

УДК 551.582

UDC 551.582

ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ В 20-М ВЕКЕ

CHANGES IN THE REGIME OF AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION RATE IN THE BLACK SEA REGION IN THE 20TH CENTURY

Рыбак Олег Олегович
д.ф.-м.н.
*Сочинский научно-исследовательский центр РАН
Сочи, Россия*
Vrije Universiteit Brussel, Брюссель, Бельгия
orybak@vub.ac.be

Rybak Oleg Olegovich
Dr.Sci.Phys.-Math.
Scientific Research Center, Sochi, Russia
Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium
orybak@vub.ac.be

Рыбак Елена Алексеевна
к.ф.-м.н.
*Институт природно-технических систем РАН,
Сочи, Россия*
elena.rybak@gmail.com

Rybak Elena Alekseevna
Cand.Phys.-Math.Sci.
*Institute of Natural and Technical Systems, Sochi,
Russia*
elena.rybak@gmail.com

С помощью корреляционно-спектральных методов были проанализированы изменения в режиме температуры и количества осадков в Черноморском регионе на протяжении 20-го века. Показано, что на региональном уровне тенденции климатических изменений отличаются от глобальных. Для прогноза их последствий в ближайшие 10-20 лет следует основное внимание уделять изучению и моделированию естественной климатической изменчивости, которая накладывается на относительно медленные глобальные изменения

Correlation and spectral methods were used to analyze changes in the regime of air temperature and precipitation rate in the Black Sea region in the 20th century. It was established that climatic tendencies on the regional scale differed from the global ones. In order to predict their consequences in the nearest 10 to 20 years it is necessary to concentrate efforts on studying and modeling natural climatic variability, which superimposes on the relatively slow global changes

Ключевые слова: КЛИМАТ, ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, РЕГИОНАЛЬНЫЙ КЛИМАТ, ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА, ОСАДКИ

Keywords: CLIMATE, CLIMATIC CHANGES, REGIONAL CLIMATE, AIR TEMPERATURE, PRECIPITATION

Введение

Анализ инструментальных метеонаблюдений и разнообразных косвенных данных свидетельствуют об изменениях глобального климата, масштаб которых лежит в пределах десятков-сотен лет. Преобладающая среди исследователей точка зрения состоит в том, что рост глобальной приземной температуры воздуха приблизительно на 0.6°С за последние 150 лет [7, 8] обусловлен ростом мировой экономики, который сопровождался увеличивающимися объемами выбросов в атмосферу парниковых газов, прежде всего углекислоты [8]. Хотя вывод об антропогенном характере роста глобальной температуры является в

некоторой степени спекулятивным, сам факт постепенного потепления воздуха у поверхности планеты отрицать нельзя. Однако, общая тенденция климата к потеплению во-первых, непостоянна, то есть периоды роста температуры могут чередоваться с периодами стабилизации и даже снижения, а, во-вторых, проявления вариаций климата меняются от региона к региону, и проявляются лишь при глобальном или полушарном осреднении [3]. Вариации глобальной температуры сопровождаются вариациями других климатических характеристик – влажности воздуха, количества осадков, экстремальных погодных явлений.

Встречающиеся в настоящее время алармистские тенденции в трактовке современных изменений климата, как катастрофических или необратимых, на наш взгляд, не вполне обоснованы. Изменения климата не являются чем-то новым, присущим только нашему времени. Многочисленные косвенные свидетельства доинструментальной эпохи, в том числе и различные исторические документы, фиксируют относительно теплые и холодные продолжительные промежутки времени, имевшие место на протяжении тысячелетий истории цивилизации. Иллюстрацией вековых колебаний приземной температуры, имеющих вполне естественные причины, являются и средневековый оптимум 10-13 веков и так называемый малый ледниковый период 17-19 веков. Тем не менее, с фактами климатических изменений необходимо считаться прежде всего для разработки стратегических сценариев социально-экономического развития того или иного региона в условиях меняющейся окружающей среды.

Для того, чтобы составить целостную картину региональных климатических изменений, в настоящем исследовании проанализирован

максимально возможное и доступное количество рядов данных со станций на побережье Черного моря и в регионах, прилежащих к нему.

1. Исходные климатические ряды

1.1 Источник данных

Нами были использованы ряды среднемесячных значений приземной температуры воздуха и годового количества осадков на станциях, расположенных на побережье Черного моря. Исключение составляют ст. Армавир к северу от Главного Кавказского хребта, Эдирне в европейской части Турции, Николаев в устье Южного Буга и Самтредиа в нескольких десятках км от побережья на р. Риони. Все данные находятся в свободном доступе в базе данных Global historical climatological network (GHCN), для доступа к которой использовалась поисковая система Королевского метеорологического института (Нидерланды), также находящаяся в свободном доступе (<http://kodac.knmi.nl/kodac/>). База данных и контроль качества данных при ее формировании описаны в [9, 10]. Количество доступных рядов в базе данных намного превышает использованное в настоящей работе, для анализа отбирались ряды данных или их сегменты длительностью не менее 50 лет и имеющие минимальное число пропусков наблюдений.

1.2 Интерполяция пропусков и контроль качества данных

Полностью избежать интерполирования данных не представлялось возможным в связи с тем, что единственная станция без пропусков

наблюдений – это станция Сочи. В рядах на станциях бывшей Российской империи и Советского Союза пропуски прежде всего связаны с гражданской и Великой отечественной войнами и локальными войнами после распада СССР (на территории Грузии). Для некоторых станций доступны оба вида данных, для других – либо температура, либо осадки. Начало и конец интервалов анализа не всегда совпадают для обоих типов данных. Не совпадают и географические координаты измерения температуры и осадков. Это объясняется либо тем, что измерения проводились в разных географических точках, формально имеющих название одного и того же населенного пункта, но разный код ВМО (Ялта), либо тем, что координаты станции в могли в одних случаях округляться, а в других нет, что не было отражено в справочной информации. Во всяком случае, приведенная характеристика исходных данных (табл. 1) соответствует описанию в базе данных.

