г. проявляется выраженная тенденция к потеплению. В Феодосии, расположенной на юго-восточном побережье Крыма, с конца 1940-х гг. имеет место общая тенденция. Как и в случае со станциями северо-восточного региона, проявляется значительная синхронность в межгодовой изменчивости. Например, на всех трех анализируемых станциях Крыма в 1966 г. также наблюдались экстремально высокие значения средних годовых температур, которые составили для Симферополя 12,5, для Ялты 14,6 и для Феодосии 13,9 °С. На станциях в Феодосии и Ялте, так же как и на береговых станциях кавказского побережья, регистрировался период выраженного потепления с 1934 по 1939 г. Относительный минимум температуры воздуха наблюдался на рассматриваемых станциях Крыма с середины 1980 по начало 1990-х гг. В особенности низкие значения средней годовой температуры регистрировались синхронно по всем трем станциям в 1985, 1987 1993 гг.

На рисунке 4 представлена многолетняя динамика средней за год температуры воздуха в западных районах побережья Черного моря и в Кишиневе. Как видно из рисунка 4, во всех рассматриваемых районах западной части региона Черного моря, за исключением Бургаса, ряды данных по которому ограничены концом XX в., с начала 1990-х гг. по 2008 г. наблюдается заметное повышение воздуха, в особенности характерное для районов Констанцы, Измаила и Одессы. В начале 1940-х гг. и в середине 1950-х гг., напротив, на большинстве станций наблюдалось похолодание.

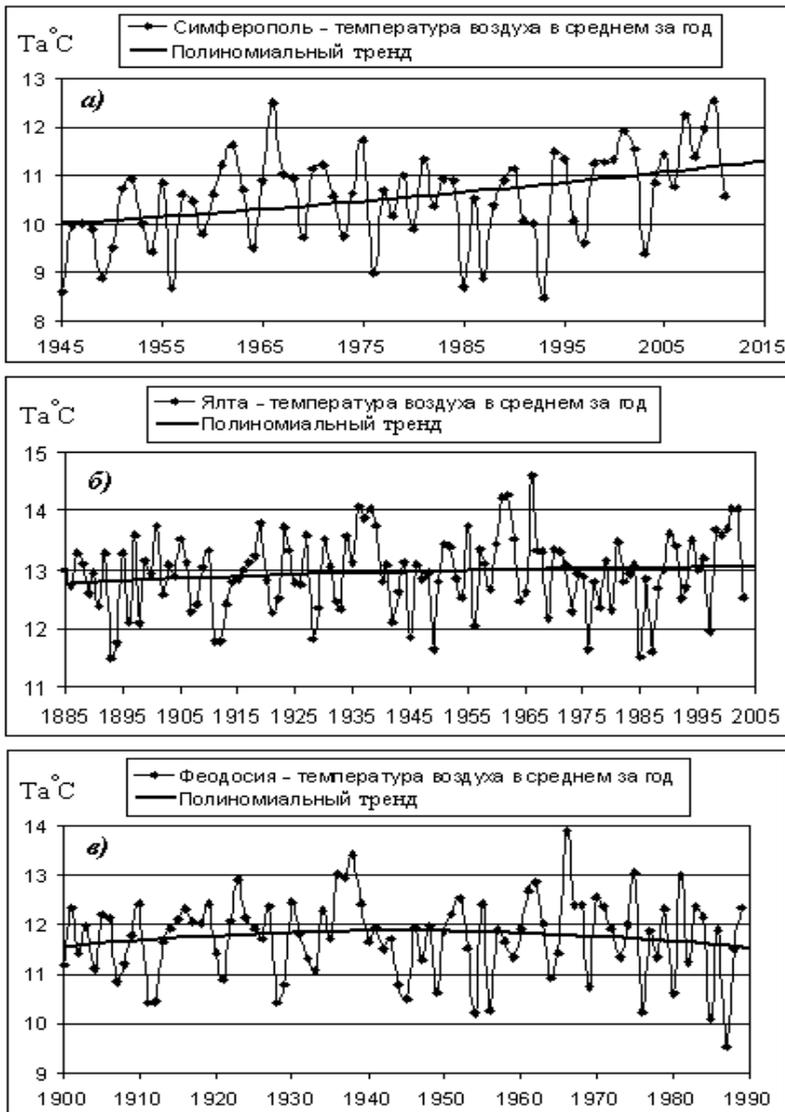


Рис. 3. Многолетняя динамика средней за год температуры воздуха на станциях Крыма:
а – Симферополь; б – Ялта; в – Феодосия.

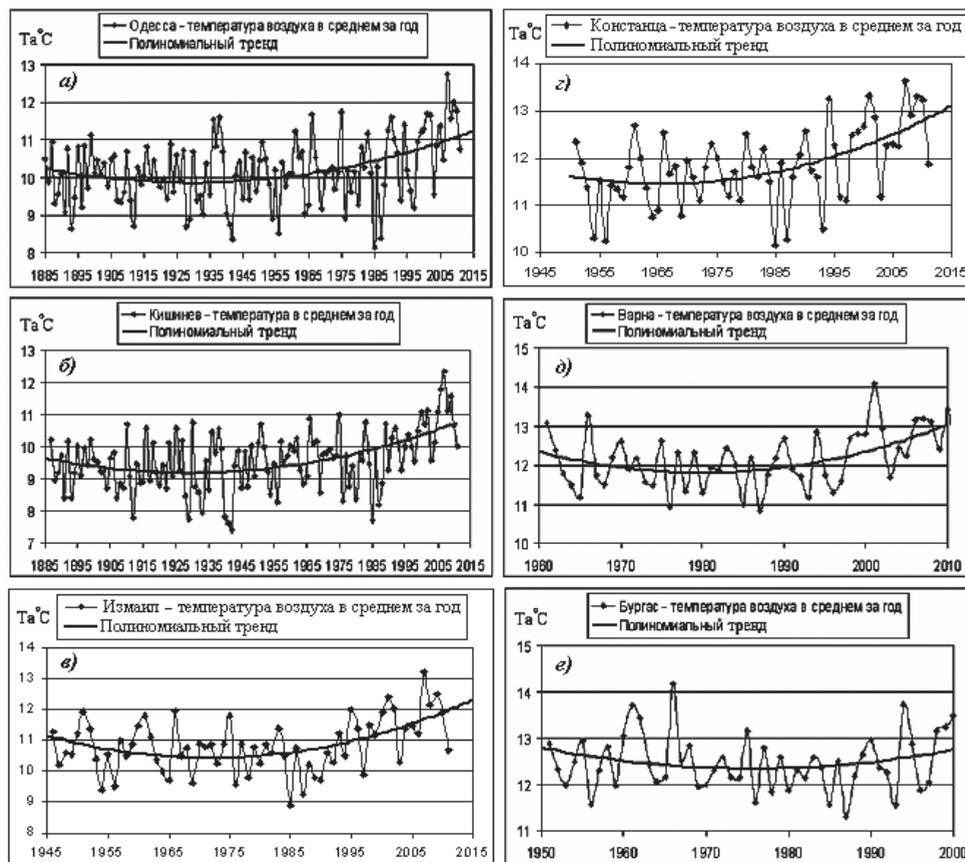


Рис. 4. Многолетняя динамика средней за год температуры воздуха в западной части региона Черного моря:
 а – Одесса; б – Кишинев; в – Измаил; г – Констанца; д – Варна; е – Бургас.

