

ВЛИЯНИЕ СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ, ЭЛЬ-НИНЬО-ЮЖНОГО КОЛЕБАНИЯ И ИНДООКЕАНСКОГО ДИПОЛЯ НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ СРЕДИЗЕМНОМОРСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Получена количественная оценка степени влияния трех крупномасштабных явлений в системе океан-атмосфера межгодового масштаба: Североатлантического колебания (САК), Эль-Ниньо - Южного колебания (ЭНЮК) и Индоокеанского диполя (ИОД) на пространственно-временную изменчивость приземной температуры воздуха (ПТВ) и приземного давления (ПД) Средиземноморско-Черноморского региона. Подтверждено, что в осенне-зимний период пространственно-временная структура первых двух эмпирических мод ПТВ и ПД находится под влиянием САК. ЮК максимально проявляет себя в структуре второй моды ЭОФ поля ПТВ в июле-августе и ноябре-декабре. Совместное влияние всех трех осцилляций максимально проявляется в январе-феврале. В эти месяцы САК, ЮК и ИОД вносят почти 60% в общую дисперсию поля температуры и более 40% в общую дисперсию поля давления.

Ключевые слова: САК, ЭНЮК, ИОД, изменчивость, температура воздуха, давление, регион.

Введение. Североатлантическое колебание (САК), Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК) и Индоокеанский диполь (ИОД) - одни из основных естественных источников климатической изменчивости в системе океан-атмосфера межгодового масштаба, оказывающие существенное влияние и на Средиземноморско-Черноморский регион.

Северо-Атлантическое колебание представляет собой квазисинхронное увеличение (уменьшение) атмосферного давления в Азорском максимуме (Исландском минимуме), как часть крупномасштабной перестройки основных термодинамических полей в атмосфере и океане в Северной Атлантике и прилегающих материковых районах [1]. Градиент давления между Азорским максимумом и Исландским минимумом определяет интенсивность западного переноса в средних широтах, и соответственно, характеризует вынос на Европу относительно теплого и влажного воздуха из Северной Атлантики. В ряде работ [2,3] показано, что во время положительной фазы САК, траектории атлантических циклонов проходят преимущественно над большей частью Северной Европы, обеспечивая там большое количество осадков, повышение влажности и температуры. При этом над Южной Европой и в Средиземноморском регионе преобладают положительные аномалии давления, пониженная влажность и температура воздуха. В период отрицательной фазы колебания наблюдаются противоположные условия, т.е., уже над Южной Европой и в Средиземноморском регионе формируются циклонические условия.

Мерой колебания является индекс САК, который представляет собой нормированную разность аномалий атмосферного давления над Азорскими островами и над Исландией. Увеличение индекса в положительную фазу САК указывает на преимущественно зональный тип атмосферной циркуляции над средними широтами Северного Полушария. Изменение интенсивности зональной циркуляции над Северной Атлантикой и смещение центров действия атмосферы приводят к существенному изменению климатических условий над Средиземноморско-Черноморским регионом, главным образом, за счет описанного выше смещения траекторий циклонов, а также изменения их интенсивности [4]. Типичная периодичность САК – 6-8 лет.

Эль-Ниньо - Южное колебание - наиболее значимый сигнал в системе океан-атмосфера на масштабах от 2 до 6 лет [5]. Результаты анализа аномальных условий над Европой в периоды ЭН, выполненных с помощью архивных гидрометеорологических

данных, показали, что зимой Северного полушария в период развития ЭН приземное давление уменьшается над Южной, Центральной Европой и прилегающими районами Северной Атлантики и увеличивается над Северной Европой, Исландией и Гренландией [6]. В результате, над Европой происходит ослабление зональной циркуляции, что приводит к возникновению аномально холодных зим, особенно выраженных над ее северной частью. Вместе с этим, преобладающее направление перемещения североатлантических циклонов приходится на Центральную часть Европы, что приводит к положительным аномалиям осадков над большей ее частью. Это проявление характерно для ~60% событий ЭНЮК.

В работах [7,8] авторы обращают внимание на увеличение предсказуемости европейских погодных условий в годы интенсивных ЭН, а в [9] отмечено, что аномалии гидрометеорологических полей над Европейским регионом растут в годы ЭН. Тем не менее, надежные статистические связи между изменчивостью температуры в Европейско-Средиземноморском регионе и тихоокеанскими событиями ЭНЮК недостаточно изучены. Отсутствует общее представление об их региональных гидрометеорологических проявлениях в Средиземноморском регионе. В связи с этим в данной работе им уделяется достаточно большое внимание.

Индоокеанский диполь представляет собой одну из основных мод, характеризующих межгодовую изменчивость крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в экваториально-тропической зоне Мирового океана [10]. Это явление в период одной из двух экстремальных фаз характеризуется аномальным охлаждением температур поверхности в юго-восточной части экваториальной зоны Индийского океана и нагревом этого поля в западной ее части [11]. Область глубокой атмосферной конвекции, которая располагалась до этого (в период другой экстремальной фазы ИОД) над восточной частью Индийского океана, перемещается на запад, вызывая при этом увеличение количества осадков над восточной частью Африки, а также засуху и лесные пожары в Индонезийском регионе. Вместе с тем Индийский океан является одним из основных источников, снабжающих теплом южную часть Атлантического океана. В связи с этим, процессы перераспределения тепла внутри экваториально-тропической зоны Индийского океана представляют не только региональный интерес.

ИОД – это не до конца изученная пространственно-временная структура в системе океан-атмосфера. Одни авторы считают, что Индоокеанский диполь представляет собой независимую моду экваториально-тропической системы [12]. В ряде других работ это явление описывается как часть сложной системы (ЭНЮК-ИОД), связанной главным образом, через Индоокеанскую и Тихоокеанскую ячейки Уокера [13,14]. Именно поэтому исследованию ИОД уделяется в последние годы значительное внимание.

Что касается влияния ИОД на климат Европы, то оно вообще практически не изучено. Известно, что область повышенной конвекции над Северной Африкой, сопровождаемая сильными восточными ветрами, которые возникают в тропической части Индийского океана, может захватывать также и южную часть исследуемого в данной работе Средиземноморско-Черноморский региона (рис.1). В связи с этим можно ожидать, что ИОД влияет не только на климатическую изменчивость экваториально-тропического региона, но и может вносить некоторый вклад в изменчивость климатических характеристик Средиземноморско-Черноморском регионе.

Таким образом, в предлагаемой работе будет рассмотрено комплексное влияние САК/ЮК/ИОД на пространственно-временную изменчивость приземной температуры воздуха и атмосферного давления Средиземноморско-Черноморского региона во все сезоны года. Наличие современных данных ре-анализа с высоким пространственным разрешением дает возможность еще раз вернуться к рассмотрению региональных проявлений этих глобальных явлений в системе океан-атмосфера.