Пробелы в данных, заполнялись средними за десять лет значениями для попущенного месяца, таким образом, что точка пропуска находилась посередине интервала осреднения. В тех случаях, когда это не представлялось возможным из-за того, что точка пропуска находилась ближе 5 лет к началу или концу интервала наблюдений, или из-за других пропусков, находящихся ближе 5 лет к заполняемому, осреднение проводилось за меньший промежуток времени, но всегда таким образом, чтобы пропущенное значение находилось в середине интервала осреднения. Исключение составили немногочисленные точки, в которых в те или иные месяцы имелись пропуски два года подряд. Годы в начале или конце интервала с пропущенными среднемесячными значениями исключались из анализа. Также исключались из анализа те годы, в которых хотя бы один месяц был пропущен три года подряд. После того, как процедура предварительного контроля качества исходных рядов была

проведена, для анализа было оставлено 22 ряда по 11 температуры воздуха и осадков.

Таблица 1 - Характеристика исходных данных. Примечания: (1) Всемирная метеорологическая организация; (2) Т – приземная температура воздуха; О – сумма осадков; (3) временные интервалы, использованные для анализа

Название станции	Код ВМО ¹	Координаты	Абс. высота, н. у. м. (м)	Тип данных ²	Годы наблюдений ³
Армавир	37031	44.98 N, 41.12 E	159	Т	1932-1989
Сочи	37099	43.58 N, 39.77 E	34	Т	1885-2006
-	-	43.58 N, 39.72 E	57	О	1885-2006
Туапсе	37018	44.10 N, 39.07 E	41	Т	1904-1989
Анапа	37001	44.90 N, 37.30 E	30	О	1900-1990
Феодосия	33976	45.03 N, 35.38 E	26	Т	1897-1989
Ялта	33990	44.48 N, 34.17 E	72	Т	1881-1989
-	33998.1	44.50 N, 34.17 E	41	О	1881-2000
Николаев	33846	47.03 N, 31.95 E	50	Т	1891-1989
Одесса	33837	46.43 N, 30.77 E	42	Т	1881-1991
-	-	46.48 N, 30.63 E	42	О	1894-2006
Сулина	15360	45.15 N, 29.67 E	9	Т	1876-1990
-	-	45.20 N, 29.70 E	9	О	1868-2006
Констатнца	15480	44.20 N, 28.60 E	14	О	1886-2006
Эдирне	17050	41.67 N, 26.57 E	48	Т	1929-1990
-	-	41.70 N, 26.60 E	48	О	1929-2006
Самсун	17030	41.28 N, 36.33 E	4	Т	1929-1990
-	-	41.30 N, 36.30 E	44	О	1929-2006
Ризе	17040	41.00 N, 40.50 E	4	О	1929-2003
Самтредиа	37385	42.18 N, 42.37 E	26	Т	1936-1989
-	-	42.20 N, 42.40 E	26	О	1936-1986
Сухуми	37260	42.87 N, 41.13 E	116	О	1904-1990

2. Методы анализа

В соответствии с целями настоящей работы, были выбраны методы исследования исходных рядов. Как неоднократно отмечалось в литературе [напр. 1, 2] для исследования корреляционно-спектральной структуры относительно коротких геофизических временных рядов, к которым относятся температура воздуха и осадки, одним из наиболее эффективных является метод наибольшей энтропии. Его описание, включая алгоритмы программ приведены в [2]. Метод неоднократно использовался в течение

последних нескольких лет для анализа рядов температуры, индексов атмосферной циркуляции и баланса массы горных ледников [3-6]. В упомянутых работах приведена последовательность анализа и описана математическая его сторона, так что в настоящей работе изложение теоретических основ метода опущены.

На практике анализ рядов сводился к следующему. После контроля качества данных и проведения необходимых интерполяционных процедур, описанных в предыдущем разделе, из среднемесячных значений составлялись среднегодовые. Последние анализировались на наличие линейного тренда. Если тренд был статистически значим, то он исключался. Далее ряды центрировались (из каждого значения ряда вычиталось среднее многолетнее за весь период наблюдений) и нормировались на среднеквадратическое отклонение (опять таки рассчитанное для всего периода наблюдений). Таким образом, дальнейшему анализу подвергались ряды безразмерных данных с нулевым средним значением.

Для каждого ряда подгонялась авторегрессионная (АР) модель, и для тех рядов, для которых оптимальный порядок модели (M_{opt}) отличался от нулевого, рассчитывались функции спектральных плотностей. Для всех рядов рассчитывался коэффициент корреляции смежных лет (α_1), который в случае $M_{opt} = 1$ совпадал с коэффициентом авторегрессии.

Те ряды, длительность которых составила более 70 лет были подвергнуты скользящему авторегрессионному анализу. Процедура его была аналогична описанной выше, за исключением того, что анализу подвергался не весь ряд, а его отдельные перекрывающиеся сегменты длиной 30 или 50 лет. Длина сегмента называется также шириной временного окна. Скользящий авторегрессионный анализ позволяет определить изменения в поведении ряда, например, более детально

исследовать распределение линейного тренда. Процедура скользящего авторегрессионного анализа описана в [5].