На рисунке 5 представлена многолетняя динамика средней за год температуры воздуха в южной части региона Черного моря. Станция наблюдений в г. Корум, располагается во внутриконтинентальной части Турции, примерно в 100 км к востоку от Анкары и в 200 км от южного побережья Черного моря. На всех анализируемых станциях, кроме Трабзона, наблюдается достаточно выраженный положительный тренд температуры воздуха начиная с 1960-х гг. по первое десятилетие XX в. Анализируя динамику температуры воздуха начиная с первой четверти XX века по настоящее время, приходим к выводу о том, что в Анкаре, Стамбуле и Самсуне наблюдался относительный минимум значений температуры в период с середины 1950-х по начало 1960-х гг. На станциях Зонгулдак и Корум, данные по которым доступны начиная с середины 1950-х гг. достаточно четко выделяются периоды пониженных значений температур воздуха с конца 1970-х по начало 1990-х гг. Максимальные же за имеющийся

ряд данных значения средних за год температур воздуха здесь были зарегистрированы в 1966 и 2010 гг. Температура воздуха на станции Трабзон, располагающейся на юго-восточной части Черноморского побережья, за имеющийся ряд наблюдений демонстрировала наиболее существенный период роста с начала 1950-х по начало 1970 гг. Максимальные температуры были зарегистрированы в 1955 г. (16,04 °С) и 1966 г. (16,6 °С), в начале 1930-х и в начале 1990-х гг. средняя годовая температура воздуха находилась в области пониженных величин, однако самые минимальные ее значения были отмечены в 1949 г. (13,4 °С) и в 1976 г. (13,24 °С). Стоит отметить, что визуальное сравнение графиков динамики температуры воздуха на станциях Сочи (рисунок 2з) и Трабзон (рисунок 5д) демонстрирует наличие значительного количества общих черт и тенденций. Данные станции располагаются практически на одном меридиане (Сочи – 39°8' в.д., Трабзон – 39°7' в.д.) и располагаются в восточной части Черного моря на противоположных его берегах.

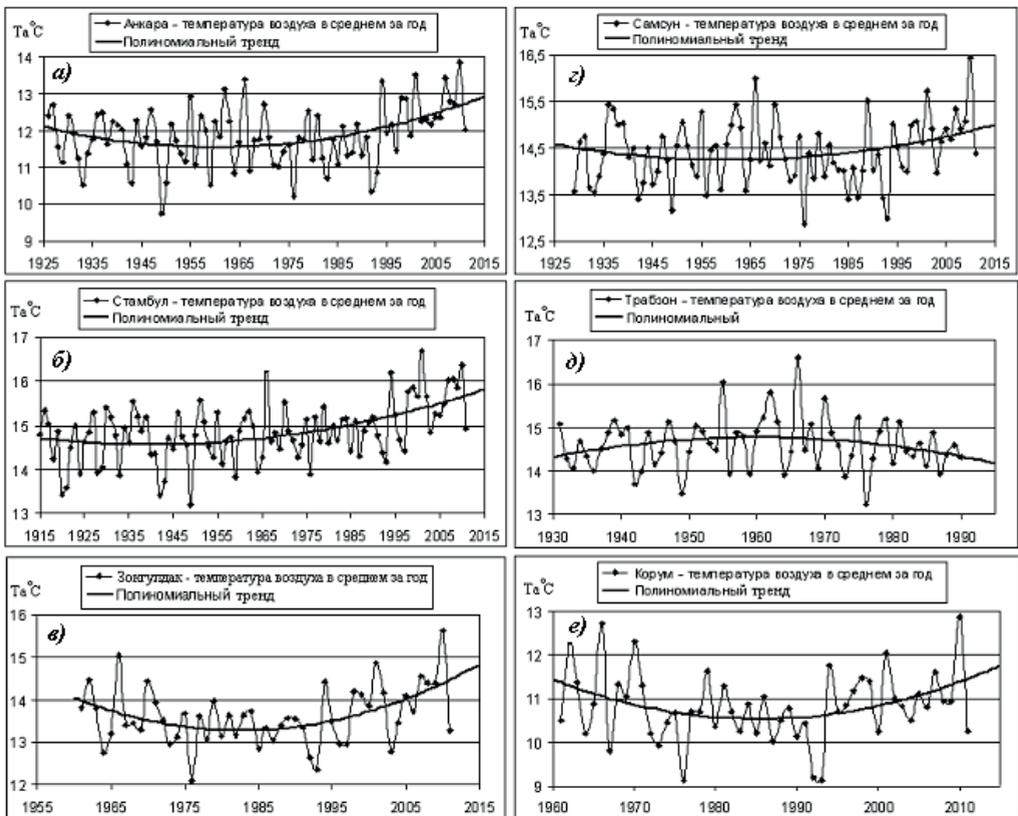


Рис. 5. Многолетняя динамика средней за год температуры воздуха в южной части региона Черного моря (Турция): а – Анкара; б – Стамбул; в – Зонгулдак; г – Самсун; д – Трабзон; е – Коруи.

Для уточнения региональных особенностей динамики средних годовых значений температуры воздуха по всему региону Черного моря, составлена корреляционная матрица на основе данных по 10 станциям, представленная в таблице 1. На рисунке 6 графически показаны результаты кластерного анализа данных по тем же станциям.

