

ВЛИЯНИЕ СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ НА АНОМАЛИИ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НАД ТЕРРИТОРИЕЙ УКРАИНЫ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД

Анализируется влияние Североатлантического колебания на аномалии приземной температуры воздуха над территорией Украины с использованием метода «композигов». Показано, что положительная фаза Североатлантического колебания определяет формирование положительных аномалий приземной температуры, особенно выраженных в северных и северо-западных районах Украины в январе и феврале. Типичная величина среднемесячных аномалий температуры – несколько градусов. Причем, большинство этих аномалий значимо на доверительном уровне 90-95%.

Ключевые слова: *Североатлантическое колебание, аномалии температуры, метод «композигов»*

Введение. Постановка задачи. Согласно современным представлениям, изменения климата Европейского региона, в частности Украины, во многом определяется влиянием циркуляционных процессов в Северной Атлантике [1,2,3]. Общая циркуляция атмосферы в Северной Атлантике характеризуется следующими основными особенностями [4,5]. Пассатные ветры располагаются между областью высокого давления в субтропических широтах (Азорским максимумом) и областью низкого давления в окрестности внутритропической зоны конвергенции (экваториальной депрессией). Разность давлений между ними характеризует интенсивность пассатных ветров. Асимметрия в распределении поверхности суши на Земном шаре приводит к тому, что субтропические области высокого давления в Северном и Южном полушариях и экваториальная депрессия располагаются несимметрично относительно экватора. В Атлантическом океане эти центры действия атмосферы смещены на несколько градусов к северу. Градиент давления между Азорским максимумом и Исландским минимумом определяет интенсивность западного переноса в средних широтах и погоду над Европейским континентом. Квазисинхронные низкочастотные колебания в Азорском максимуме и Исландском минимуме называют Североатлантическим колебанием (САК) [1,6]. В качестве количественной характеристики САК обычно используют индекс САК – нормированную разность приземного давления между одной из г/м станций на Азорских островах (чаще Понта-Делгадо) или в Лиссабоне и одной из станций в Исландии (Рейкьявик или Стиккисхоульмур) [1,7].

С Североатлантическим колебанием связывают характер преобладающей погоды в Северной Америке, Гренландии и Европе. В период, когда значения индекса САК высоки, наблюдается усиление субтропического максимума давления и углубление исландского минимума, что приводит к большим градиентам между этими центрами действия и усилению ветров, несущих с Атлантического океана тёплый и влажный воздух в Северную Европу. В тоже время на северо-востоке Канады и в Гренландии преобладает сухая и холодная погода. Причем сами центры действия смещаются в северном или северо-западном направлении. При низких значениях индекса САК интенсивность центров действия атмосферы в Северной Атлантике ослабевает, а сами центры смещаются к югу или юго-востоку. При этом интенсивность зональных ветров уменьшается, а их направление смещается в сторону Средиземноморья, где устанавливается тёплая и влажная погода. Над акваторией

Средиземного моря часто формируются интенсивные южные циклоны, которые перемещаясь в северо-восточном направлении, обуславливают более влажные и тёплые условия погоды в южных районах Украине и Крыму, в то время, как северные и восточные области страны испытывают недостаток увлажнения и аномально низкие температуры воздуха. В Северной Европе в этом случае также преобладает сухая и холодная погода (рис. 1).