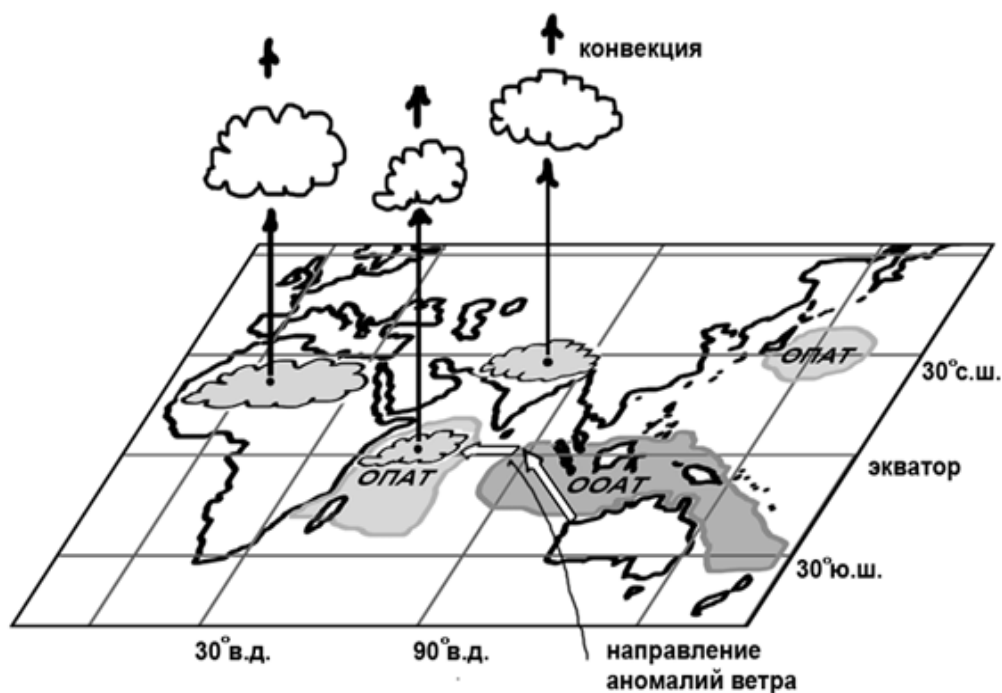


Рис. 1 – Схема аномалий температуры поверхности океана и облачности в течение положительной фазы ИОД. ОПАТ – область положительных аномалий температуры. ООАТ – область отрицательных аномалий температуры [10].

Характеристика использованного материала. Методика обработки. В настоящей работе использовались результаты японского ре-анализа JRA за 1979-2006 гг. по приземной температуре воздуха (ПТВ) и приземному давлению (ПД) с месячным разрешением в узлах регулярной сетки 1.25° на 1.25° .

Исследовалась область, ограниченная координатами $30 - 55^\circ$ с.ш. и $10 - 45.5^\circ$ в.д., которую в дальнейшем мы будем называть Средиземноморско-Черноморским регионом. Фактически, эта область не охватывает часть западного Средиземноморья, но зато в нее включены площади водосборов рек, определяющих водный баланс Черного моря, восточного и центрального Средиземноморья, или, по крайней мере, влияющих на этот баланс.

Для анализа пространственно-временной изменчивости полей ПТВ и ПД использовался традиционный метод ЭОФ. С помощью этого метода были получены первые 4 пространственные эмпирические моды ПТВ и ПД, вносящие максимальный вклад в дисперсию и соответствующий каждой моде временной коэффициент. Кроме этого, по первичным данным рассчитывались следующие характеристики:

- распределение средней ПТВ и ПД для парных месяцев;
- поле трендов ПТВ и ПД в рассматриваемом регионе.

Индексы САК и ЮК определялись как нормированная разность приземного давления между станциями на Азорских островах и станциями в Исландии и между станциями о.Таити и п. Дарвин. Индекс ИОД - нормированная разность аномалий температуры поверхности океана между западной ($50 - 70^\circ$ в.д., 10° ю.ш. – 10° с.ш.) и восточной ($90 - 110^\circ$ в.д., $0 - 10^\circ$ ю.ш.) частями экваториальной зоны Индийского океана.

Для более точной оценки влияния САК/ЮК/ИОД на климатическую изменчивость исследуемого региона анализировались характеристики значимых спектральных пиков временных коэффициентов эмпирических мод полей ПТВ и ПД для парных месяцев. Сравнение этих характеристик и типичных периодов индексов САК/ЮК/ИОД по-

зволило с большей вероятностью выделить влияние указанных колебаний на каждую эмпирическую моду.

Средние индексы САК, ЮК, ИОД и коэффициенты разложения на ЭОФ подвергались взаимному статистическому анализу, в ходе которого рассчитывались коэффициенты корреляции между ними. Коэффициенты корреляции между индексами САК, ЮК и ИОД использовались для оценки совместного влияния осцилляций на климатическую изменчивость исследуемого региона и для более надежной идентификации относительного вклада каждого процесса в формировании общей изменчивости исследуемых полей.

Результаты и их обсуждение.

Общая характеристика анализируемых полей и ЭОФ. В табл.1 представлено распределение процентного вклада первых четырех эмпирически мод поля ПТВ (а) и поля ПД (б) в их общую дисперсию за период 1979-2006г. Если просуммировать величину вклада каждой моды поля ПТВ для соответствующей пары месяцев, становится ясно, что с ноября по апрель первые четыре моды ответственны за более чем 90% дисперсии суммарной пространственно-временной изменчивости. С мая по октябрь это значение снижается в среднем до 80%. Максимум дисперсии, приходящейся на первые 4 моды (почти 95%), наблюдается в январе-феврале. В поле ПД величина суммарного вклада первых четырех мод превышает 90% во все месяцы, кроме июля-августа, когда эта величина равна 88%. Значения процентных вкладов из табл. 1 впоследствии использовались для количественного анализа влияния глобальных осцилляций на климатическую изменчивость в Средиземноморско-Черноморском регионе.

Таблица 1 – Распределение процентного вклада первых четырех эмпирических мод поля ПТВ (а) и ПД (б) в их общую дисперсию

а)

Месяцы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
1 мода	67,7	70	40	32,3	44,7	51,2
2 мода	14,6	13,7	26,9	27,5	20,1	23
3 мода	9,1	6,5	11,4	14,8	15	11,6
4 мода	2,5	1,9	5,8	6,3	4,7	4,7

б)

Месяцы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
1 мода	59,5	53,0	68,3	46,4	58,9	48,5
2 мода	29,1	28,7	13,8	21,7	23,7	33,9
3 мода	7,6	11,2	7,6	13,4	6,1	8,2
4 мода	1,8	2,7	4,5	6,5	3,9	4,3

Для каждого временного ряда за парные месяцы были выделены линейные тренды ПТВ и ПД. Результаты показывают, что летом тренды ПТВ достигают максимальных значений. Причем, на большей части рассматриваемого региона тренды значимы (рис.2). Это противоречит результатам оценки трендов по данным за 1950 – 2001 гг., полученным в работе [15] и показывающим, что тренды ПТВ здесь незначимы (хотя они и положительны почти во всей области). Такое несоответствие свидетельствует о наличии значительной межгодовой и декадной изменчивости ПТВ (в первую очередь, естественного происхождения), затрудняющей выделение и интерпретацию трендов.