3. Результаты корреляционно-спектрального анализа

Основные результаты анализа всех рядов приведены в табл. 2. Станции (кроме ст. Армавир) показаны в порядке, соответствующем движению вдоль побережья Черного моря против часовой стрелки, начиная от Сочи. Среднегодовое количество осадков (второй столбец) вырастает семикратно по мере движения с запада на восток (ср. ст. Сулина в устье Дуная и ст. Констанца на черноморском побережье Румынии со ст. Ризе вблизи крайней восточной точки турецкого побережья). Аналогичным образом, с запада на восток растет среднегодовая температура воздуха. Среднеквадратическое отклонение (с.к.о., третий столбец) рассчитывалось после удаления линейного тренда, из тех рядов, где он был статистически значим. Повышение температуры отмечено на ст. Ялта, Одесса, Сулина и Эдирне, понижение только на ст. Самсун. Рост на ст. Сулина на 3.9 °С представляется чрезмерным, не исключено, что он не связан с естественными причинами. За исключением двух станций с.к.о. температуры лежит в пределах 0.6-1.1 °С. Высокие значения с.к.о. температуры на ст. Армавир и ст. Николаев также вряд ли обусловлены естественными причинами. С.к.о. количества осадков в целом зависит от их среднегодового значения, однако их коэффициент вариации в целом выше в западной части региона, где климат более континентальный.

Следует обратить внимание на то, что значения как температуры, так и осадков в смежные годы очень слабо коррелированы между собой. Об этом свидетельствуют данные в последнем столбце табл. 2.

За исключением ст. Сочи, Ялта, Ризе и Самтредиа ряды осадков оптимально аппроксимируются АР моделями нулевого порядка, т.е.

представляют собой некоррелированные и, следовательно, статистически непредсказуемые колебания, или белый шум. Отличительно чертой функций спектральной плотности в тех случаях, когда порядок отличался от нулевого (см. рис. 1), является медленное убывание энергии колебаний с ростом частоты (ст. Сочи) или почти равномерное ее распределение (ст. Ялта) со слабой концентрацией около периода 2.5 года (ст. Самтредиа и Ризе, во втором случае, впрочем, пик статистически незначим) и 9 лет (ст. Ризе).

Таблица 2 - Результаты анализа рядов данных. Примечания: (1) среднееквадратическое отклонение; (2) линейный тренд для всего интервала наблюдений; (3) оптимальный порядок авторегрессии; (4) автокорреляции смежных лет

Название станции	Среднее	С.к.о. ¹	Интегр. тренд ²	M _{opt} ³	α_1 ⁴
Температура воздуха					
Армавир	10.2	2.0	-	0	-0.06
Сочи	14.1	0.8	-	3	0.14
Туапсе	13.6	1.0	-	0	0.07
Феодосия	12.1	1.2	-	0	-0.01
Ялта	12.2	1.0	1.0	0	0.13
Николаев	8.9	2.5	-	0	-0.02
Одесса	9.4	0.8	2.3	0	0.09
Сулина	8.9	1.1	3.9	0	0.08
Эдирне	13.1	0.6	1.4	0	-0.10
Самсун	14.4	0.6	-1.0	0	-0.24
Самтредиа	15.4	1.1	-	0	-0.08
Осадки					
Сочи	1579	321	-	4	0.10
Анапа	482	109	149	0	0.05
Ялта	604	168	-	2	0.08
Одесса	420	108	134	0	-0.37
Сулина	334	88	-218	0	0.01
Констатнца	385	107	-	-	-0.03
Эдирне	594	144	-	0	0.05
Самсун	710	125	-	0	0.12
Ризе	2310	354	-448	10	-0.04
Самтредиа	1433	258	-	6	-0.16
Сухуми	1495	252	-	0	-0.03

Среди порядков AP моделей температурных рядов лишь порядок AP модели ряда ст. Сочи отличен от нулевого (табл. 2). С учетом ширины

доверительных интервалов на графике (рис. 2) можно говорить о почти равномерном распределении энергии междугодичных колебаний вплоть до периода приблизительно 3 года. В высокочастотной области энергия колебаний постепенно снижается.

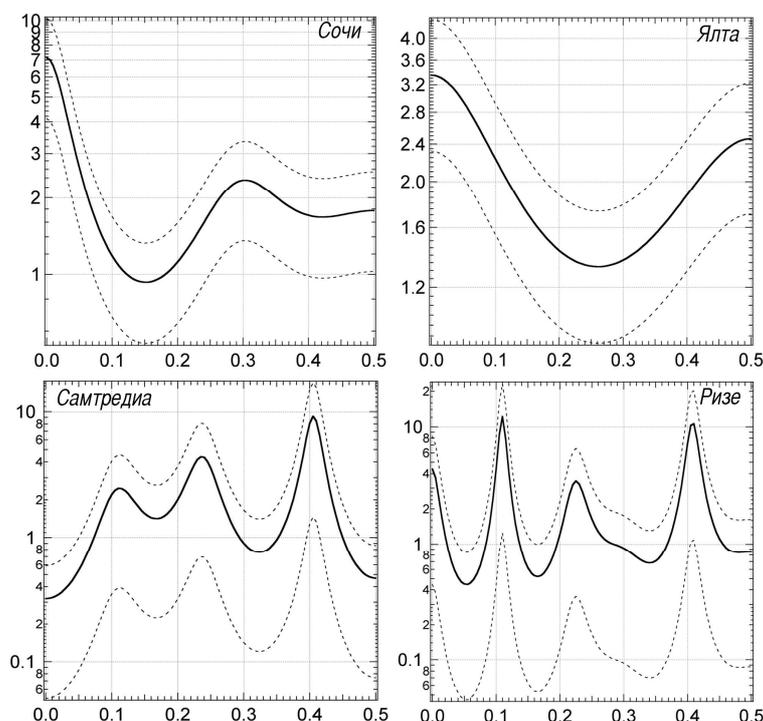


Рисунок 1 – Спектральные плотности среднегодового количества осадков (сплошные линии) и их 90% доверительные интервалы (пунктир). Вертикальные оси – безразмерные, в логарифмических координатах. Горизонтальные оси – частота, циклов в год.