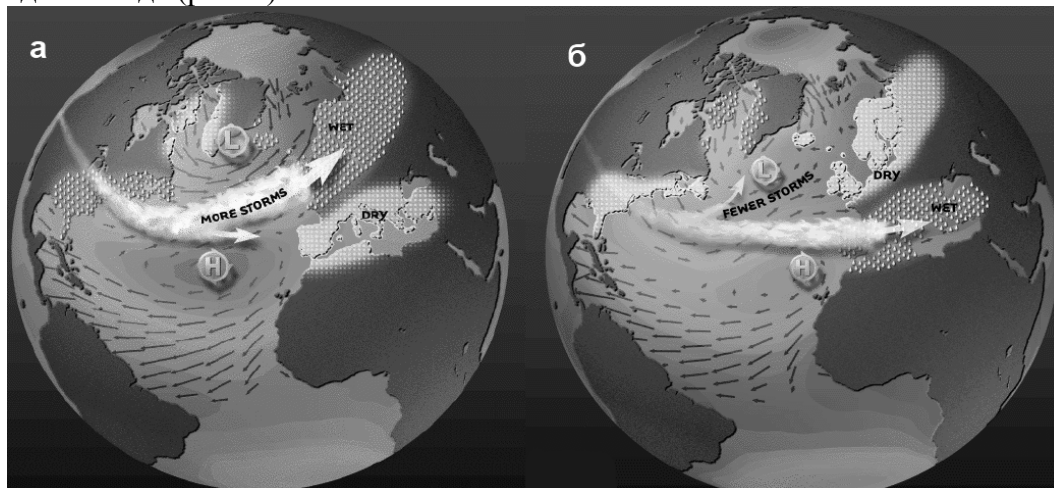


Рис. 1 – Схематическое представление атмосферных процессов при положительной (а) и отрицательной (б) фазах САК [8].

Есть основания полагать, что САК оказывает влияние не только на Северную Атлантику и прилегающие к ней Европейский и Североамериканский регионы, но, как часть глобальной циркуляционной системы, связано с межгодовой изменчивостью гидрометеорологических характеристик всего Северного полушария [1,9].

Североатлантическому колебанию посвящено большое количество работ. Первыми исследователями, описавшими это явление в 1932 году, были *Walker* и *Bliss* [5,10]. В работах [1, 2, 3, 6] показано влияние интенсификации САК на межгодовом - десятилетнем масштабе на смещение Азорского максимума на северо-восток и Исландского минимума к северу, а ослабление его – на их смещение к юго-западу и югу соответственно. Большое количество исследований посвящено влиянию САК на формирование изменчивости метеорологических величин над территорией Европы [1, 6]. Однако специальный анализ влияния САК на метеорологические процессы, происходящие на территории Украины, не проводился (если не считать работ, в которых описывалось влияние САК на Черноморско-Средиземноморский регион и обобщение которых представлено в [1]). Именно поэтому, целью настоящей работы является выделение аномалий приземной температуры над территорией Украины в различные фазы САК и последующий анализ влияния САК на термический режим в регионе. Причем анализ будет произведен для холодного периода (с декабря по март), когда влияние САК на гидрометеорологические характеристики Европейского региона максимально [3-7].

Характеристики используемого материала и методы его обработки. В работе использовались фактические значения среднемесячной температуры воздуха по 27 станциям Украины за 50-летний период (с 1951 по 2000 гг.) для зимних месяцев (с декабря по февраль). Информация была взята на сайте Национального центра климатических данных (NCDC, USA) [11]. В дополнении к перечисленному материалу были привлечены данные среднемесячной температуры воздуха на 21 станции Украины за более длительный период (1927 – 2000 гг.), предоставленные Украинским гидрометеорологическим центром.

Кроме этого, мы использовали среднемесячные значения индекса Северо-Атлантического колебания, вычисленного по методике Харрела [12] для зимних месяцев (декабрь-февраль). Индекс рассчитан как разность нормированного давления на уровне моря (SLP) на станциях Лиссабон (Португалия) и Рейкьявик (Исландия). Нормировка производилась на стандартное отклонение, рассчитанное по базовому периоду 1864-1983 гг. (Climate Analysis Section, NCAR, Boulder, USA) [12].

Для достижения поставленной задачи к исходному материалу был применён метод композитного анализа (предложенный проф. Полонским А.Б.), с помощью которого был выделен «чистый» сигнал, отвечающий влиянию САК на температурный режим Украины. Процедура получения сигналов (разностных композитов) заключается в поэтапной обработке исходной информации. Вначале, для конкретного месяца строится временной ряд индекса колебания (рис. 2). Далее предварительно убедившись, что статистический ряд подчиняется нормальному закону распределения, определяется среднее значение, дисперсия (σ^2) и среднее квадратическое отклонение - СКО (σ). Затем проводится выборка аномальных лет, в которые значение индекса превышает среднее значение как минимум на 1σ (или, наоборот, оказывается меньше среднего на 1σ).