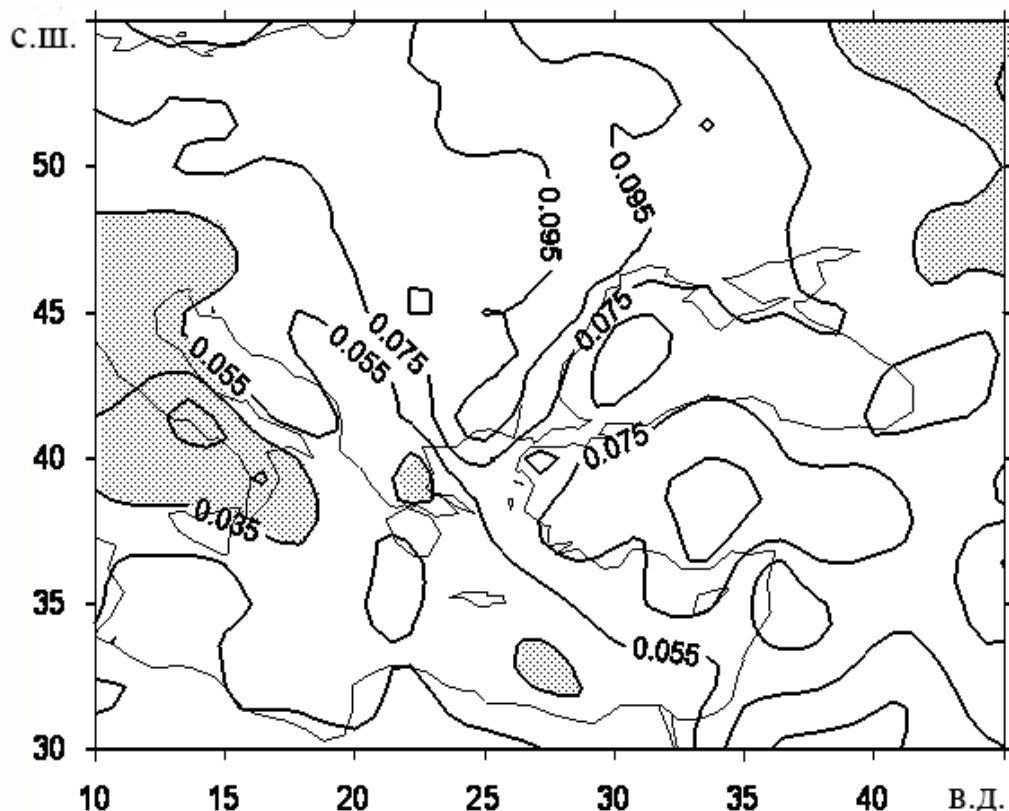


Рис. 2 – Распределение линейного тренда поля ПТВ (град/10 лет) исходного ряда данных для июля-августа за 1979-2006 гг. Области с незначимыми (на 95%-ном уровне) трендами затемнены.

Так как процедура удаления трендов из рядов температуры и давления позволяет более надежно выделить короткопериодные компоненты климатической изменчивости, а четвертая мода вносит незначительный процентный вклад (табл.1), то впоследствии мы будем использовать и анализировать только первые три детрендрованные моды.

Влияние САК на климатическую изменчивость Средиземноморско-Черноморского региона. Для оценки влияния САК на климатическую изменчивость Средиземноморско-Черноморского региона обратимся к табл.2 и рис.3.

Таблица 2 – Распределение коэффициентов корреляций между первыми тремя эмпирическими модами поля ПТВ (а) и ПД (б) и средним индексом САК для парных месяцев за 1979-2006 гг. Знаком (*) отмечены коэффициенты корреляции, значимые на доверительном уровне 95%

а)

Месяцы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1 мода	-0.85*	0.19	0.22	-0.04	-0.07	-0.06
2 мода	-0.24	0.17	0.27	-0.16	0.61*	-0.50*
3 мода	0.04	0.17	0.02	-0.20	0.18	-0.18

б)

Месяцы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1 мода	0.72*	-0.08	-0.62*	-0.41*	-0.44*	0.47*
2 мода	-0.24	0.47*	-0.19	0.31	0.10	0.25
3 мода	-0.43*	-0.35*	0.08	0.03	0.22	-0.43*

Из табл. 2а видно, что САК значительно влияет на первую моду ПТВ в январе-феврале и на вторую моду в сентябре-декабре. Коэффициент синхронной корреляции между первой модой за январь-февраль и индексом САК достигает -0.85. С сентября по декабрь САК максимально проявляется в структуре второй моды. Коэффициент корреляции между индексом САК и временным коэффициентом второй моды ПТВ достигает в сентябре-октябре 0.61. Из этого следует, что Североатлантическое колебание обуславливает до 72% и 37% дисперсии первой и второй эмпирической моды ЭОФ поля ПТВ над рассматриваемым регионом в указанные периоды.

Коэффициент корреляции между первой временной модой давления и индексом САК также максимален в январе-феврале, когда он достигает величины 0.72. Однако, в отличие от корреляции индекса САК с временной изменчивостью ПТВ, в мае-июне этот коэффициент также значим и равен -0,62. К июлю-августу и сентябрю-октябрю корреляционные связи этого типа ослабевают. Величина коэффициентов корреляции принимает значение -0.41 и -0.44 соответственно. В ноябре-декабре она близка к ним, при этом меняет знак с «минуса» на «плюс» (табл. 2б). Следует заметить, что если в структуре третьей моды ПТВ влияния САК не отмечено, то в поле ПД значение коэффициента корреляции значимо в период с ноября по апрель и достигает величины -0.43.

Можно сделать вывод, что в Средиземноморско-Черноморском регионе значимое влияние САК на температуру воздуха обнаруживается в осенне-зимний период года. В другие периоды его влияние на температуру воздуха в регионе незначительно. В поле давления САК проявляет себя во все периоды года, в основном в структуре первой моды, но его максимальное влияние, так же, как и в поле приземной температуры воздуха

прослеживается в осенне-зимний период. Результаты, полученные в настоящей работе, и опубликованные в работе [2] хорошо согласуются между собой, несмотря на использование данных разных ре-анализов и за разные периоды. Это подтверждает устойчивость статистических связей, связывающих САК и региональные изменения гидрометеорологических характеристик, на что было также обращено внимание в работе [15].