Все представленные в таблице 1 коэффициенты корреляции соответствуют 99 % уровню обеспеченности. Анализируя представленные в данной таблице результаты корреляционного анализа, приходим к выводу о том, что динамика температуры воздуха на большинстве станций располагающихся на северном побережье Черного моря демонстрирует весьма значительную тесноту связи. В особенности высокие значения коэффициентов корреляции получены между средними годовыми значениями температур воздуха в Туапсе и Сочи ($r = 0,92$), а также в Ялте и Феодосии ($r = 0,88$). Однако теснота связи динамики температуры воздуха между станциями расположенными в северо-западном и северо-восточном районе побережья оказывается значительно меньшей. Соответствующий коэффициент корреляции между изменчивостью средней годовой температуры воздуха в Одессе и Сочи $r = 0,54$.

Таблица 1

Корреляционная матрица между значениями температуры воздуха в среднем за год на станциях региона Черного моря

| Пункты наблюдений | Одесса | Сочи | Туапсе | Ялта | Феодосия | Констанца | Бургас | Стамбул | Самсун | Трабзон |
|-------------------|--------|------|--------|------|----------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| Трабзон | 0,58 | 0,92 | 0,91 | 0,82 | 0,77 | 0,43 | 0,72 | 0,82 | 0,88 | 1 |
| Самсун | 0,68 | 0,87 | 0,89 | 0,84 | 0,81 | 0,51 | 0,74 | 0,83 | 1 | |
| Стамбул | 0,72 | 0,78 | 0,81 | 0,76 | 0,79 | 0,62 | 0,73 | 1 | | |
| Бургас | 0,76 | 0,69 | 0,76 | 0,85 | 0,78 | 0,58 | 1 | | | |
| Констанца | 0,78 | 0,37 | 0,54 | 0,63 | 0,71 | 1 | | | | |
| Феодосия | 0,89 | 0,73 | 0,83 | 0,88 | 1 | | | | | |
| Ялта | 0,79 | 0,79 | 0,86 | 1 | | | | | | |
| Туапсе | 0,71 | 0,92 | 1 | | | | | | | |
| Сочи | 0,54 | 1 | | | | | | | | |
| Одесса | 1 | | | | | | | | | |

Для станций на западном побережье Черного моря – Констанце и Бургасе, располагающихся на территории Румынии и Болгарии, также установлена достаточно высокая корреляционная связь между температурой воздуха в среднем за год $r = 0,58$. Однако теснота связи между динамикой температуры воздуха в Констанце и Одессе оказывается значительно выше $r = 0,78$. Аналогичная ситуация характерна и для оценки тесноты связи между данными для Бургаса и Стамбула, где $r = 0,73$. По-видимому, на западном побережье примерно по широтам 43-45° проходит определенная граница между двумя климатическими зонами – умеренной в районе Одессы, Измаила,

Констанцы и субтропической включающей Варну, Бургас и Стамбул, что и отражается в характере многолетней изменчивости температуры воздуха.

Динамика средней годовой температуры воздуха на южном побережье Черного моря, в городах Стамбул, Зонгулдак, Самсун и Трабзон, оказывается весьма тесно связанной, все полученные коэффициенты корреляции $r > 0.82$. Причем связь между температурой в Трабзоне и Сочи оказывается очень тесной, соответствующий $r = 0,92$, что подтверждает высокую общность термического режима и процессов климатообразования данных районов.

Наименьшая, но статистически значимая теснота связи между значениями средней годовой температуры воздуха проявляется для станции Одесса и турецким побережьем Черного моря. По своему расположению Одесса является самым северным городом черноморского побережья, в силу чего средняя годовая температура воздуха здесь оказывается существенно ниже, чем на всех других рассматриваемых береговых станциях региона и контраст с субтропическим климатом Сочи и береговой зоны Турции проявляется наиболее ярко. Район румынского побережья Черного моря, где располагается Констанца, также оказывается по характеру своей динамики температуры воздуха относительно слабо связан с южными, и в особенности с юго-восточными районами побережья. Так, теснота связи между динамикой средних годовых значений температур воздуха в Констанце и Трабзоне, Самсуне оценивается соответственно $r = 0,43$ и $r = 0,51$. Самая же низкая теснота связи установлена при сравнении данных для Констанцы и Сочи, где $r = 0,37$, что убедительно свидетельствует о различных процессах климатообразования над этими регионами.

Результаты кластерного анализа данных, представленные на рисунке 6 позволяют прийти к выводу о наличии трех основных кластеров в серии анализируемых рядов. Первый, наиболее отчетливо выраженный кластер соответствует многолетней изменчивости средней годовой температуре воздуха в Одессе. Выше указывалось, что данный район является во многом уникальным на всем побережье, благодаря своему географическому самому северному положению, причем на берегу крупного и мелководного вдающегося в сушу залива. Второй кластер соответствует группе Констанца и Феодосия, а третий, наименее выраженный кластер, включает станции турецкого черноморского побережья и Сочи.

Таким образом, результаты визуального анализа графиков, корреляционного и кластерного анализов в основном согласуются между собой. Представляется также целесообразным для более углубленного анализа климатических изменений и их региональных особенностей рассмотреть многолетнюю динамику средней температуры воздуха за зимний период в характерных районах Черноморского региона.

На рисунке 7 представлена динамика средних за зиму температур воздуха для станций различных районов Черноморского региона – Сочи (северо-восток), Ялта (север), Одесса (северо-запад), Констанца (запад), Стамбул (юго-запад), Трабзон (юго-восток). Следует учитывать, что именно зимние температуры воздуха, и очевидно, во многом взаимосвязанные с ними температуры воды, оказывают значительное влияние на жизнедеятельность гидробионтов в качестве экологического фактора, в том числе на промысловых рыб, определяя успех их зимовки, и в особенности молоди [Дроздов, 2011].

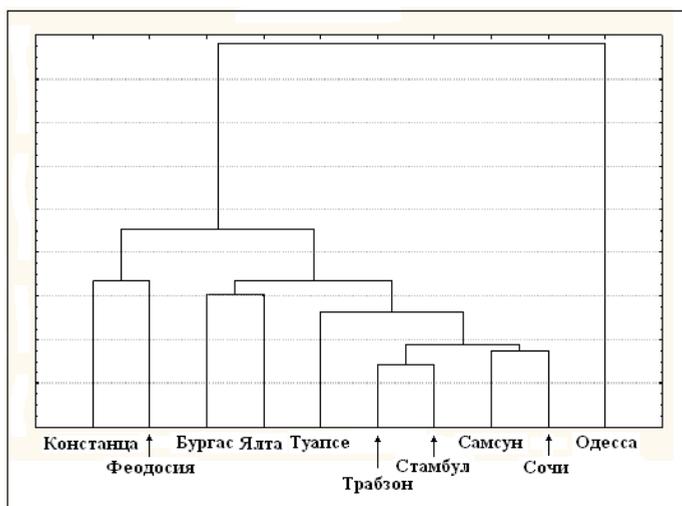


Рис. 6. Результаты кластерного анализа многолетних данных о средней годовой температуре воздуха на станциях Черноморского побережья.