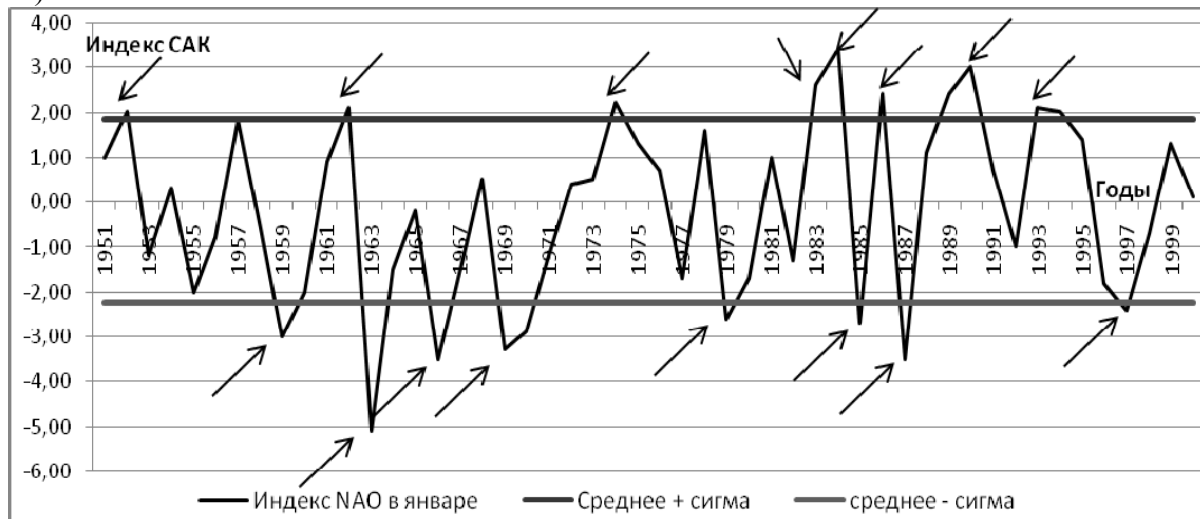


Рис. 2 – Временной ряд индекса САК и интервал $\pm\sigma$ в январе.

Таким образом, для каждого месяца мы получаем две выборки лет со значениями индекса выше и ниже заданных пределов (соответственно экстремально высокие и экстремально низкие значения - таблица 1). Для выбранных лет определяем среднемесячные значения температуры воздуха по станциям Украины. Теперь уже для сформированных выборок фактических значений температуры воздуха находим среднее значение, дисперсию и СКО.

Далее получаем «чистый» сигнал колебания, посредством определения алгебраической разности между средними по выборкам для каждой станции (так называемый, разностный композит). И чем больше по модулю будет значение сигнала, тем более существенным окажется влияние колебания на определённый пункт. Также следует учитывать знак полученных сигналов. Положительные значения композитов указывают на прямую связь фазы колебания и аномалии температуры (т.е., во время положительной фазы колебания происходит рост температуры воздуха и наоборот). В случае отрицательных значений сигнала, наблюдается рост (понижение) температуры воздуха в исследуемом регионе во время отрицательной (положительной) фазы колебания.

Последним этапом определяется статистическая значимость полученных сигналов с достоверностью (p) 90 и 95% по следующему алгоритму:

- Определяем отношение σ/\sqrt{n} , где σ – СКО по каждой выборке (с индексами 1 и 2, соответственно); n – объём выборки;
- Находим:

$$(\sigma_1 + \sigma_2) \text{ для } p = 90\%; \quad (1)$$

$$2(\sigma_1 + \sigma_2) \text{ для } p = 95\%. \quad (2)$$

Если в итоге расчётов окажется, что сигнал превышает значение, полученное по формуле (1) или (2), то он является значимым на уровне 90 и 95% соответственно (в предположении о том, что анализируемые ряды обладают определенной статистической структурой).

Также отметим, что за пороговое значение была выбрана абсолютная величина аномалий индекса САК, равная 1σ , только потому, что в этом случае по данным за 1951-2000 гг. удастся получить достаточное (для оценки статистической значимости) количество аномальных лет. Если в качестве порогового значения аномалии взять $1,5\sigma$, то, в результате, оказывается невозможным оценить значимость композитов, поскольку в некоторые месяцы таких аномалий набирается не более одной-двух. Если же использовать данные за более длительный период (1927-2000 гг.), то можно рассматривать аномалии, превышающие (по абсолютной величине) $1,5\sigma$. При этом, однако, уменьшается количество станций и, соответственно, снижается точность пространственной структуры аномальных полей.

Подобная процедура нахождения сигнала САК и проверка его на значимость проводится для каждого из трёх месяцев. По результатам расчётов строятся карты композитов, на которых наглядно проявляется степень и характер влияния САК на конкретный регион страны.