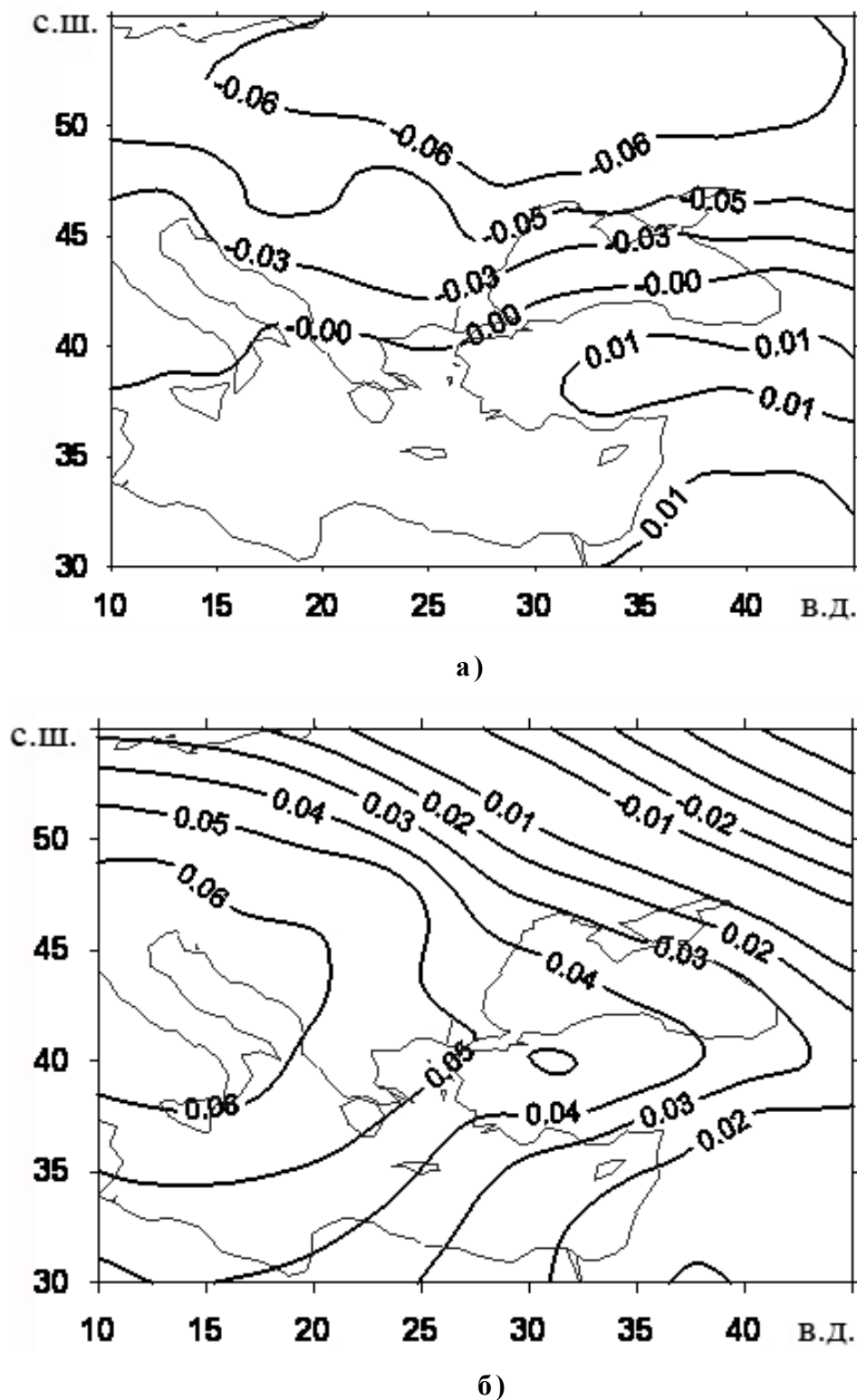


Рис. 3 – Пространственная структура первой моды ЭОФ поля ПТВ (а) и ПД (б) за январь-февраль 1979-2006 гг.

Пространственное распределение первой ЭОФ для зимнего поля ПТВ демонстрирует типичную для этого региона квазизональную структуру. Из рис.3а и табл.2а видно, что в северной части Средиземноморско-Черноморского региона в течение января-февраля в положительную фазу САК, при отрицательной корреляции между индексом САК первой модой ЭОФ поля ПТВ возникают положительные аномалии температуры. В области, ограниченной координатами 30-40°с.ш. – эти аномалии принимают отрицательное значение. Причем, амплитуды вариаций температуры на севере по абсолютной величине больше, чем на юге.

Для оценки влияния САК на структуру первой моды поля ПД января-февраля проанализируем рис.3б и табл.2б. Можно заметить, что практически над всем Средиземноморско-Черноморским регионом, кроме его северо-западной части под воздействием САК (в положительную фазу осцилляции) происходит образование положительных аномалий давления. Максимум этих аномалий формируется над Италией. Структура поля ПД демонстрирует наличие в западной части исследуемого региона области повышенной циклонической активности, что подтверждает выводы работы [4], в которой влияние САК на климатическую изменчивость Средиземноморско-Черноморского региона связывается со смещением шторм-треков над этим регионом и изменением интенсивности последних.

Результаты спектрального анализа временных коэффициентов первых трех ЭОФ поля ПТВ и ПД, также подтверждают наличие значимого влияния САК. Действительно, в спектре первой эмпирической моды ЭОФ в январе-феврале в полях ПТВ и ПД и второй моды ЭОФ в ноябре-декабре (для поля ПТВ) обнаружены значимые пики на периоде 8 лет (табл.3), который соответствует типичному периоду САК.

Таблица 3 – Распределение пиков в спектрах (годы) первых трех мод ПТВ для парных месяцев за период 1979-2006 гг.

а)

Месяцы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1 мода	8;2.7	6,2;3	3,3;8	7,7;3	5,4;2,5	3,5
2 мода	9;2.6	5,4;2,4	8;3.6	5,8;3	6,0	8;2,5
3 мода	4,3	4;2	4,8;2.4	5,4;2,5	5,8	3;

б)

Месяцы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1 мода	8;4,4	5,8;3,3	3,3	6,3	6,5;	8,6
2 мода	4;	3,7	4,1	6,7;2,9	6,2;3	6;3
3 мода	6;	3,4	6,2;3	6;	8,3;3,2	6;3,4

Можно сделать следующий вывод: влияние САК на изменчивость температуры в исследуемом регионе значимо проявляется в осенне-зимний период. Причем максимум этого влияния отмечается в области между 50 и 55°с.ш. В поле давления максимальное влияние этого колебания проявляется на западе исследуемого региона. В этой области в положительную фазу САК формируются положительные аномалии ПД.

Влияние ЭНЮК на климатическую изменчивость Средиземноморско-Черноморского региона. Что касается Эль-Ниньо-Южного колебания, то для описания его влияния на поле ПТВ обратимся к Таблице 4а, из которой видно, что ЮК значимо влияет как на первую, так и вторую эмпирическую моду ЭОФ. Максимальные величины коэффициентов корреляции приходятся на май-июнь для первой моды и июль-август для второй моды, когда они достигают величин 0.40 и 0.47 соответственно. Отсюда следует, что ЮК может обуславливать до 16% и 22% дисперсии этих мод.

В поле ПД влияние ЮК проявляется в структуре первой моды ЭОФ в мае-августе и ноябре-декабре, а также с января по апрель в структуре второй моды. Наиболее значимые коэффициенты корреляции составляют -0.35 (май-июнь) и -0.39 (март-апрель). Из этого следует, что Южное колебание вносит 12% и 15% дисперсии первой и второй эмпирической моды ЭОФ поля ПД над рассматриваемым регионом.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что ЮК значительней проявляет себя в поле ПТВ, чем в поле ПД. Это влияние максимально весной и осенью, что свидетельствует об изменении поля ПТВ и ПД над Средиземноморско-Черноморским регионом в периоды максимального развития ЭНЮК.

