

**ВЛИЯНИЕ СЕВЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОГО КОЛЕБАНИЯ НА АНОМАЛИИ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ УКРАИНЫ И ЧЁРНОГО МОРЯ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД****А.Б. Полонский<sup>1</sup>,  
И.А. Кибальчич<sup>2</sup>**<sup>1</sup> *Морской гидрофизический институт НАН Украины, Украина, 99011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2*<sup>2</sup> *Одесский государственный экологический университет, Украина, 65016, г. Одесса, ул. Львовская, 15**E-mail: ocean@alpha.mhi.iuf.net; geophys@odeku.edu.ua*

Проанализировано влияние Северноморско-каспийского колебания (СКК) на аномалии приземной температуры воздуха над территорией Украины и Чёрного моря с использованием данных ре-анализа NCEP/NCAR и применением метода «компози́тов». Показано, что положительная фаза СКК сопровождается похолоданием, а отрицательная – потеплением, особенно выраженным в юго-восточных районах Украины в декабре и январе. Типичная величина среднемесячных аномалий температуры – несколько градусов.

Ключевые слова: Северноморско-каспийское колебание, аномалии температуры, метод «компози́тов»

**Введение**

Удалённые связи в атмосфере, а также их влияние на температуру воздуха и режим увлажнения изучены достаточно подробно как на региональном, так и на глобальном уровнях. На протяжении XIX–XX веков учёными-климатологами было совершено множество открытий различных колебательных режимов в системе океан-атмосфера. Среди наиболее известных можно выделить Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК), Североатлантическое (САК), Арктическое (АК), Атлантическое мультидекадное колебание и другие. Каждое из них в большей или меньшей мере оказывают влияние на погодные условия конкретного региона или же всей Земли в целом (как например, ЭНЮК).

Для нас наиболее интересными являются такие режимы изменчивости, которые оказывают непосредственное влияние на погодные условия Украины и прилегающей территории. Среди таковых можно выделить САК, Восточно-атлантическое, Норвежское, Арктическое и Северноморско-Каспийское колебание (СКК), о котором пойдёт речь в настоящей статье.

В 1989 году группой учёных во главе с Conte было выявлено новый режим аномальной атмосферной циркуляции над территорией Европейско-Средиземноморского региона – Северноморско-Каспийская осцилляция (СКК), или North Sea – Caspian pattern [1]. Их предложение было основано на эффекте диполя, который они обнаружили между Алжиром и Каиром в среднемноголетних значениях геопотенциальной высоты изобарической поверхности 500 гПа. Был проведен анализ проявления Северноморско-Каспийского диполя по другим метеорологическим параметрам (температура, осадки и циркуляция) между западным и восточным Средиземноморьем.

Качественной мерой интенсивности СКК выступает специальный климатический индекс, по значениям которого определяют также и фазу осцилляции (положительная, либо отрицательная). Характеризуя отрицательную фазу СКК, можно отметить следующие процессы: происходит активизация циклонической активности над западным полюсом СКК, а именно усиление западного переноса над центральной Европой и проявление антициклонической активности над восточным полюсом СКК, что проявляется в формировании восточного перемещения воздушных масс над районами Грузии и Армении. Эти процессы приводят к увеличению юго-западной аномальной циркуляции по направлению к Балканам (рис. 1 а). Во время положительной фазы СКК происходит перестройка барических образований: в районе западного полюса СКК наблюдается усиление антициклональной циркуляции (центральная Европа) и увеличение циклонической активности в районе западного полюса СКК, что влечёт за собой формирование северо-восточного переноса воздушных масс на центральную Европу (рис. 1 б).

Влияние различных фаз СКК наиболее ощутимо сказывается на температурном режиме и в меньшей степени на суммарном количестве осадков. Так, для положительной фазы наиболее характерно преобладание меридиональной циркуляции с северной составляющей, что влечёт за собой возникновение отрицательных аномалий в поле приземной температуры воздуха

по всей Восточной Европе и на востоке Средиземноморья, на Ближнем Востоке, в Малой Азии, Кавказском регионе и в южном Поволжье. В это же время в районе Британских о-вов и юга Скандинавии формируется обособленная зона с положительной аномалией температуры. Во время отрицательной фазы колебания, циркуляционные условия меняются на противоположные.