Результаты исследования. Пользуясь описанной методикой, мы получили годы, характеризующиеся аномально высокими и аномально низкими величинами индекса САК. Результаты представлены в таблице 2. На основании информации из таблицы 2 были рассчитаны разностные композиты (т.е., разности композитов в положительную и отрицательную фазы САК) для 27 станций Украины за период 1951-2000 гг. и для 21 станции за период 1927-2000 гг. с декабря по март. Результаты представлены в таблице 1 и на рисунках 3-6. Их анализ позволил выявить следующие закономерности.

Как следует из таблицы, влияние САК на температуру воздуха, наиболее выражено в январе и феврале, что видно как по абсолютным величинам аномалий температуры, так и по уровню значимости сигнала в эти два месяца. Естественно, величина сигнала, рассчитанного при пороговом значении аномалии в $1,5\sigma$, оказалась несколько большей.

Как видно из таблицы 2, в декабре ни на одной станции Украины значимость полученного композита не была выше 90%, поэтому анализ поля композитов за этот месяц мы опустим и сразу перейдём к январю. На рисунке 3 представлено поле сигнала САК в январе для 27 станций за период 1951-2000 гг. и при доверительном уровне 1σ . Хорошо видна область максимальных значений сигнала ($7,0 - 7,8^\circ\text{C}$) в северо-западных и северных регионах страны. Минимальные значения сигнала наблюдаются на юге Одесской обл., в Крыму, Приазовье и на Прикарпатье ($0,3 - 3,5^\circ\text{C}$). Из этого следует, что влияние САК постепенно уменьшается с северо-запада на юго-восток, достигая минимума на ЮБК (южный берег Крыма). Если провести наглядное сравнение поля композитов, рассчитанных для меньшего количества станций (21), но за более длительный период (рис.4), то заметно существенное сходство в конфигурации изолиний и градиенте поля: максимальные и минимальные значения сигнала сохраняют своё географическое положение (максимумы $8,2 - 9,7^\circ\text{C}$ на западе Украины,

а минимум на юге и юго-востоке). Это говорит о том, что пространственно-временная структура аномалий приземной температуры воздуха в различные фазы САК является устойчивой.

Таблица 1 – Сравнение сигнала САК по температуре на уровнях значимости 90% (светло-серый цвет), 95% (серый цвет)

Месяц	1y (1951-200)			1,5y (1927-2000)		
	XII	I	II	XII	I	II
Винница	0,5	3,5	3,9	0,8	1,4	4,4
Евпатория	1,3	2,1	3,1	2,6	2,2	5,2
Запорожье	1,9	4,0	4,8	4,7	4,2	6,7
Измаил	1,9	0,3	2,3	1,4	0,9	2,3
Керч	0,9	1,7	3,0	-	-	-
Киев	2,5	6,2	7,4	4,3	6,6	9,2
Кировоград	2,6	5,3	5,9	4,3	6,2	7,0
Конотоп	3,2	7,8	7,6	-	-	-
Лозовая	2,2	4,4	6,0	3,4	4,5	7,4
Лубны	2,7	5,6	6,8	4,2	6,5	8,3
Луганск	1,3	4,3	6,5	-	-	-
Львов	2,8	6,1	7,3	4,6	8,0	9,1
Мариуполь	0,9	2,9	4,9	1,9	3,1	6,8
Николаев	2,5	4,1	4,1	4,1	4,7	6,2
Одесса	2,2	4,0	4,7	3,8	4,6	7,2
Полтава	2,6	5,3	6,5	3,9	5,8	7,9
РаваРусская	3,2	7,0	7,7	4,5	9,7	9,7
Ровно	2,9	7,2	7,9	-	-	-
Симферополь	1,7	0,6	2,7	2,9	2,3	4,2
Суммы	3,0	5,8	7,3	4,4	6,6	8,6
Ужгород	2,5	4,0	4,2	-	-	-
Умань	2,6	5,9	6,7	4,4	7,2	8,6
Харьков	2,4	5,0	6,7	-	-	-
Херсон	2,2	3,9	4,2	3,8	4,3	6,2
Черновцы	3,5	2,8	2,4	4,5	2,4	4,0
Шепетовка	2,7	6,8	7,5	4,7	8,2	9,6
Ялта	0,8	0,4	-0,3	1,7	1,0	0,1

Таблица 2 – Годы, с аномально высокими и аномально низкими значениями индекса САК