Спектральный анализ показывает, что основные периоды флуктуаций анализируемых временных мод соответствуют типичному периоду индекса ЮК (4,3 года), что косвенно подтверждает наличие связи между ними.

Таблица 4 – Распределение коэффициентов корреляций между первыми тремя модами поля ПТВ (а) и ПД (б) и средним индексом ЮК для парных месяцев за 1979-2006 гг. Знаком (*) отмечены коэффициенты корреляции, значимые на доверительном уровне 95%, а (**) значимые на доверительном уровне 90% уровне

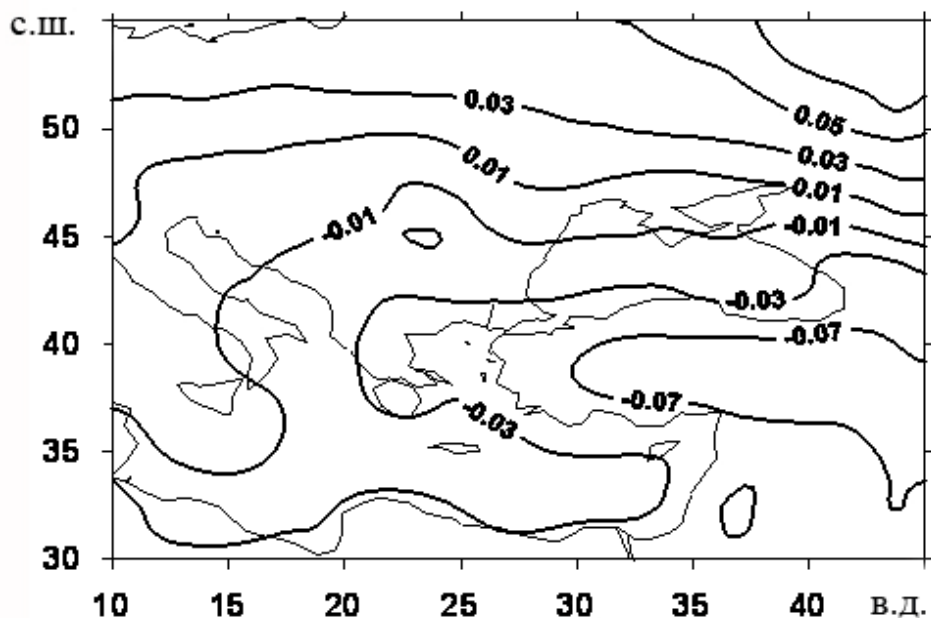
а)

Месяцы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1 мода	0,26**	0,30*	0,40*	0,29**	0,07	0,13
2 мода	0,26**	-0,24**	-0,16	0,47*	0,37*	0,46*
3 мода	0,25**	-0,12	0,12	0,04	-0,23	0,11

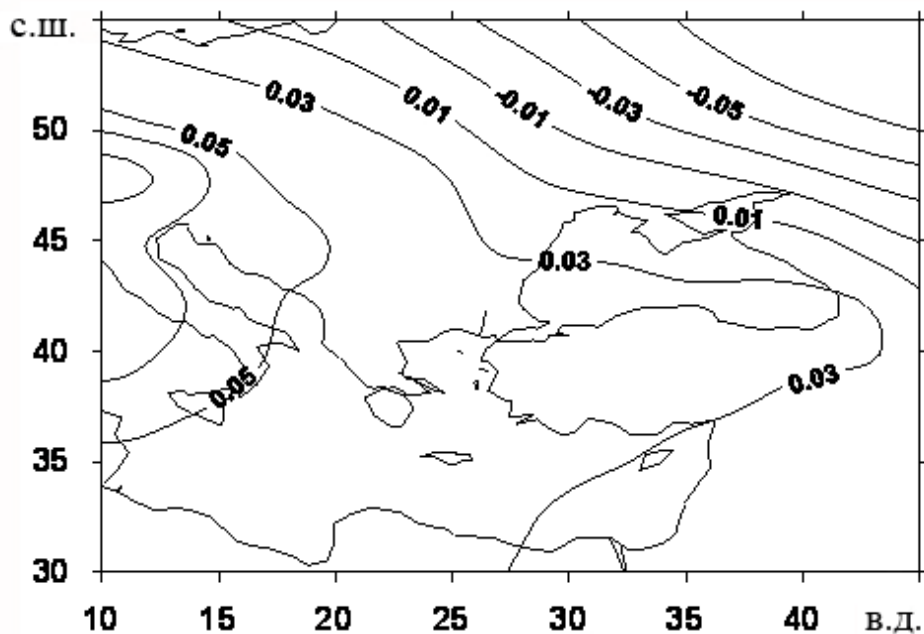
б)

Месяцы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1 мода	-0.24**	-0.04	-0.35*	0.32**	-0.02	-0.28**
2 мода	0.31**	-0.39*	0.05	0.12	0.02	0.02
3 мода	-0.06	-0.14	0.28**	-0.01	-0.03	-0.07

На рис.4 продемонстрирована пространственная структура второй эмпирической моды ЭОФ за март-апрель 1979 – 2006гг. Эти месяцы анализировались в связи с тем, что значения коэффициентов корреляции между индексом ЮК и второй временной модой значимы в этот период как для поля ПТВ, так и для поля ПД. К тому же, величина основного периода флюктуаций этой моды соответствует периоду ЮК.



а)



б)

Рис. 4 – Пространственная структура второй моды ЭОФ поля ПТВ (а) и ПД(б) за март-апрель 1979-2006 гг.

Рис. 4а и табл.4а демонстрируют наличие положительных аномалий температуры в период развития положительной фазы ЮК в области с координатами 10 – 45°с.ш.

15 – 45°в.д. с максимумами над юго-восточной частью исследуемого региона. В регионе севернее 45°с.ш. видны отрицательные аномалий, растущие по амплитуде в северо-восточном направлении.

Влияния ЮК на поле ПД продемонстрировано на рис.4б и в табл.4б. Видно, что под влиянием ЮК (в течение его положительной фазы) в области с координатами 30 – 50°с.ш. 10 – 45°в.д. происходит формирование отрицательных аномалий давления. На северо-западе напротив, возникают аномалии положительного знака.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что ЮК значимо проявляет себя весной и осенью в структуре, как первой, так и второй моды ЭОФ полей ПТВ и ПД. Причем максимум этого влияния приходится на вторую моду ЭОФ поля температуры, особенно в июле-августе и ноябре-декабре. В эти месяцы коэффициент корреляции принимает значение 0.46 – 0.47. и может быть непосредственно связан с влиянием событий весеннего и осеннего ЭН.

Влияние ИОД на климатическую изменчивость Средиземноморско-Черноморского региона. Для описания влияния ИОД на климатическую изменчивость исследуемой в работе области обратимся к результатам, представленным в табл.5 и на рис.5.