Графики представленные на рисунке 7 свидетельствуют о наличии существенных региональных различий в тенденциях изменчивости средней за зиму температуры воздуха, которые преимущественно повторяют рассмотренные выше тенденции колебаний средней годовой температуры. В районах Одессы и Стамбула за последнее столетие наблюдается заметное повышение зимних температур воздуха, которое в особенности было выражено с конца 1950-х гг. Динамика зимних температур в Сочи и Трабзоне снова демонстрируют значительную степень согласованности, что выражается во взаимном наступлении периода относительно повышенных температур с конца 1950-х гг. по начало 1970-х, и проявлении периодов относительного снижения средних за зиму температур в первой половине и последней четверти XX века. Зимние температуры воздуха в Ялте и Констанце, на протяжении анализируемых рядов, показывают отсутствие какой-либо значительной тенденции в своей изменчивости, формируя, тем не менее, слабую тенденцию к росту. Не смотря на региональные различия, на всех рассматриваемых станциях наблюдалось резкое снижение средней за зиму температуры воздуха в 1954 г. Так, в Стамбуле зимняя температура снизилась в Одессе до $-7,2^{\circ}\text{C}$, в Ялте до $0,9^{\circ}\text{C}$, в Сочи до $+4^{\circ}\text{C}$, в Трабзоне до $+5^{\circ}\text{C}$, в Стамбуле до $3,1^{\circ}\text{C}$. Только в Констанце вековой минимум был отмечен в 1953 г., когда средняя за зиму температура воздуха понизилась до -4°C . Экстремальное потепление в зимнее время также отмечалось синхронно на большинстве станций в 2007 г. Эти факты позволяют прийти к выводу о том, что не смотря на региональную специфику в динамике температуры воздуха, которая в регионе Черного моря проявляется в зависимости от широтного и меридионального положения отдельных районов, степени их близости к морю, особенностей горного или равнинного рельефа и др., существуют климатообразующие механизмы, проявляющиеся достаточно редко, но способные очень сильно повлиять на погодно-климатические условия во всем черноморском регионе.

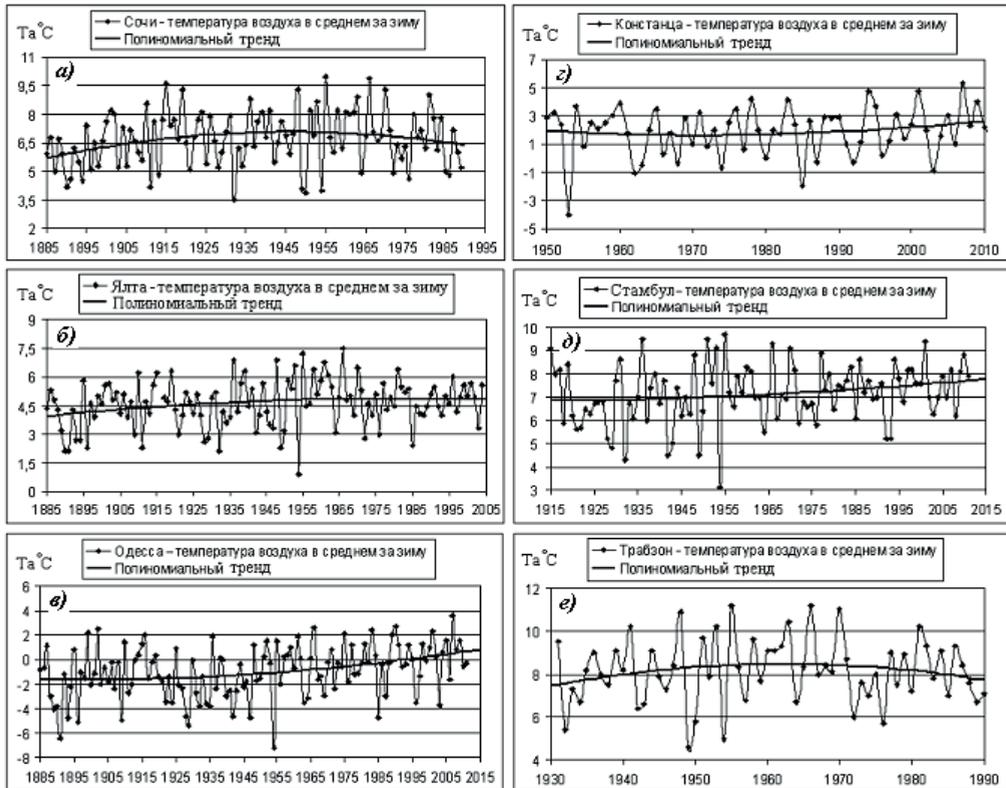


Рис. 7. Многолетняя динамика средней за зиму температуры воздуха на береговых станциях в регионе Черного моря
 а – Сочи; б – Ялта; в – Одесса; г – Констанца; д – Стамбул; е – Трабзон.

Изучая описание динамики климатических параметров Черноморского региона [Зайцев Ю.П., 2006; Sorokin, 2002] происходившие на протяжении нескольких столетий, находим сведения о том, что в разные исторические периоды наблюдалось экстремальное похолодание в регионе Черного моря, а также во всем восточном Средиземноморье, сопровождавшееся замерзанием значительной части Черного и Мраморного морей. В 739 г. замерзал Босфор, в 763-764 гг. значительная часть Черного моря и пролив Дарданеллы покрылись 75-сантиметровым слоем льда. В 859 году Адриатическое море замерзло столь значительно, что в Венецию можно было проходить пешком. Это явление повторилось в 1210-1211 гг. В 1010-1011 гг. морозы сковали турецкое побережье Черного моря. Сильнейшие холода достигли даже Африки, где низовье р. Нил было покрыто льдом. В период примерно с 1645 по 1705 гг., вся Европа пережила так называемый «малый ледниковый период», сопровождавшийся крайне суровыми зимами, на протяжении которых почти полностью замерзли Балтийское, Северное, Черное, Азовское и Мраморное моря. В XX веке в зиму 1953-1954 гг. на обширной

территории от Атлантики до Урала с ноября по апрель наблюдались весьма низкие температуры, замерзла северная часть Черного моря и вся акватория Азовского моря. В 1985 и 2002 гг. из-за сильных морозов вновь замерз Венецианский залив, гондолы вмерзли в лед. Достаточно суровой может считаться зима 2012 г., когда в конце января и в феврале температура во всей Европейской части России, в Западной и южной Европе опустилась значительно ниже нормы. В регионе Черного моря это привело к замерзанию Одесского залива, прибрежной зоны Румынии и Болгарии, пр. Босфор.