Месяц	Декабрь	Январь	Февраль
Годы с индексом САК, превышающим среднее значение на 1σ и более	1951	1952	1973
	1959	1962	1989
	1960	1974	1990
	1982	1983	1995
	1986	1984	1997
	1993	1986	2000
		1989	
		1990	
		1993	
		1994	

Продолжение табл.2

Месяц	Декабрь	Январь	Февраль
Годы с индексом САК, величина которого меньше среднего как минимум на 1σ	1961	1959	1955
	1963	1963	1956
	1976	1966	1958
	1978	1969	1960
	1987	1970	1965
	1989	1979	1969
	1995	1985	1978
	1996	1987	1986

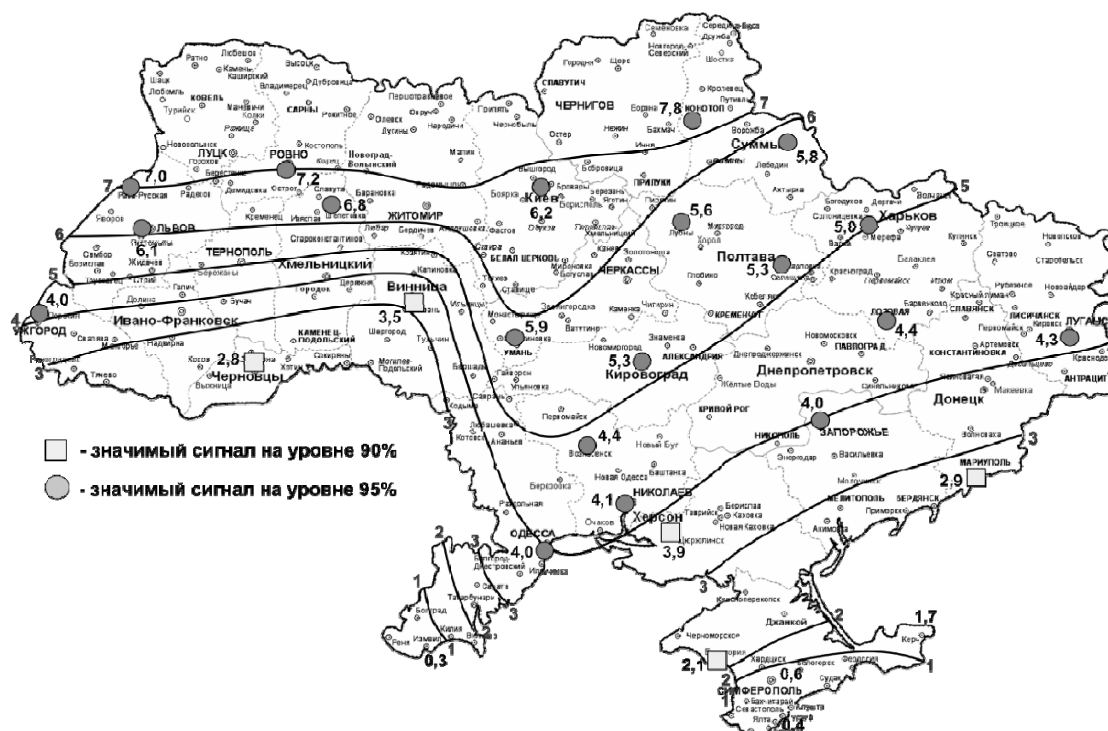


Рис. 3 – Разностный композит температуры воздуха в январе (по данным 1951 – 2000 гг.), использовался пороговый уровень 1σ .

В феврале (рис.5,6) структура поля композитов практически не меняется. Максимальное влияние САК на температуру сохраняется в западных, северных и частично центральных областях страны, а минимальное – на юге Украины и в Крыму.

Таким образом, результаты данного исследования хорошо согласуются с общей концепцией динамики атмосферы в Североатлантическом регионе и подтверждают общепринятую схему воздействия САК на температурный режим в Европе. Очевидно, что во время положительной фазы колебания, отмечается существенный рост температуры воздуха в северных, западных и центральных регионах Украины. Такие положительные аномалии вызваны в зимнее время повышенной активностью атлантических циклонов, которые перемещаются в восточном направлении и приносят на территорию большей части Украины тёплый и влажный морской воздух. Необходимо также отметить региональные особенности, связанные с орографией. В частности, в районе Прикарпатья во все зимние месяцы влияние САК выражено довольно слабо. Это объясняется влиянием Карпат на перенос тепла и влаги со стороны Атлантики, поэтому данный регион менее подвержен аномалиям температуры в различные фазы САК. Меньше всего подвержены влиянию процессов в Атлантике южные

регионы страны в связи с тем, что большая часть траекторий Атлантических циклонов лежит гораздо севернее (рис. 1а) и межширотный обмен воздушными массами значительно слабее.