Из табл.5 видно, что ИОД влияет на первые три эмпирические моды поля ЭОФ в июле-августе как в поле ПТВ, так и в поле ПД, с максимальными значениями коэффициентов корреляции -0,30 (первая мода ПТВ) и -0,49 (третья мода ПД). Исходя из данных таблицы 5 и результатов спектрального анализа (табл.3), можно заключить, что влияние ИОД проявляется в структуре эмпирических мод давления и температуры с весны максимального развития ИОД [10]. Следует заметить, что полученные в данной работе результаты можно считать абсолютно новыми, так как влияние ИОД ранее подробно описывалась только для экваториально-тропического региона.

Рис.5а и табл.5а демонстрирует нам, что в Средиземноморско-Черноморском регионе в июле-августе в положительную фазу ИОД в западной части Средиземноморско-Черноморского региона примерно до 25°в.д. формируются отрицательные аномалии ПТВ, с 25°в.д. по 45°в.д. возникают положительные аномалии температуры.

Таблица 5 – Распределение коэффициентов корреляций между первыми тремя модами поля ПТВ (а) и ПД (б) и средним индексом ИОД для парных месяцев за 1979-2006 гг. Знаком (*) отмечены коэффициенты корреляции, значимые на доверительном уровне 95%, а (**) значимые на доверительном уровне 90% уровне

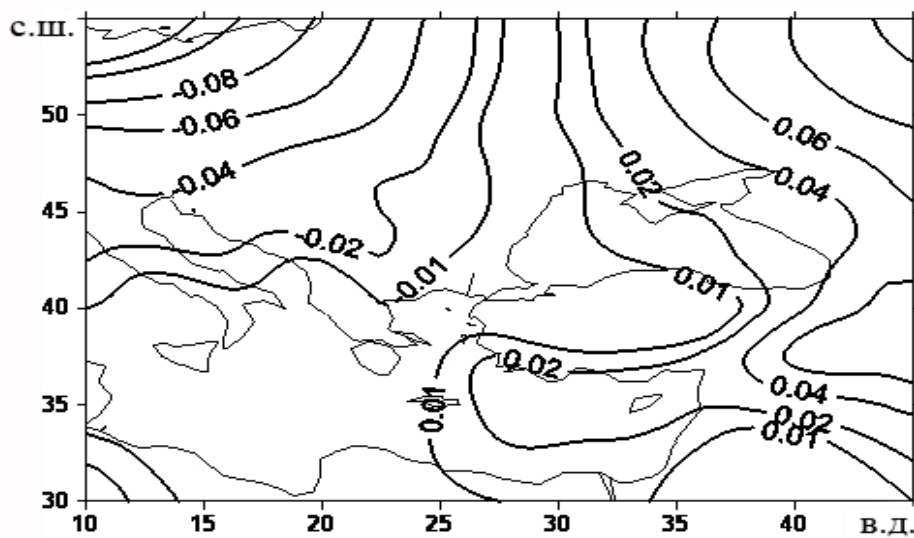
а)

Месяцы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1 мода	-0,15	0,20	-0,09	-0,30*	-0,19	-0,15
2 мода	0,18	-0,23**	0,21**	-0,22**	-0,11	-0,36*
3 мода	-0,21**	0,22**	-0,25*	0,20**	0,16	-0,06

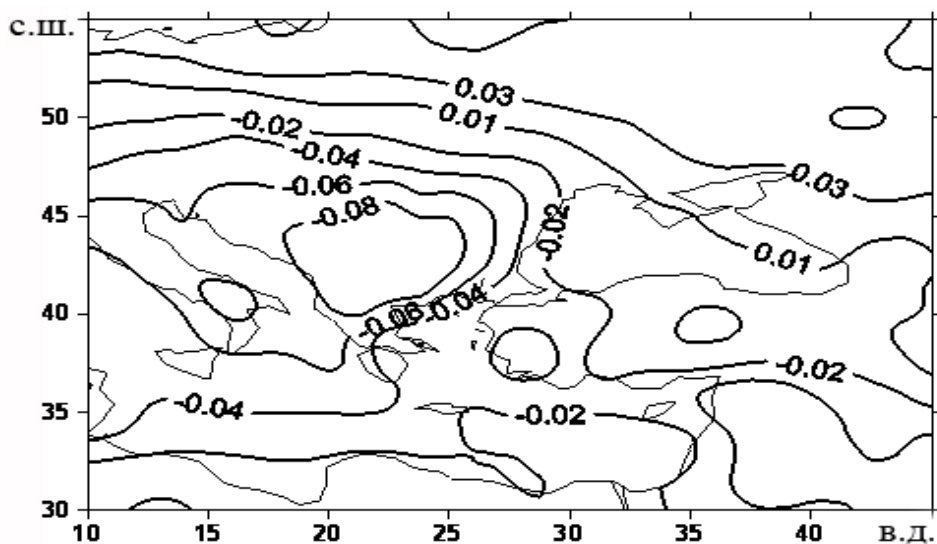
Продолжение таблицы 5

б)

Месяцы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1 мода	0,04	0,06	-0,02	0,18	-0,22**	-0,13
2 мода	-0,04	0,02	-0,30*	-0,24**	0,18	0,19
3 мода	-0,09	0,03	-0,24**	-0,49*	0,09	-0,14



а)



б)

Рис. 5. – Пространственная структура третьей моды ЭОФ поля ПТВ (а) и поля ПД (б) за июль-август 1979-2006 гг.

В поле приземного давления положительная фаза ИОД способствует росту положительных аномалий давления над Средиземноморско-Черноморским регионом. Максимум этих аномалий приходится на южную часть Восточной Европы (рис. 5б). На северо-востоке исследуемого региона в положительную фазу ИОД формируются отрицательные аномалии давления.

Следует отметить, что структура третьей моды поля ПД демонстрирует наличие зоны антициклонической активности с центром в области с координатами 40–45°с.ш. 18–24°в.д. Можно предположить, что такая структура поля давления является следствием влияния Азорского антициклона, который представляет собой устойчивую область высокого давления, располагающуюся в субтропических и тропических широтах Атлантического океана с центром вблизи Азорских островов. Воздействие Азорского антициклона на погоду в Европе в летние месяцы проявляется в форме отдельных тёплых антициклонов, которые при своём перемещении к востоку обуславливают периоды сухой и тёплой погоды в Южной Европе. Причем, как следует из предыдущего анализа, эффективность этого воздействия существенным образом зависит от фазы ИОД.

Результаты сравнения спектров временных коэффициентов основных ЭОФ поля ПТВ подтверждают влияние ИОД на ПТВ исследуемого региона. В спектрах ПТВ первой и второй моды ЭОФ для мая-июня и июля-августа обнаруживаются значимые пики на периоде 3,5 года (табл.3). Этот период соответствует основному периоду ИОД [10].

В связи с удаленностью Индоокеанского региона от исследуемой области, можно предположить, что один из наиболее вероятных механизмов влияния ИОД является воздействие экваториального океана на внетропические процессы посредством распространением возмущений в виде волн Россби из зоны повышенной конвекции, возникающей в период аномального действия летнего Азиатского муссона. Вследствие этого влияния в западной части Средиземноморско-Черноморского региона возникает область повышенного давления (рис.5б), этот результат хорошо согласуется с выводами, сделанными в работе [16]. Механизм этого воздействия схематически представлен на рис.6.