4. Результаты скользящего авторегрессионного анализа

Интерперетация представленных ниже результатов требует некоторых пояснений. Так, значения на всех графиках (рис. 3-10) соответствуют году середины интервала осреднения. Например, температура воздуха 14.3 °С в Сочи в 1939 г. на рис. 3 означает, что эта

температура получена осреднением ряда во временном интервале с 1915 по 1964 г. Аналогичное значение на рис. 7 получено осреднением того же ряда во временном интервале с 1925 по 1954 г. Изменения различных характеристик рядов, рассчитанное по скользящим временным интервалам (временным окнам) позволяет определить смену тенденций во времени.

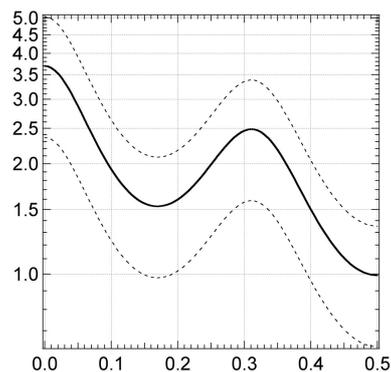


Рисунок 2 – Спектральная плотность приземной температуры воздуха на ст. Сочи (сплошная линия) и ее 90% доверительные интервалы (пунктир). Вертикальная ось – безразмерная, в логарифмических координатах. Горизонтальная ось – частота, циклов в год.

Изменения во времени средних значений и с.к.о. для рядов, длиннее 70 лет показаны на рис. 3 и 4 (ширина временного окна 50 лет). Для тех станций, для которых в базе данных были и данные и по температуре воздуха и по осадкам осадки дополнительно были проведены расчеты с шириной окна 30 лет (рис. 5). Устойчивый (на протяжении всей длины ряда) рост температуры отмечен на ст. Ялта, Одесса и Сулина. Вплоть до начала 1960-х годов росла температура на ст. Николаев. В Туапсе и Феодосии с конца 1950-х годов наметилась, по видимому, тенденция к снижению температуры.

В Сочи после роста температуры в начале прошлого века, с 1930-х по 1970-е годы температура постепенно снижалась, однако с конца 1970-х наметилась тенденция к повышению температуры.

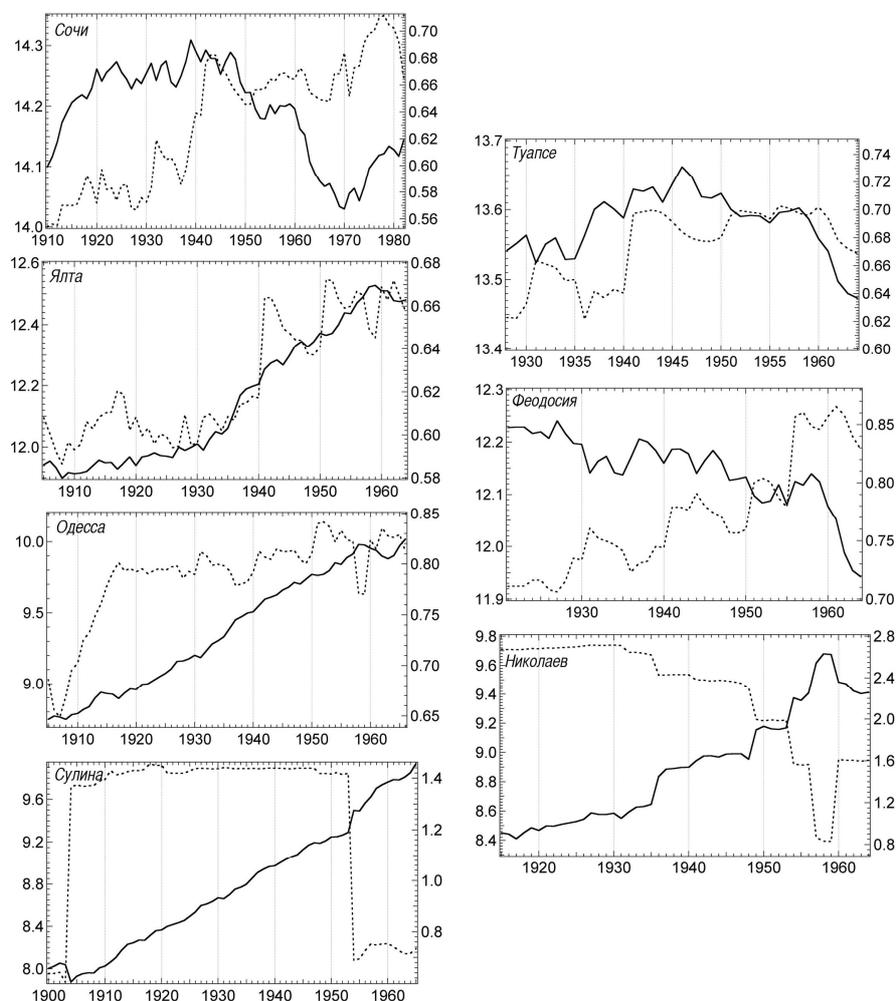


Рисунок 3 – Скользящие средние (сплошные линии, левые оси) и среднеквадратические отклонения (пунктир, правые оси) приземной температуры воздуха, °С. Период осреднения 50 лет. Значения на графике соответствуют году середины интервала осреднения. Горизонтальная ось – время (годы).