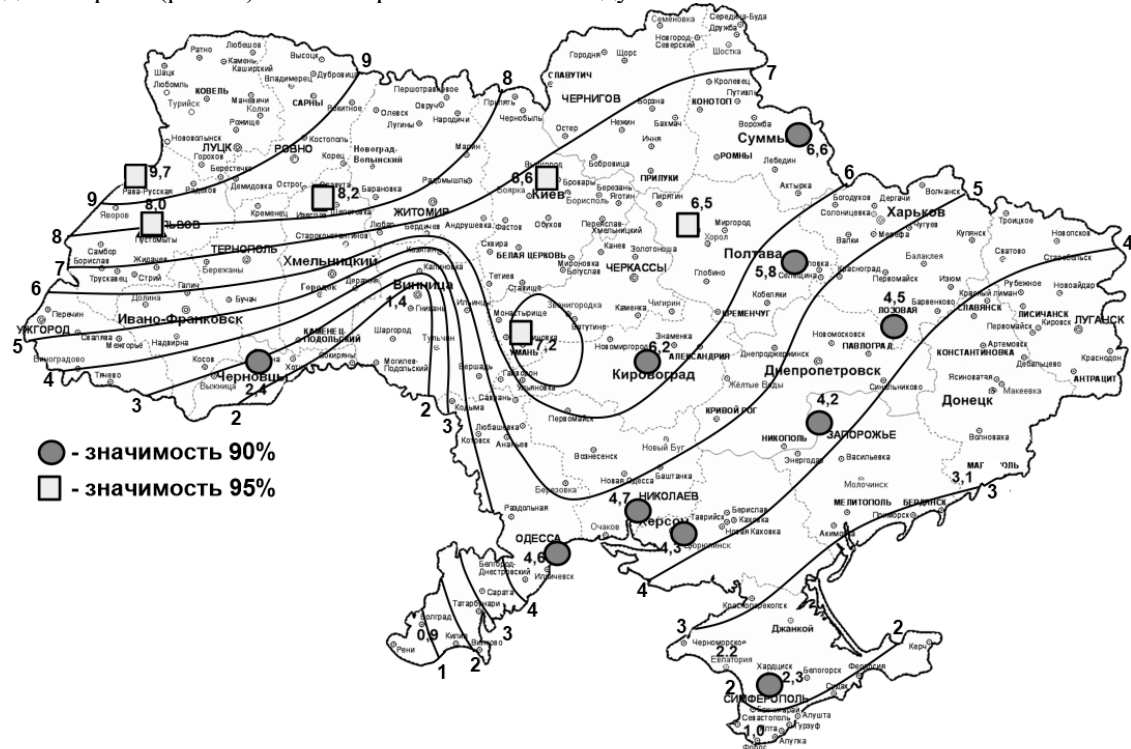


Рис. 4 - Разностный композит температуры воздуха для разных фаз САК с 1927 по 2000 гг. в январе. Для выделения сигнала использовался уровень 1,5 σ .

Как видно из рисунков 3-6 и таблицы 2, статистическая значимость рассчитанных сигналов максимальная в январе и феврале. Причём, в феврале поле сигналов с достоверностью 95% охватывает практически весь запад, север и центр страны. И даже в Крыму и на юге Одесской области значимость сохраняется на уровне 90%.