Рис. 6 – Схема влияния Индийского океана на климатическую изменчивость Средиземноморско-Черноморского региона в июле-августе (по [16]).

Аналог этого влияния (для ЭН) был описан в работе [5]. Этот процесс сводится к возбуждению, а затем и распространению в атмосфере крупномасштабных возмущений в период зрелой фазы осцилляции. Исходя из этого, любая крупномасштабная осцилляция может проявляться в метеорологических полях любого региона Земного шара.

Совместное влияние САК, ЭНЮК и ИОД на климатическую изменчивость Средиземноморско-Черноморского региона. Для описания совместного влияния САК, ЮК и ИОД на климатическую изменчивость исследуемого региона необходимо, для начала, проанализировать их взаимодействие между собой, проявляющееся в коррелированности соответствующих индексов. Для этого обратимся к табл.6.

Таблица 6 – Распределение коэффициентов корреляций между индексами САК, ЮК и ИОД для парных месяцев за 1979-2006 гг. Знаком (*) отмечены коэффициенты корреляции, значимые на доверительном уровне 95%

Месяцы / Индексы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
САК/ЮК	-0,16	-0,41*	0,33*	0,20	0,42*	-0,26
ЮК/ИОД	0,12	0,00	-0,36*	-0,58*	-0,48*	-0,40*
САК/ИОД	-0,01	0,16	0,23	-0,38*	-0,08	0,20

Табл. 6 демонстрирует высокие корреляции (около 0.4) между индексами САК и ЮК, что в некоторой степени противоречит опубликованным работам, описывающим взаимодействие САК и ЮК [2]. В этих работах значение коэффициента корреляции между индексами САК и ЮК составляло в среднем 0.2 при длине анализируемых рядов порядка 100 лет. В нашей работе использовались данные за период 1979 – 2006 гг., т.е. ряды с длиной в 27 лет. Известно, что межгодовые флюктуации САК и ЮК модулированы более низкочастотными компонентами изменчивости обусловленными, в частности, Тихоокеанской декадной осцилляцией и Атлантическим мультидекадным колебанием, слабо коррелированными между собой. Это и приводит к уменьшению коэффициента корреляции между индексами САК и ЮК при возрастании длины рядов. Отметим также уменьшение статистической значимости коэффициента корреляции при использовании более коротких рядов.

Корреляционная связь между индексами ЮК и ИОД велика с мая по ноябрь. Максимальное значение коэффициента корреляции приходится на июль-август. Это, подтверждает мнение некоторых авторов, о том, что ИОД и ЮК являются связанными друг с другом частями одной пространственно-временной структуры ЮК-ИОД [13,14].

Значимая (хотя и небольшая) связь между САК и ИОД обнаружена только в июле-августе. Это свидетельствует о том, что САК и ИОД взаимодействуют между собой лишь в период максимального развития ИОД, но и в этот период корреляционная связь между ними невелика.

Из результатов представленных в табл.1,4,5 можно рассчитать вклады САК, ЮК и ИОД в изменчивость исходных рядов температуры и давления исследуемого региона. Для того чтобы оценить совместное влияние всех трех осцилляцией необходимо от суммы их вкладов отнять величину, обусловленную их совместной корреляцией. Как видно из табл.6, эта величина при корреляции 0,36-0,58, будет в среднем составлять около 20%. В июле-августе она может достигать 38%. Это значит, что в суммарном влиянии САК, ЮК и ИОД на климатическую изменчивость региона около 38% процентов изменчивости будет обусловлено их совместной корреляцией. Значения доли дисперсии, обусловленной САК, ЮК и ИОД, в суммарной дисперсии анализируемых полей за вычетом коррелированного сигнала продемонстрированы в табл.7.

Таблица 7 – Вклад (%) САК, ИОД и ЮК и их суммарный вклад (за вычетом величины, обусловленной их совместной корреляцией) в общую дисперсию исходного ряда ПТВ (а) и поля ПД (б) для парных месяцев за 1979-2006 гг.

а)

Месяцы / Индексы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
САК	49,75	3,06	3,77	1,38	8,16	6,35
ЮК	6,00	6,98	7,11	8,93	3,77	5,89
ИОД	2,50	3,85	2,24	4,77	2,18	4,24
САК/ЮК/ ИОД	58,25	12,18	10,72	9,54	10,70	16,48

б)

Месяцы / Индексы	Январь- Февраль	Март- Апрель	Май- Июнь	Июль- Август	Сентябрь- Октябрь	Ноябрь- Декабрь
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
САК	34,04	8,14	26,70	9,90	11,84	14,09
ЮК	6,27	4,75	8,98	5,16	0,04	3,92
ИОД	0,20	0,20	1,73	6,07	3,55	2,13
САК/ЮК/ ИОД	40,50	10,90	32,10	14,98	12,55	19,18

Видно, что максимальный вклад САК, ЮК и ИОД в изменчивость полей температуры и давления приходится на зимние месяцы, а именно на январь-февраль, причем основную долю этого вклада обеспечивает САК. В остальные месяцы, за исключением мая-июня и ноября-декабря (для поля ПД), суммарный вклад флюктуаций, обусловленных САК, ЮК и ИОД, в общую дисперсию полей в среднем составляет около 10–15%. Несмотря на то, что величина суммарного вклада САК, ЮК и ИОД в общую дисперсию полей ПТВ и ПД на протяжении значительной части года невелика, полученные результаты дают возможность углубить понимание того, как Атлантический, Тихий и Индийский океаны влияют на климатическую изменчивость Средиземноморско-Черноморского региона. В зимние же месяцы этот вклад превышает 40-50%, что свидетельствует о потенциальной предсказуемости аномалий ПТВ и ПД.

Выводы. В целом, для Средиземноморско-Черноморского региона получены следующие результаты:

1. Суммарный вклад первых трех эмпирических ортогональных функций поля ПТВ зимой в их общую дисперсию за 1979-2006 гг. превышает 90%, а летом снижается до 80%. В поле приземного давления эта величина зимой достигает 97%, а летом снижается до 88%.

2. В осенне-зимний период пространственно-временная структура первых двух мод ПТВ и ПД в значительной степени определяется влиянием САК. Эта осцилляция обуславливает до

72% дисперсии первой и 37% второй моды ЭОФ регионального поля ПТВ в январе-феврале. В поле ПД действие САК проявляется в структуре первой моды для тех же месяцев, причем САК определяет до 35% суммарной дисперсии ПД. Косвенно подтверждаются выводы многочисленных опубликованных работ о влиянии САК на Средиземноморско-Черноморский регион через смещение траекторий и изменения интенсивности циклонов над этим регионом.

3. ЮК значимо проявляет себя в поле ПТВ в структуре первой моды ЭОФ в период с марта по август, а также в структуре второй моды для июля-декабря. В поле ПД влияние ЮК отмечено в структуре первой моды ЭОФ в мае-августе и ноябре-декабре, а также с января по апрель в структуре второй моды. ЮК значительней проявляет себя в поле ПТВ, чем в поле ПД и обуславливает в период своего значимого влияния до 16% и 22% дисперсии первой и второй моды ЭОФ для температуры.