За последние 80-90 лет в Сочи выросло количество осадков, хотя их рост сопоставим с с.к.о. междугодичных колебаний и, таким образом, не

выходит за пределы статистической погрешности. Таким образом, о статистически значимом увеличении количества осадков (как и температуры воздуха) на ст. Сочи в прошлой веке говорить преждевременно, хотя безусловно тенденции десятилетия га рубеже ваков заставляют задуматься о потенциальных сдвигах в климатическом режиме.

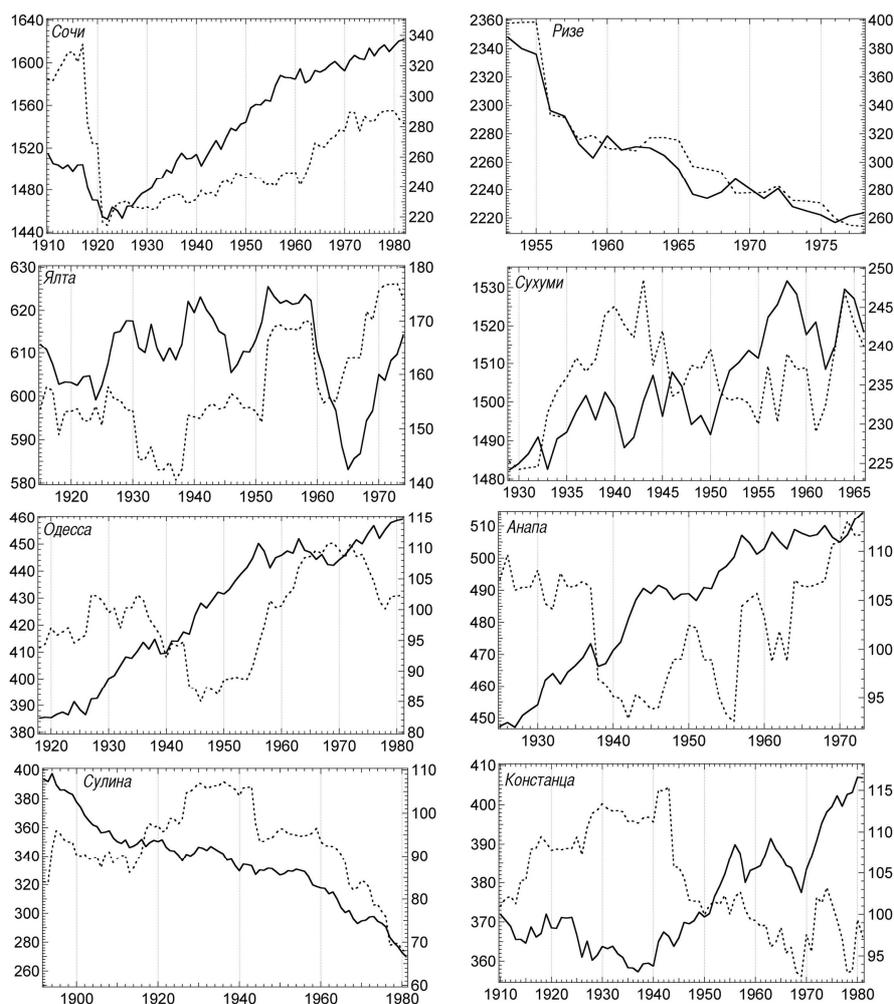


Рисунок 4 – Скользящие средние (сплошные линии, левые оси) и среднеквадратические отклонения (пунктир, правые оси) годового количества осадков, мм. Период осреднения 50 лет. Значения на графике соответствуют году середины интервала осреднения. Горизонтальная ось – время (годы)