В связи с важностью анализа значительных изменений в температурном режиме черноморского региона, что позволит в дальнейшем обосновать подходы к оценке устойчивости природных условий региона в целом, и морской экосистемы в частности, выполнен спектральный анализ наиболее продолжительных рядов данных о средних за год и за зиму температурах воздуха в Сочи, Стамбуле, Одессе и Ялте. Результаты спектрального анализа в графической форме для района Сочи представлены на рисунке 8, а также в обобщенном численном виде в таблице 2.

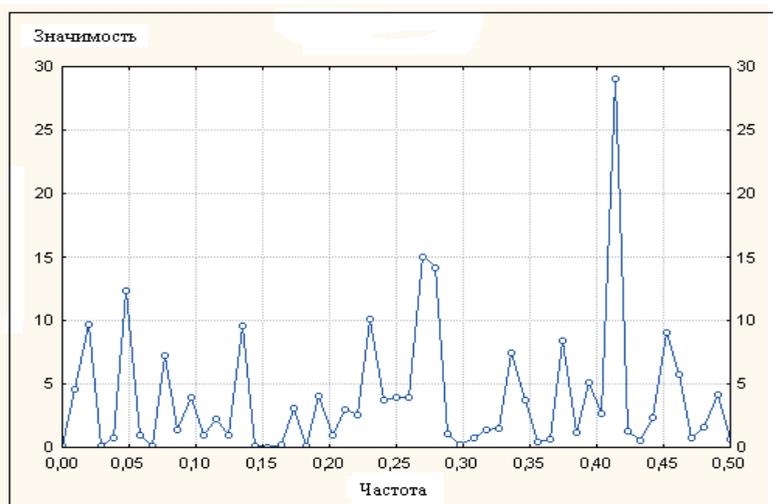


Рис. 8. Результаты спектрального анализа ряда средних за зиму значений температуры воздуха в Сочи.

Как видно из результатов спектрального анализа представленных в таблице 2, для всех анализируемых станций, кроме Стамбула, в зимний период характерно наличие в спектре колебаний периодов около 7 лет, соответствующих одному из наиболее выраженных периодов изменчивости Северо-Атлантического колебания (NAO), значения которого рассчитываются исходя из данных по давлению в среднем за зимний период.

Для всех анализируемых станций, кроме Стамбула, в зимний период характерно наличие в спектре колебаний периодов около 7 лет, соответствующих одному из наиболее выраженных периодов изменчивости Северо-Атлантического колебания (NAO), что следует из данных таблицы 2, значения которого рассчитывается исходя из данных по давлению именно в среднем за зимний период. Кроме того, для динамики

температуры воздуха в Сочи, Стамбуле, Одессе в среднем за год, проявляются также периоды колебаний близкие к вековым, которые не свойственны для данных применительно к зимнему периоду. Следует отметить, что согласно полученным ранее результатам анализа цикличности крупномасштабных климатообразующих процессов [Воробьев, 2003; Смирнов, 1998], периоды колебаний близкие к вековым характерны также для скорости вращения Земли и солнечной активности.

Таблица 2

Обобщенные результаты спектрального анализа многолетних данных по изменчивости температуры воздуха на станциях Черноморского побережья

| Температура воздуха | Используемый период наблюдений, гг. | Наиболее значимые периоды колебаний, лет | | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|--|-----|------|-----|------|
| | | Ранг значимости на периодограмме | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| В Сочи в среднем за год | 1885-1990 | 98 | 4,2 | 2,2 | 4,7 | 13,5 |
| В Сочи в среднем за зиму | 1885-1990 | 2,5 | 3,7 | 21 | 7,2 | 3,2 |
| В Стамбуле в среднем за год | 1915-2012 | 4 | 96 | 5 | 3,2 | 2,3 |
| В Стамбуле в среднем за зиму | 1915-2012 | 3,5 | 2,4 | 2,5 | 5 | 2,7 |
| В Одессе в среднем за год | 1885-2012 | 96 | 10 | 7,3 | 19 | 3,5 |
| В Одессе в среднем за зиму | 1885-2012 | 2,5 | 18 | 10,5 | 6,8 | 7,2 |
| В Ялте в среднем за год | 1885-2004 | 19 | 40 | 30 | 17 | 4,2 |
| В Ялте в среднем за зиму | 1885-2004 | 20 | 2,2 | 2,4 | 7,4 | 3,6 |

Наибольшая совокупность разномасштабных гармоник в спектре многолетней изменчивости температуры воздуха свойственна для Одессы и Ялты, а наименьшая — для Сочи. Как отмечалось ранее, для Сочи характерна также наименьшая амплитуда средних годовых и средних за зиму значений температур воздуха, а для Одессы — наибольшая. Таким образом, произведенные расчеты выявили существенные региональные различия в характере изменчивости многолетних данных по температуре воздуха.

Анализ влияния показателей крупномасштабных климатообразующих процессов на динамику температуры воздуха

Для установления основных причин многолетней изменчивости температуры воздуха в основных экономически значимых районах Черноморского региона произведен анализ влияния на температурный режим различных центров действия атмосферы и показателей крупномасштабной атмосферной циркуляции. В таблице 3 представлены результаты корреляционного анализа степени и характера связи между многолетней динамикой значений различных вариантов индексов Северо-Атлантического колебания, форм циркуляции атмосферы Вангенгейма-Гирса и изменчивостью температуры воздуха. В таблице 4 приведены коэффициенты корреляции между параметрами Арктического и Сибирского антициклонов и динамикой температуры воздуха в Черноморском регионе.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между вариантами индекса Северо-Атлантического колебания, формами атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса и температурой воздуха в среднем за зиму в Черноморском регионе