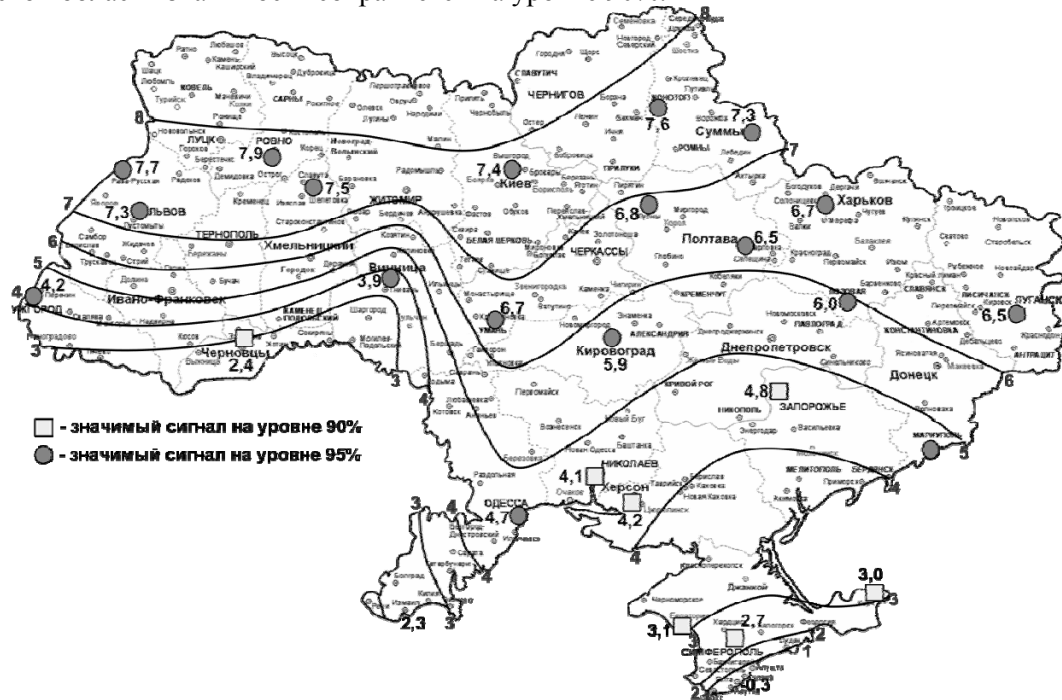


Рис. 5 – Разностный композит температуры воздуха в феврале (по данным 1951 – 2000 гг.), использовался пороговый уровень 1 σ .

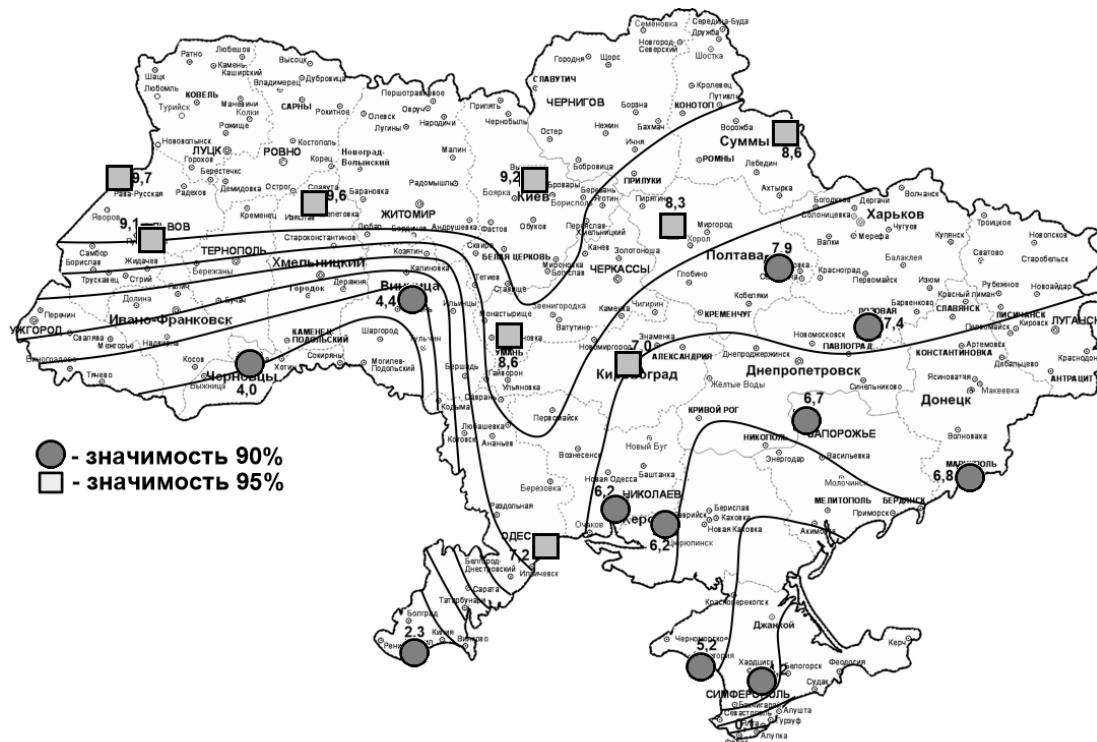


Рис. 6 - Разностный композит температуры воздуха для разных фаз САК с 1927 по 2000 гг. в феврале. Для выделения сигнала использовался уровень 1,5 σ .