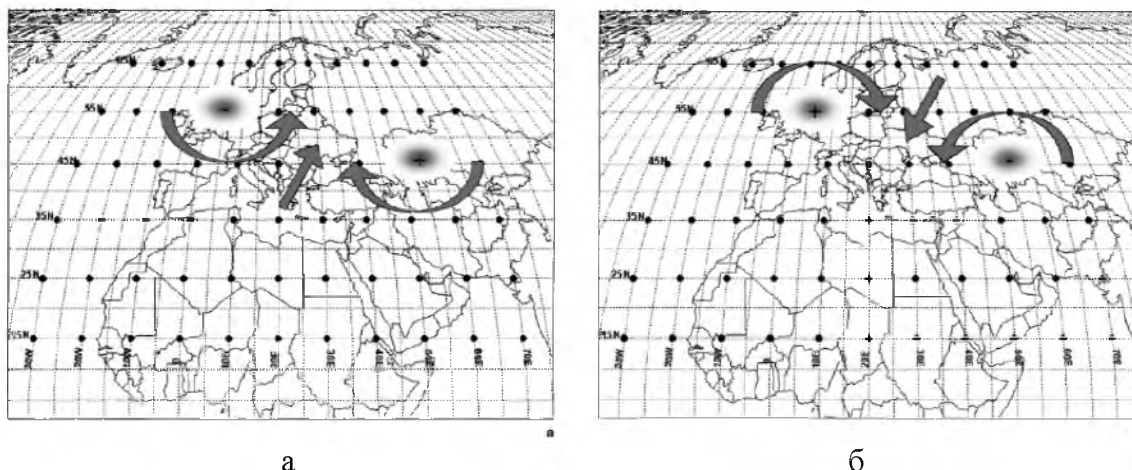


Рис. 1. Схематическое представление аномальных циркуляционных процессов в период отрицательной (а) и положительной фаз СКК (б)

Кроме того, было показано [2], что наибольшее влияние СКК ощутимо над внутренними районами п-ова Малая Азия с постепенным ослаблением по мере продвижения к побережью. Отсюда следует, что существует прямая зависимость между высотой местности, характером подстилающей поверхности и степенью влияния СКК на конкретный регион.

В работе [3] были определены поля коэффициента корреляции между индексом СКК и среднемесячной температурой воздуха в Европейско-Средиземноморском регионе, как для всех значений индекса, так и для значений индекса  $|СКК| > 1$ . В результате исследования получили значительную область на северо-западе региона с положительной значимой корреляционной связью и значениями индекса 0,5–0,8 в летний период (июнь – август), и область со значимой обратной корреляционной связью над Ближним Востоком и Малой Азией, где индекс корреляции достигает значений -0,7...-0,9 для всех случаев при индексе СКК больше 1 по модулю.

Следует отметить, что СКК не является полностью изолированным и самостоятельным режимом изменчивости, поскольку оно имеет существенную связь с Арктическим колебанием (Arctic Oscillation), поэтому его можно рассматривать как его региональное проявление [4].

Временной ряд значений индекса СКК имеет значительную межгодовую изменчивость, что хорошо заметно на рис. 2. Максимальная дисперсия индекса наблюдалась в середине XX века, в начале 2000-х годов произошла некоторая стабилизация, а разброс значений относительно среднего сократился. В целом, существенной временной тенденции в значениях СКК не наблюдается.

Характеристики используемого материала и методы его обработки. В силу того, что СКК оказывает наиболее существенное влияние на температурный режим в холодное полугодие, то в работе привлекались данные ре-анализа среднемесячной температуры воздуха с декабря по февраль включительно в узлах регулярной сетки, размером 2,5×2,5 градуса. Информация предоставлена Национальным центром по атмосферным исследованиям (NCEP/NCAR), Боулдер, штат Колорадо, США за период 1948–2012 гг.

Также в работе использованы среднемесячные значения индекса Северноморско-Каспийского колебания для трёх месяцев холодного времени года (декабрь-февраль) за период 1948–2005 гг. Индекс рассчитан как нормированная разность высоты изобарической поверхности 500 гПа между двумя центрами действия: в Северном море (0° в. д., 55° с. ш.; 10° в. д., 55° с. ш.) и на севере Каспийского моря (50° в. д., 45° с. ш.; 60° в. д., 45° с. ш.) по методике, предложенной Kutiel и Venaroch в 2002 году [1]. Данные предоставлены Центром климатических исследований университета Восточной Англии – Climatic Research Unit, University of East Anglia.