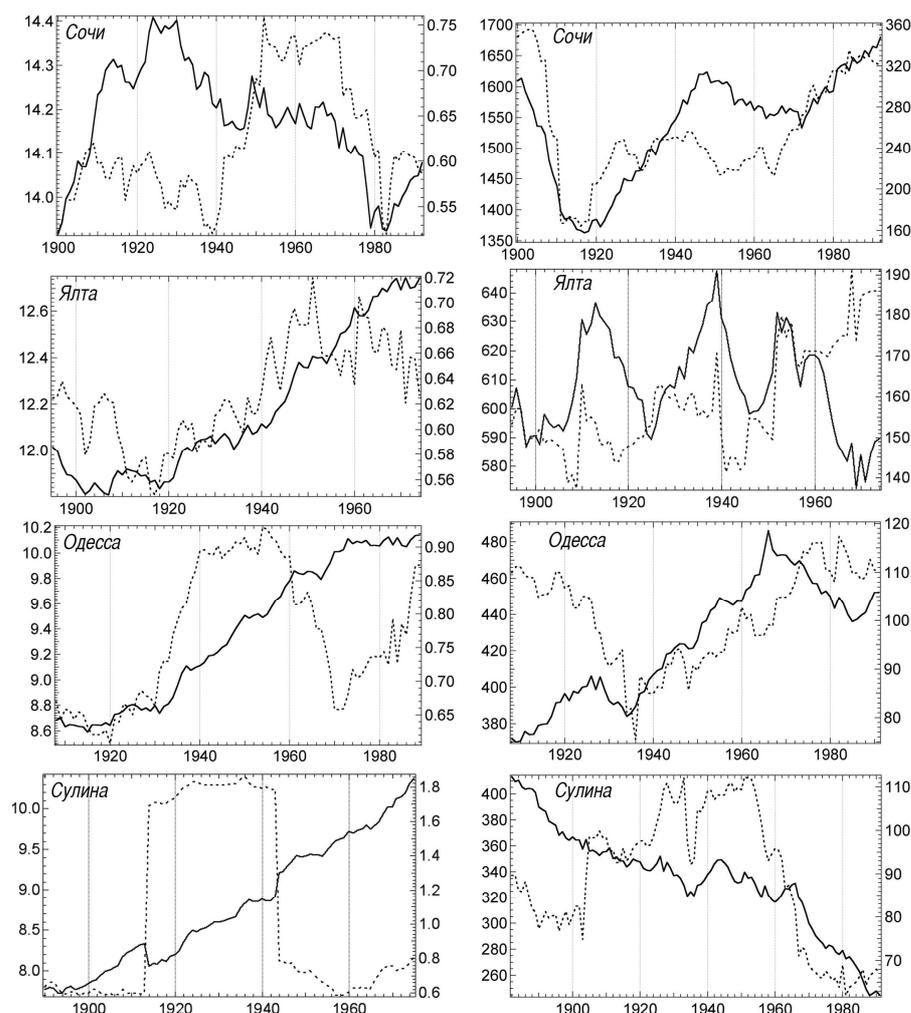


Рисунок 5 – Скользящие средние (сплошные линии, левые оси) и среднеквадратические отклонения (пунктир, правые оси) приземной температуры воздуха, °С (слева) и годового количества осадков, мм (справа). Период осреднения 30 лет. Значения на графике соответствуют году середины интервала осреднения. Горизонтальная ось – время (годы).

Аналогичные ст. Сочи тенденции в изменении количества осадков отмечаются на ст. Одесса и Анапа (на этих станциях рост количества осадков статистически значим, см. табл. 2), менее выражен рост на ст. Сухуми и ст. Констанца. Постоянное снижение в течение всего периода наблюдений (и в результате статистически значимое) отмечено для ст.

Сулина и ст. Ризе, находящихся, что характерно, на противоположных берегах Черного моря.

Для ст. Сочи был проведен дополнительный анализ изменения во времени оптимальных порядков АР моделей и корреляций значений в смежные годы, как для температуры воздуха, так и для осадков для ширины временных окон 30 лет и 50 лет. Отметим, что ширина временного окна оказывает значительное влияние на распределение оптимальных порядков АР моделей в случае температуры воздуха, и значительно меньшее – на распределение порядков АР моделей количества осадков. Так если все ненулевые порядки АР моделей температуры сосредоточены в первой половине ряда при ширине окна 30 лет, то при увеличении окна до 50 лет большая часть временных интервалов во второй половине ряда аппроксимируется моделями ненулевых порядков. Распределение же порядков АР моделей осадков в целом сохраняется при изменении ширины окна. Отметим, что с аналогичным сохранением структуры изменчивости временного ряда мы столкнулись при анализе рядов Североатлантического колебания [6]. Вариации количества осадков, которые обуславливаются, главным образом, особенностями циркуляции атмосферы, имеют, очевидно, схожую с последними устойчивую к ширине временного окна структуру изменчивости.

Автокорреляции при одношаговом упреждении (или автокорреляции смежных лет) указывают на вероятность смены знака аномалии в двух последующих годах. Если корреляция положительная, то вероятность сохранения знака аномалии выше, и наоборот. Эти характеристики, очевидно, практически не меняются при изменении ширины окна. В случае температуры воздуха это строго положительные значения для первой половины ряда, строго отрицательные в течение почти всей второй половины, и смена на положительные значения в конце ряда. В случае

осадков это отрицательные значения на протяжении почти всей длины ряда. Таким образом, если режим температурной изменчивости меняется со временем (вероятность появления относительно теплых и относительно холодных лет насколько можно судить, периодически меняется), то режим изменчивости осадков почти постоянен (за относительно более влажным годом с большей вероятностью последует более сухой, чем повторится относительно более влажный).