4. ИОД влияет на первые три эмпирические моды поля ЭОФ в июле-августе, как в поле ПТВ, так и в поле ПД, с максимальными (по абсолютной величине) значениями коэффициентов корреляции -0,30 (с первой модой ПТВ) и -0,49 (с третьей модой ПД). ИОД вносит соответственно 9% и 15% в дисперсию этих мод. Влияние ИОД на климатическую изменчивость исследуемого региона, скорее всего, сводится к возбуждению возмущений над Индийским океаном, а затем распространению их в атмосфере в период зрелой фазы осцилляции. Как показано в многочисленных работах, этот механизм эффективно реализуется при развитии термической аномалии в Тихом океане в период зрелой фазы ЭНЮК.

5. В спектрах первых трех ЭОФ выделены значимые пики квазидесятилетнего и межгодового масштабов, периоды которых схожи с типичными периодами САК, ЮК и ИОД, что косвенно подтверждает влияние последних на изменчивость региональной ПТВ и ПД.

6. Совместный вклад САК, ЮК и ИОД в изменчивость поля температуры и давления максимален в январе-феврале и описывает до 58% (для поля ПТВ) и 40% (для поля ПД) общей дисперсии, что свидетельствует о потенциальной предсказуемости аномалий ПТВ и ПД. Причем, основной вклад в формирование аномалий ПТВ и ПД вносит САК.

Список литературы

1. Walker G.T., Bliss E.W. World weather. // Meteorol. Roy. Meteorol. Soc. – 1932.– 4, № 36.– P.53 – 84.
2. Полонский А.Б., Башарин Д.В. Влияние САК и ЮК на изменение температуры в Европе // Изв. РАН, сер. Физика Атм. И Океан – 2002. – №1. – Стр.1 – 11.
3. Lau N.C., Nath M.J. Impact of ENSO on SST Variability in the North Pacific and North Atlantic Seasonal Dependence and Role of Extratropical Sea-Air Coupling. // J. of Climate. – 2001. - V.14. – №.13. – P. 2846 – 2866.
4. Glowienka-Hense, R. The North Atlantic Oscillation in the Atlantic-European SLP. // Tellus. – 1990. – 42A. – 497 – 507.
5. Bjercknes J. A Large-scale disturbance of the atmospheric circulation presumably originating from the equatorial Pacific // Динамика крупномасштабных процессов.– М.: Наука С.257 – 260.
6. Fraedrich K., Muller K. Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes // Int. J. Climatol.– 1992.–12, №1. – P.12 – 31.
7. Brankovich K., Palmer T.N. Atmospheric seasonal predictability and estimates of ensemble size // Month. Weath. Rev. – 1997.– 125, № 5 –P.359 – 374.
8. Kodera K. Consideration of the origin of the different midlatitude atmospheric responses among El-Nino events// J. Meteorol. Soc. Jap. – 1998.– 76, № 3.– P.347 – 361.
9. Полонский А.Б., Башарин Д.В., Воскресенская Е.Н. О влиянии океана на изменчивость температуры Европейского и Средиземноморского регионов // Морской Гидрофизический журнал.– 2000. – №5. – С. 44 – 58.
10. Saji, N.H., Goswami, B.N., Vinayachandran, P.N. A dipole mode in the tropical Indian Ocean., // Nature. – 1999. – 401, 360 – 363.
11. Iizuka S., Matsuura T., Yamagata E. The Indian Ocean SST dipole simulated in a general circulation model. // Geophysical Research Letters, 2000 – V.27.– P.3369 – 3372.
12. Rao S.A., Behera S.K. Subsurface influence on SST in the tropical Indian Ocean: structure and interannual variability. // Dyn. Atmos. Ocean. – 2005. – №39.– P. 103 – 135.
13. Ashok K., Guan. Z., Yamagata T. A look at the relationship between the ENSO and the Indian Ocean Dipole // J. Met. Soc. Japan. – 2003. – 81, №1. – P. 41 – 56.

14. *Behera S.K., Yamagata T.* Influence of the Indian Ocean dipole on the Southern Oscillation // *Ibid.* – 2003. – 81, №1. – P. 169 – 177.

15. *Полонский А.Б., Башарин Д.В.* Влияние климатического сдвига 1976 – гг. на крупномасштабную структуру приземных метеорологических полей Евразии. // *Метеорология и Гидрология.* – 2008. – №5 – С.16 – 30.

16. *Rodwell M.J., Hoskins B.J.* Monsoons and the dynamics of deserts. // *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* – 1996. – 122, P.1385 – 1404.

Вплив Північно-Атлантичного коливання, Ель-Ніньо – Південного коливання і Індоканського диполю на просторово-часову мінливість приземної температури повітря і атмосферного тиску Середземно-Чорноморського регіону.

Полонський О.Б., Торбинський О.В., Башарін Д.В.

Отримана кількісна оцінка ступеню впливу трьох великомасштабних явищ у системі океан-атмосфера міжродового масштабу: Північноатлантичного коливання (ПАК), Ель-Ніньо – Південного коливання (ЕНПК) і Індоканського диполю (ІОД) на просторово-часову мінливість приземної температури повітря (ПТП) і приземного тиску (ПТ) Середземно-Чорноморського регіону. Підтверджено, що в осінньо-зимовий період просторово-часова структура перших двох емпіричних мод ПТП і ПТ знаходяться під впливом ПАК. ЕНПК максимально виявляє себе у структурі другої моди ЕОФ поля ПТП у липні-серпні та листопаді-грудні. Сумісний вплив усіх трьох коливань максимально проявляється у січні-лютому. У ці місяці ПАК, ЕНПК і ІОД привносять майже 60% в загальну дисперсію поля температури і більш 40% поля тиску.

Ключові слова: ПАК, ЕНПК, ІОД, мінливість, температура повітря, тиск, регіон.

The influence of the North Atlantic Oscillation, El-Nino South Oscillation and Indian Ocean Dipole to spatial-temporal variability of air surface temperature and surface pressure in the Mediterranean-Black sea region. Polonsky A.B., Torbinsky A.V., Basharin D.V.

The quantitative estimation of the impact from three large scale interannual atmosphere-ocean circulation systems, namely the North Atlantic Oscillation (NAO), El-Nino South Oscillation (ENSO) and Indian Ocean Dipole (IOD), to spatial-temporal variability of air surface temperature (AST) and surface pressure (SP) in the Mediterranean-Black sea region has been obtained. It was confirmed that the spatial-temporal variability of the first two empirical modes of AST and SP during the autumn-winter season is affected by the NAO. The ENSO is mainly pronounced in the second AST EOF mode in July-August and November-December. The joint influence of all three oscillations is most remarkable during January-February. During those months the NAO, ENSO and IOD contribute about 60% in the total temperature dispersion and more than 40% in the total pressure dispersion.

Keywords: NAO, ENSO, IOD, variability, air temperature, pressure, region