| Пункт наблюдений | Индексы циркуляции атмосферы | | | | | |
|------------------|------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | NAO об | NAO1 | NAO2 | W-форма | C-форма | E-форма |
| Одесса | 0,31* | 0,33* | 0,41** | -0,061 | -0,11 | 0,003 |
| Кишинев | 0,42** | 0,44** | 0,51** | -0,082 | -0,071 | 0,11 |
| Симферополь | -0,12 | -0,14 | -0,13 | -0,032 | 0,27* | 0,082 |
| Ялта | -0,16 | -0,11 | -0,078 | -0,044 | 0,26* | 0,034 |
| Феодосия | -0,026 | 0,028 | 0,056 | -0,05 | 0,13 | 0,093 |
| Краснодар | -0,13 | -0,12 | -0,02 | -0,25* | -0,083 | 0,27* |
| Новороссийск | -0,33* | -0,18 | -0,22 | -0,35* | -0,11 | 0,18 |
| Туапсе | -0,42** | -0,23 | -0,18 | -0,086 | -0,072 | -0,12 |
| Сочи | -0,43** | -0,33* | -0,35* | -0,061 | -0,015 | -0,024 |
| Анкара | -0,42** | -0,35* | -0,38** | -0,33* | 0,37* | -0,12 |
| Корум | -0,45** | -0,36* | -0,41** | -0,36* | 0,34* | -0,011 |
| Трабзон | -0,45** | -0,36* | -0,42** | -0,042 | 0,35* | -0,018 |
| Самсун | -0,44** | -0,34* | -0,41** | 0,013 | 0,25* | -0,055 |
| Зонгулдак | -0,42** | -0,32* | -0,38* | 0,17 | 0,31* | -0,018 |
| Стамбул | -0,33* | -0,23 | -0,18 | -0,003 | -0,15 | 0,16 |
| Бургас | -0,18 | -0,13 | -0,21 | 0,15 | 0,45** | -0,25 |
| Варна | 0,14 | 0,18 | 0,22 | 0,37* | 0,42** | -0,35* |
| Измаил | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,41** | 0,43** | -0,38* |

Примечание. Выделенные знаком «**» коэффициенты корреляции соответствуют 99 % уровню обеспеченности, знаком «*» – 95 %.

В процессе анализа влияния Северо-Атлантического колебания на температурный режим использовались данные о средней годовой температуре воздуха, а также о температуре в среднем за зимний период, полученные из климатической базы данных открытого доступа NASA [7]. При использовании данных о средней годовой температуре воздуха на избранных станциях применительно к оценке влияния индексов Северо-Атлантического колебания на температурные условия, полученные коэффициенты корреляции в подавляющем большинстве случаев оказались не значимы. Поэтому более целесообразным явился соответствующий анализ данных о температуре воздуха в среднем за зиму, т.е. за период принятый в качестве расчетного при определении значений индексов Северо-Атлантического колебания. В данном случае, как видно из таблицы 3 для большинства избранных станций Черноморского региона установлена значимая связь с интенсивностью циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой. Наибольшие по абсолютному значению коэффициенты корреляции с температурой

воздуха в среднем за зимний период характерны для обобщенного индекса NAOоб. и для NAO2. Теснота соответствующей связи с индексами NAO1, NAO3 и NAO4 оказалась значительно меньшей.

Для большинства анализируемых станций располагающихся в юго-восточных и южных районах черноморского побережья установлена значимая связь отрицательного характера при 99 % уровне обеспеченности с индексами NAO. Причем наиболее тесная корреляционная зависимость наблюдается с обобщенным индексом Северо-атлантического колебания (NAOоб.) и NAO 2, представляющим собой разности атмосферного давления между пунктами Лиссабон (Португалия) и Стиккисхоульмур (Исландия), осреднённые за декабрь – март. Для станций же расположенных с северо-западном районе Черноморского региона (Одесса, Кишинев) корреляционная связи имеет значимый положительный характер. Таким образом, увеличение интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой сопровождается потеплением в северо-западных районах и похолоданием в восточных и южных. Многолетняя динамика температуры воздуха на анализируемых станциях Южного Крыма, а также в Симферополе, на побережье Болгарии и Румынии, значимой связи с Северо-Атлантическим колебанием не обнаруживает. Влияние же форм атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса, напротив, сказывается, как видно из таблицы 3, в основном на температурном режиме западного побережья Черного моря, причем с запаздыванием на 1 год, а для других районов незначимо. Рост повторяемости *W*- и *S*-форм атмосферной циркуляции приводит к увеличению средних годовых температур воздуха в Варне, Бургасе, а также в Измаиле, а рост частоты *E*-формы сопровождается похолоданием.

Графической иллюстрацией обнаруженных особенностей влияния показателей крупномасштабной атмосферной циркуляцией на многолетнюю динамику температуры воздуха на станциях побережья Черного моря являются рисунки 9, 10 и 11.

Многолетняя изменчивость параметров Арктического и Сибирского антициклонов также демонстрирует значимую связь с температурой воздуха Черноморском регионе. Как видно из данных таблицы 4 коэффициенты корреляции между давлением в центре Арктического антициклона и температурой воздуха в среднем за год на большинстве береговых станций черноморского побережья демонстрируют значимые величины. Акцентация Арктического антициклона приводит к похолоданию в регионе Черного моря, причем это характерно как для северных (Краснодар, Ялта, Феодосия) так и для южных районов (Сочи, Трабзон). Однако статистически достоверные коэффициенты корреляции между давлением в центре Арктического антициклона и температурным режимом на станциях Черноморского региона получены с наличием временного сдвига температуры воздуха относительно давления в центре Арктического антициклона на 1 год. Непосредственной связи с изменчивостью давления в центре Сибирского антициклона динамика температуры воздуха на станциях черноморского побережья не обнаруживает. Однако наблюдается существенный рост температур воздуха на станциях восточных районов побережья при увеличении долготы центра Сибирского антициклона, т.е. при его отдалении от Европы. Значимые коэффициенты корреляции между температурой воздуха в среднем за зиму и долготой центра Сибирского антициклона получены при сдвиге относительно положения антициклона на 2 года.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между параметрами Арктического и Сибирского антициклонов и динамикой температуры воздуха на станциях в Черноморском регионе

| Пункт наблюдений | Климатообразующие характеристики | | | |
|------------------|---|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | Давление в центре Арктического антициклона в среднем за год | Давление в центре Сибирского антициклона | Широта центра Сибирского антициклона | Долгота центра Сибирского антициклона |
| Одесса | -0,44** | 0,16 | 0,052 | -0,041 |
| Кишинев | -0,22 | 0,15 | 0,064 | 0,032 |
| Симферополь | -0,37* | 0,14 | 0,077 | 0,33* |
| Ялта | -0,35* | 0,15 | 0,072 | 0,34* |
| Феодосия | -0,32* | 0,18 | 0,063 | 0,32* |
| Краснодар | -0,35* | 0,21 | 0,07 | 0,22 |
| Новороссийск | -0,36* | 0,13 | 0,08 | 0,45** |
| Сочи | -0,43** | 0,08 | 0,065 | 0,51** |
| Анкара | -0,25 | 0,06 | 0,11 | 0,34* |
| Корум | -0,21 | 0,04 | 0,08 | 0,32* |
| Трабзон | -0,42** | -0,003 | 0,15 | 0,44** |
| Самсун | -0,25 | 0,21 | 0,15 | 0,48** |
| Стамбул | -0,17 | 0,21 | 0,18 | 0,45** |
| Бургас | -0,23 | -0,102 | -0,017 | 0,13 |
| Варна | -0,22 | 0,19 | -0,15 | 0,102 |

Примечание. Выделенные знаком «**» коэффициенты корреляции соответствуют 99 % уровню обеспеченности, знаком «*» – 95 %.