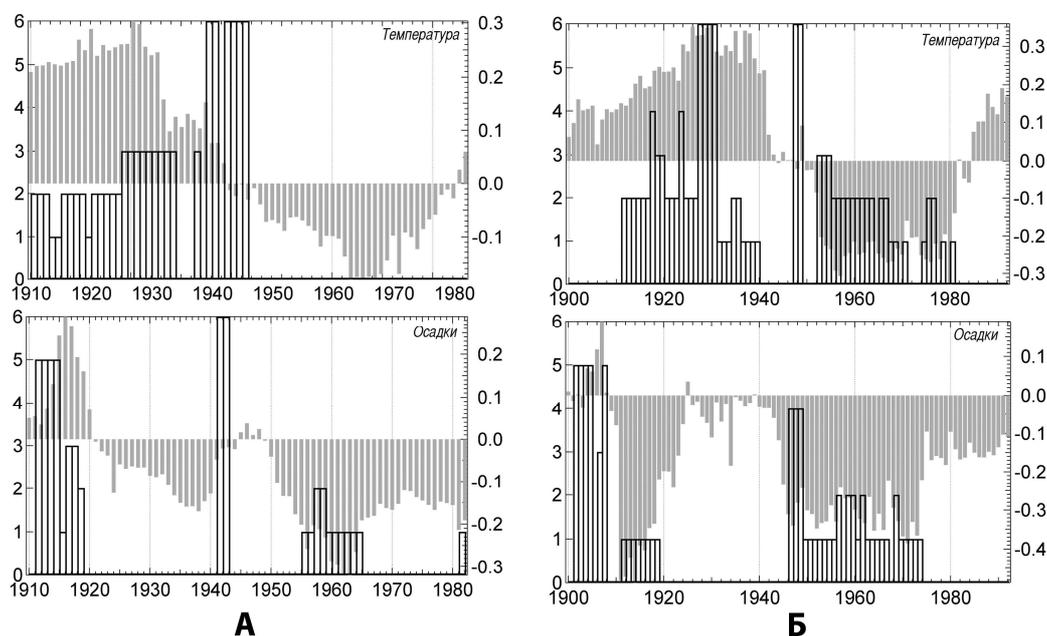


Рисунок 6 – Порядки оптимальных моделей авторегрессии (черный цвет, левые оси) и автокорреляции смежных лет (серый цвет, правые оси) приземной температуры воздуха (вверху) и годового количества осадков (внизу) на станции Сочи для скользящих временных отрезков длиной 30 лет (А) и 50 лет (Б). Значения на графике соответствуют году середины интервала. Горизонтальная ось – время (годы).

5. Связь колебаний температуры и осадков в Черноморском регионе с глобальными тенденциями изменений климата

Идентификация и интерпретация текущих изменений климатических характеристик в относительно небольшом регионе, а тем более прогноз таких изменений (хотя бы и качественный) требует значительных усилий и, что более важно, наличия как можно большего количества данных наблюдений, которые позволили бы отделить влияние местных факторов, определяющих режим климатической изменчивости от факторов глобальных, а также отделить естественную составляющую изменчивости от долговременных тенденций, обусловленных общей направленностью изменения климата планеты.

Современные климатические изменения и сценарии этих изменений в будущем разработаны в отчетах Межправительственной комиссии по климатическим изменениям (МГЭИК). Сопоставление выводов отчетов МГЭИК 2001 г. [7] и 2007 г. [8] свидетельствует о том, что оценки экспертов ИРСС сместились в сторону признания большего влияния хозяйственной деятельности на климат Земли. Это влияние, по их мнению, связано прежде всего с растущей эмиссией парниковых газов. Эксперты с большей уверенностью говорят о том, что современное глобальное потепление является следствием экономической деятельности, нежели следствием естественных причин. Согласно [8] повышение средней приземной температуры и уровня моря будет продолжаться в течение столетий даже в случае стабилизации эмиссии парниковых газов. К 2100 г прогнозируется повышение среднегодовой приземной глобально-осредненной температуры воздуха на 1.8-4 °С в зависимости от сценария эмиссии. Таким образом, согласно выводам экспертов МГЭИК, человечеству предстоит жить в «тепеющем» окружении и столкнуться в будущем с серьезными трудностями, обусловленными глобальными

изменениями в окружающей среде. Изменения климата неизбежно будут причиной масштабных изменений в экосистемах планеты, а также приведут к необходимости перестраивать экономику многих стран, приспособив ее к новым природным условиям.

Хотя механизмы, управляющие вариациями климата до сих пор недостаточно изучены, а выводы относительно глобального потепления, сделанные на основе численных экспериментов с математическими моделями, могут быть подвергнуты критике, рост концентрации двуокиси углерода в атмосфере бесспорен. Сегодня она превышает максимальный уровень, зафиксированный в антарктических ледовых ядрах, во всяком случае в течение последних 420 тыс. лет [8].

На региональном уровне достаточно сложным представляется отделить длительные тренды от междугодичной или декадной изменчивости не в последнюю очередь из-за ограниченности рядов инструментальных наблюдений. Вполне вероятно, что оценки изменений на ближайшие 10-20 лет имеет смысл делать, исходя из анализа естественной изменчивости температуры, атмосферной циркуляции и осадков, нежели из проекции глобальных трендов на ограниченный регион.

Режим тепла и осадков над Европой и значительной частью европейской России определяются фазой Североатлантического колебания (САК). Положительная фаза САК обуславливает усиление западного переноса и увеличение количества осадков над Центральной и Северной Европой и одновременно снижение над Южной Европой и Северной Африкой. В случае положительной фазы картина меняется на обратную. Черноморское побережье находится в зоне влияния САК, хотя картину связи регионального климата с САК можно восстановить скорее на качественном уровне. Модельные эксперименты прогнозируют усиление положительных тенденций в САК в ближайшие десятилетия [9].

Следовательно, можно ожидать, что среднегодовое количество осадков на Черноморском побережье также проявит тенденцию роста (что, как отмечалось выше, возможно уже происходит).

В более длительной перспективе последствия глобальных изменений климата в трактовке МГЭИК вероятнее всего в той или иной степени затронут Черноморское побережье России. В настоящее время представляется достаточно проблематичным оценить региональные тренды приземной температуры воздуха, в связи с тем, что потепление не является пространственно-однородным, и проявляется прежде всего в высоких широтах.

Заключение

С помощью аппарата корреляционно-спектрального анализа нами были проанализированы ряды приземной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях, расположенных на побережье Черного моря и в его ближайших окрестностях. Ряды были подвергнуты анализу как целиком, так и посегментно. Результаты анализа были оценены с точки зрения глобальных тенденций в изменении климата. Результаты анализа сводятся к следующему:

- В большей части исследованных рядов температуры воздуха и осадков нельзя выделить статистически значимые линейные тренды;
- Устойчивый рост (или снижение) температуры и осадков на некоторых станциях, хотя и не является значимым в статистическом смысле, однако, свидетельствует о соответствующих долговременных тенденциях;
- Большинство рядов (но не их отдельных перекрывающихся сегментов) аппроксимируются моделями белого шума, при этом отдельные их

сегменты могут быть аппроксимированы АР моделями, порядок которых отличен от нулевого.