Выводы. В ходе данного исследования было установлено, что проявление Северо-Атлантического колебания в температурном режиме на территории Украины наиболее ярко выражено в январе и феврале. Степень влияния максимальная в северных, центральных и частично в западных областях страны. Установлено, что при положительных значениях индекса САК происходит заметный рост температуры воздуха в холодное полугодие и формирование положительной аномалии приземной температуры, величина которой возрастает в северо-западном направлении.

Менее всего подвержена влиянию Североатлантических циркуляционных процессов южная часть Украины (Одесская область, Крым и Приазовье), а также район Прикарпатья (Черновицкая и Винницкая обл.). Данная территория в большей степени находится под влиянием процессов, происходящих в районе Средиземноморья и Балканского п-ова.

Список литературы

1. Полонский А. Б., Башарин Д. В., Воскресенская Е. Н., Ворли С. Североатлантическое колебание: описание, механизмы и влияние на климат Евразии // Морской гидрофизический журнал. – 2004. - №2. С. 42 – 57.
2. Kozuchowski K.M. Variations of hemispheric zonal index since 1899 and its relationships with air temperature // Int. J. Climatol. – 1993. - №13. – P. 853 – 864.
3. Rogers J.C. North Atlantic Storm Track Variability and Its Association to the North Atlantic Oscillation and Climate Variability of Northern Europe // J. Clim. – 1997. - №7. – P.1635 – 1647.

4. Пальмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы // Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 465 с.
5. Walker G. T., Bliss E. W. World weather V // Roy Meteorol. Soc. – 1932. – №36. – С. 53 – 84.
6. Hurrell J. W. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation // Science. – 1995. - №5224.– С. 676- 679.
7. Полонский А. Б., Башарин Д. В. О влиянии североатлантического и южного колебаний на изменчивость температуры воздуха в Средиземноморско-Европейском регионе // Изв. РАН. ФАО. – 2002. - №1. – С. 135 – 145.
8. Bell I., Visbeck M. North Atlantic Oscillation [электронный ресурс] // Columbia University: Lamont-Doherty Earth Observatory. URL: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO>.
9. Bigg G.R., Jickells T.D., Liss P.S., Osborn T.J. The Role of the Oceans in Climate // Int. J. of Climatology. – 2003. – V.23. – N10. – P.1127-1160.
10. Glowienka-Hense R. The North Atlantic Oscillation in the Atlantic European SLP // Tellus. – 1990. №5. – P. 497 – 507.
11. NNDC Climate Data Online [электронный ресурс] // National Oceanic and Atmospheric Administration (USA). URL: <http://cdo.ncdc.noaa.gov/pls/plclimprod/poemain.accessrouter>.
12. Hurrell North Atlantic oscillation (NAO) index (station-based) [электронный ресурс] // The National Center for Atmospheric Research: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>

Вплив Північно-Атлантичного коливання на аномалії приземної температури повітря над територією України у холодний період.

Полонський О.Б., Брагіна О.С., Кібальчич І.О.

Аналізується вплив Північноатлантичного коливання на аномалії приземної температури повітря над територією України з використанням методу «комполітів». Показано, що позитивна фаза Північноатлантичного коливання супроводжується потеплінням, а негативна – похолоданням, особливо вираженим у північних і північно-західних районах України в січні і лютому. Типова величина середньомісячних аномалій температури – кілька градусів. До того ж, більшість цих аномалій є значуща на довірчому рівні 90-95%.

Ключові слова: Північноатлантичне коливання, аномалії температури, метод «комполітів»

Influence of the North Atlantic Oscillation on wind surface temperature anomalies over the territory of Ukraine in cold season.

Polonsky A., Bragina O., Kibalchich I.

The influence of the North Atlantic Oscillation on surface temperature anomalies over the territory of Ukraine was analyzed, using the method of "composites". It is shown that the positive phase of the North Atlantic Oscillation determines positive temperature anomalies formation, especially pronounced in the northern and north-western regions of Ukraine in January and February. The typical value of the monthly average temperature anomalies – a few degrees. Moreover, most of these anomalies are significant as the confidence level of 90-95%.

Keywords: North Atlantic Oscillation, temperature anomalies, method of "composites"