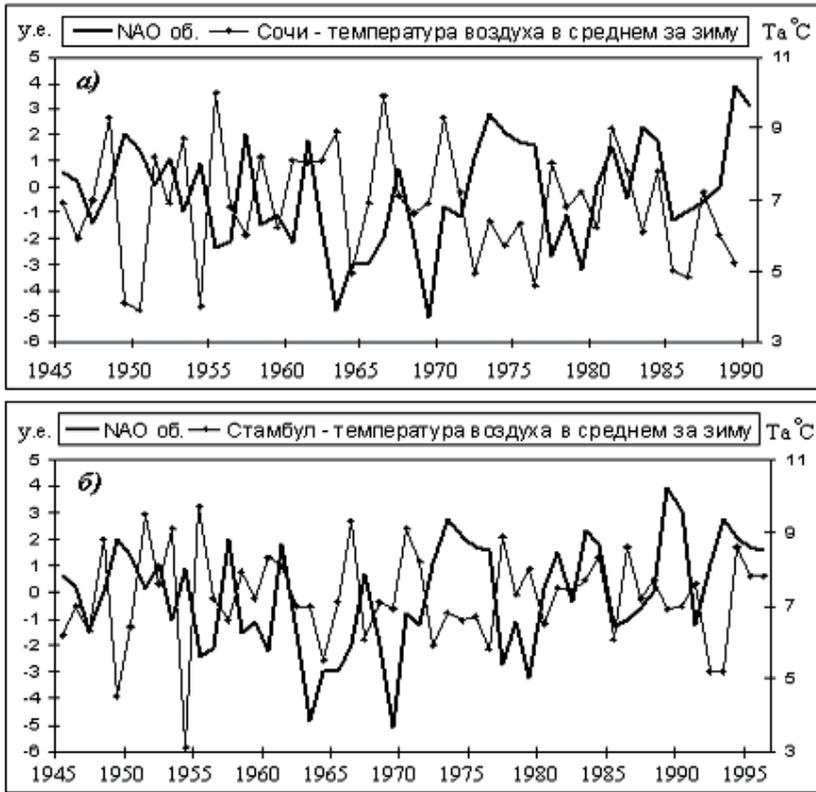


Рис. 9. Сравнение многолетней динамики обобщенного показателя интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой и средней за зиму температурой воздуха в Сочи (а) и Стамбуле (б).

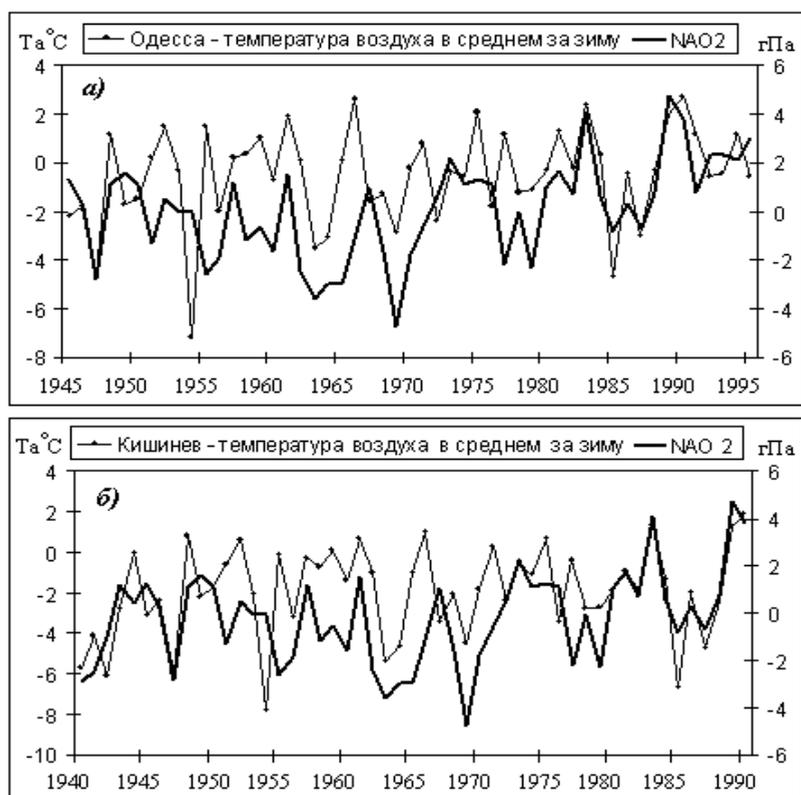


Рис. 10. Сравнение многолетней динамики значений индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO2 со средней за зиму температурой воздуха в Одессе (а) и Кишиневе (б).