Региональные вариации климатических характеристик не обязательно следуют глобальным тенденциям. Понимание закономерностей и вероятных перспектив изменений климата Черноморского побережья играет решающую роль для выработки долговременной стратегии развития региона. Вопросы развития курортов на Черноморском побережье России требуют тщательной оценки будущих изменений в окружающей среде, обусловлены ли они глобальными тенденциями, если речь идет о сроках 50-100 лет, или естественной изменчивостью климата, если речь идет о ближайших 10-20 годах. Такого рода оценочный долгосрочный прогноз регионального климата для разработки сценариев развития региональной экономики и прежде всего туристической требует более детального анализа тенденций изменения климатических характеристик в Азово-Черноморском регионе и их связи с глобальными процессами, а также дальнейшего анализа изменчивости климатических характеристик, не связанных с глобальными изменениями.

На качественном уровне можно предположить, что в случае роста температуры воздуха в летние месяцы следует ожидать, что отдых в этот период станет менее комфортным в юго-западной части побережья из-за сочетания высокой температуры и высокой влажности. Повышение температуры в зимние месяцы приведет к повышению снеговой линии, и, следовательно, создаст значительные проблемы для развития зимнего туризма. По всей видимости, на Черноморском побережье следует ожидать последствий усиления западного переноса и связанного с ним дальнейшего увеличения количества осадков (прежде всего в зимний период, что, в какой-то степени компенсирует объем тающего снега в горах). Нельзя исключать того, что усиление зимней циклонической активности в регионе явится причиной увеличения частоты особо опасных явлений погоды.

Литература

1. Добровольский С.Г. Климатические изменения в системе «гидросфера – атмосфера». М.: ГЕОС, 2002. 232 с.
2. Привальский В.Е. Климатическая изменчивость (стохастическая изменчивость, предсказуемость, спектры). М.: Наука, 1985. 183 с.
3. Рыбак Е.А., Рыбак О.О. Авторегрессионные оценки связей полей приземной температуры воздуха и крупномасштабной циркуляции атмосферы // Метеорология и гидрология. 2002. № 4. С. 39-49.
4. Рыбак Е.А., Рыбак О.О. О спектральной структуре Североатлантического колебания // Метеорология и гидрология. 2005. №3. С. 69-77.
5. Рыбак Е.А., Рыбак О.О. Чередование режимов в изменчивости североатлантического колебания // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2009. №2. С. 60-65
6. Рыбак О.О., Рыбак Е.А. Сравнительный анализ годовых балансов массы горных ледников // Известия КБНЦ РАН. 2006. №1(15). С. 110-122.
7. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, eds. Houghton J.T. et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p.
8. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change // [Электронный ресурс] URL: <http://www.ipcc.ch>.
9. Osborn T.J. Simulating the winter North Atlantic Oscillation: the roles of internal variability and greenhouse gas forcing // Climate Dynamics. 2004. V. 22. P. 605-623.
10. Peterson T.C., Vose R. An Overview of the Global Historical Climatology Network Temperature Database // Bulletin of the American Meteorological Society. 1997. V. 78. P. 2837-2849.
11. Peterson T.C., Vose R., Schmoyer R., Razuvaev V. Global historical climatological network (GHCN) quality control of monthly temperature data // International Journal of Climatology, 1998. V. 18. P. 169-1179.

References

1. Dobrovol'skij S.G. Klimaticheskie izmenenija v sisteme «gidrosfera – atmosfera». M.: GEOS, 2002. 232 s.
2. Prival'skij V.E. Klimaticheskaja izmenchivost' (stohasticheskaja izmenchivost', predskazuemost', spektry). M.: Nauka, 1985. 183 s.
3. Rybak E.A., Rybak O.O. Avtoregressionnyye ocenki svjazej polej prizemnoj temperatury vozduha i krupnomasshtabnoj cirkuljicii atmosfery // Meteorologija i gidrologija. 2002. № 4. S. 39-49.
4. Rybak E.A., Rybak O.O. O spektral'noj strukture Severoatlanticheskogo kolebanija // Meteorologija i gidrologija. 2005. №3. S. 69-77.
5. Rybak E.A., Rybak O.O. Cheredovanie rezhimov v izmenchivosti severoatlanticheskogo kolebanija // Izvestija VUZov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. 2009. №2. С. 60-65
6. Rybak O.O., Rybak E.A. Sravnitel'nyj analiz godovyh balansov massy gornyh lednikov // Izvestija KBNC RAN. 2006. №1(15). S. 110-122.
7. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, eds. Houghton J.T. et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p.

8. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change // [Elektronnyj resurs] URL: <http://www.ipcc.ch>.

9. Osborn T.J. Simulating the winter North Atlantic Oscillation: the roles of internal variability and greenhouse gas forcing // *Climate Dynamics*. 2004. V. 22. P. 605-623.

10. Peterson T.C., Vose R. An Overview of the Global Historical Climatology Network Temperature Database // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1997. V. 78. P. 2837-2849.

11. Peterson T.C., Vose R., Schmoyer R., Razuvaev V. Global historical climatological network (GHCN) quality control of monthly temperature data // *International Journal of Climatology*, 1998. V. 18. P. 169-1179.