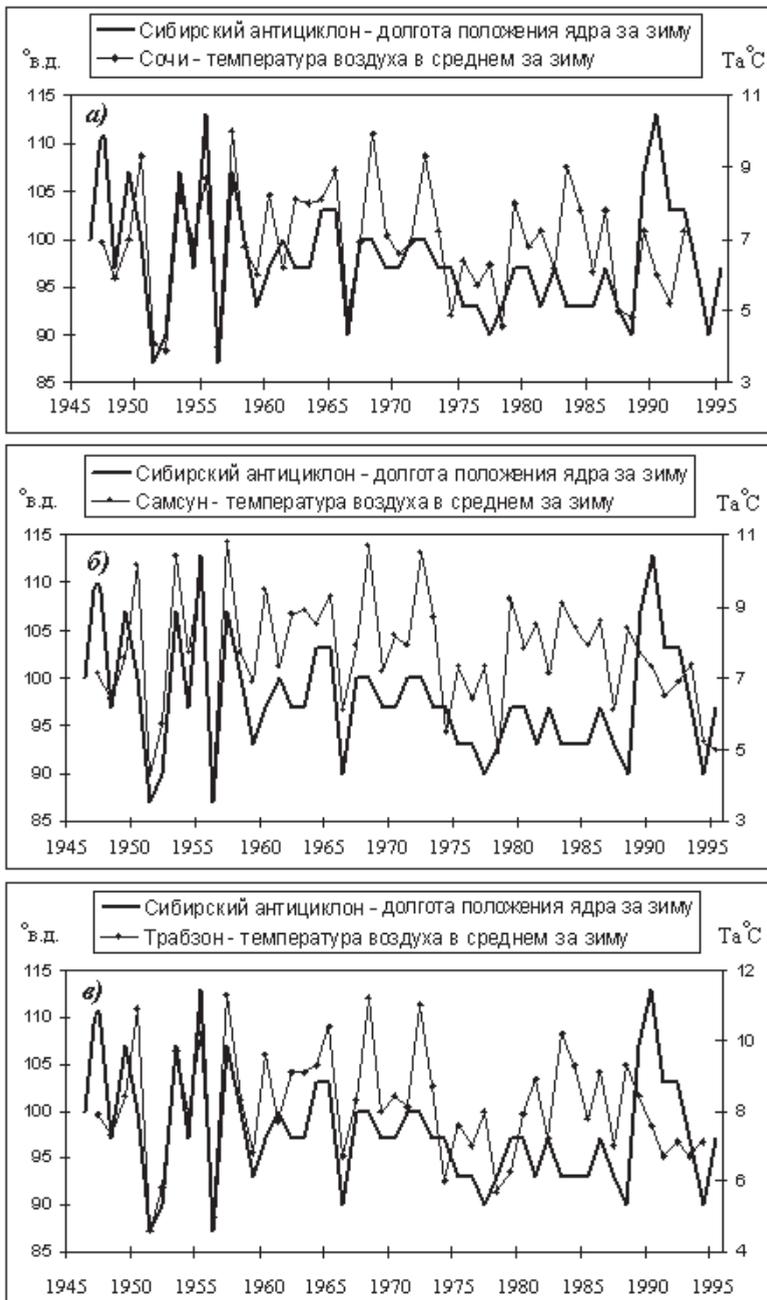


Рис. 11. Сравнение многолетней динамики долготы положения центра Сибирского антициклона с температурой воздуха в среднем за зиму в Сочи (а), Самсуне (б), Трабзоне (е).

Заключение

Рассмотрение особенностей многолетней динамики температуры воздуха на 21 станции Черноморского региона и анализ крупномасштабных процессов ее определяющих, позволили сформулировать следующие выводы.

Многолетняя динамика температуры воздуха, в среднем за год, а также в среднем за зиму, на станциях северо-восточной части Черноморского региона демонстрирует тенденции к плавному снижению с середины XX века к началу 1990-х гг., после чего начал наблюдаться рост ее значений. На станциях Крыма наблюдаются также с конца 1980-х гг. по 2011 г. проявляется выраженная тенденция к потеплению. В западной части региона Черного моря, с начала 1990-х гг. по 2008 г. наблюдается заметное повышение температур воздуха, в особенности характерное для районов Констанцы, Измаила и Одессы. Отмечены периоды значительных похолоданий, проявляющиеся на большинстве рассматриваемых станций во всем Черноморском регионе практически синхронно – в начале 1940-х гг. и в середине 1950-х гг.

Результаты кластерного анализа данных, позволяют прийти к выводу о наличии трех основных кластеров в серии анализируемых рядов. Первый, наиболее отчетливо выраженный кластер соответствует многолетней изменчивости средней годовой температуре воздуха в Одессе. Второй кластер соответствует группе Констанца и Феодосия, а третий, наименее выраженный кластер, включает станции турецкого черноморского побережья и Сочи. Таким образом, произведенные расчеты выявили существенные региональные различия в характере изменчивости многолетних данных по температуре воздуха.

Увеличение интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, выражаемое в виде индексов NAO, сопровождается потеплением в северо-западных районах и похолоданием в восточных и южных. Влияние форм атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса на температурный режим Черноморского региона значимо, но в большинстве случаев оказывается менее существенным, чем влияние Северо-Атлантического колебания. Для всех анализируемых станций наблюдений за температурой воздуха, и прежде всего, для станций восточных районов моря, имеет место связь отрицательного характера с восточной E-формой атмосферной циркуляции.

Динамика атмосферного давления в центре Сибирского антициклона непосредственной связи с изменчивостью температуры воздуха на станциях черноморского региона не обнаруживает. Однако наблюдается существенный рост температур воздуха на станциях восточных районов побережья (Сочи, Новоросси́ск, Трабзон) при увеличении долготы центра Сибирского антициклона, т.е. при его отдалении от Европы.

Рост атмосферного давления в центре Арктического антициклона и смещение его ядра в западном направлении приводят к некоторому похолоданию в регионе Черного моря, с наличием временного сдвига температуры воздуха относительно давления в центре Арктического антициклона на 1 год, причем это проявляется как в северных (Краснодар, Ялта, Феодосия) так и в южных районах (Сочи, Трабзон).

Произведенный анализ связей между значениями индексов атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, параметрами Арктического и Сибирского антициклонов и температурой воздуха, позволяет прийти к выводу о том, что климатические

изменения в черноморском регионе формируются при совместном воздействии крупномасштабных метеорологических процессов над Северным полушарием в целом. Однако основное влияние на климат оказывают процессы крупномасштабной циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой.

Литература

1. *Воробьев В.Н., Смирнов Н.П.* Арктический антициклон и динамика климата Северной Полярной области. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2003. – 82 с.
2. *Дроздов В.В.* Особенности многолетней динамики экосистемы Азовского моря под влиянием климатических и антропогенных факторов. // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 15, с.155-176.
3. *Дроздов В.В.* Многолетняя изменчивость рыбопромысловых ресурсов Черного моря: тенденции, причины и перспективы. // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 21, с.137-154.
4. *Зайцев Ю.П.* Введение в экологию Черного моря. – Стамбул-Одесса:GEF-UNEP-BSERP, 2006.
5. *Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю.* Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: Изд. РГГМУ, 1998. – 122 с.
6. Единая система информации о Мировом океане. Проект ЕСИМО. – Режим доступа: [<http://www.esimo.ru>].
7. Национальное аэрокосмическое агентство NASA. – Режим доступа: [<http://www.nasa.gov>].
8. *Sorokin Y.I.* Black Sea Ecology and Oceanography. – Backhuys Publishers, 2002.