Для достижения поставленной задачи к исходному материалу был применён метод композитного анализа, с помощью которого был выделен «чистый» сигнал, соответствующий



влиянию СКК на температурный режим Украины и прилегающих территорий в области, ограниченной 20–45° в. д. и 55–40° с. ш.

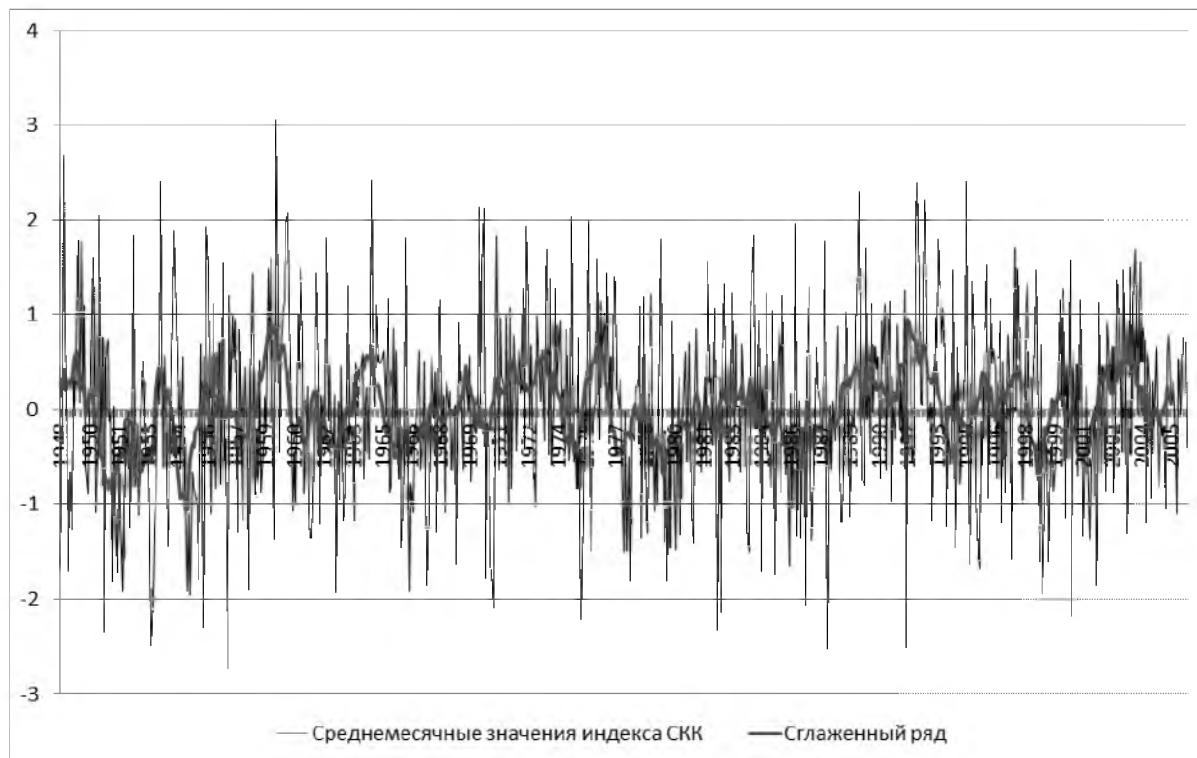


Рис. 2. Межгодовая изменчивость и сглаженный ряд индекса СКК за период 1948–2005 гг.

Данная методика заключается в следующем. В начале для конкретного месяца строится временной ряд индекса колебания (рис. 3). Для этого ряда определяется среднее значение, дисперсия ( $\sigma^2$ ) и среднее квадратическое отклонение – СКО ( $\sigma$ ). Затем проводится выборка аномальных лет, в которые значение индекса превышает среднее значение как минимум на 1 $\sigma$  (или, наоборот, оказывается меньше среднего на 1 $\sigma$ ). Такие годы указаны стрелками на рисунке 3.

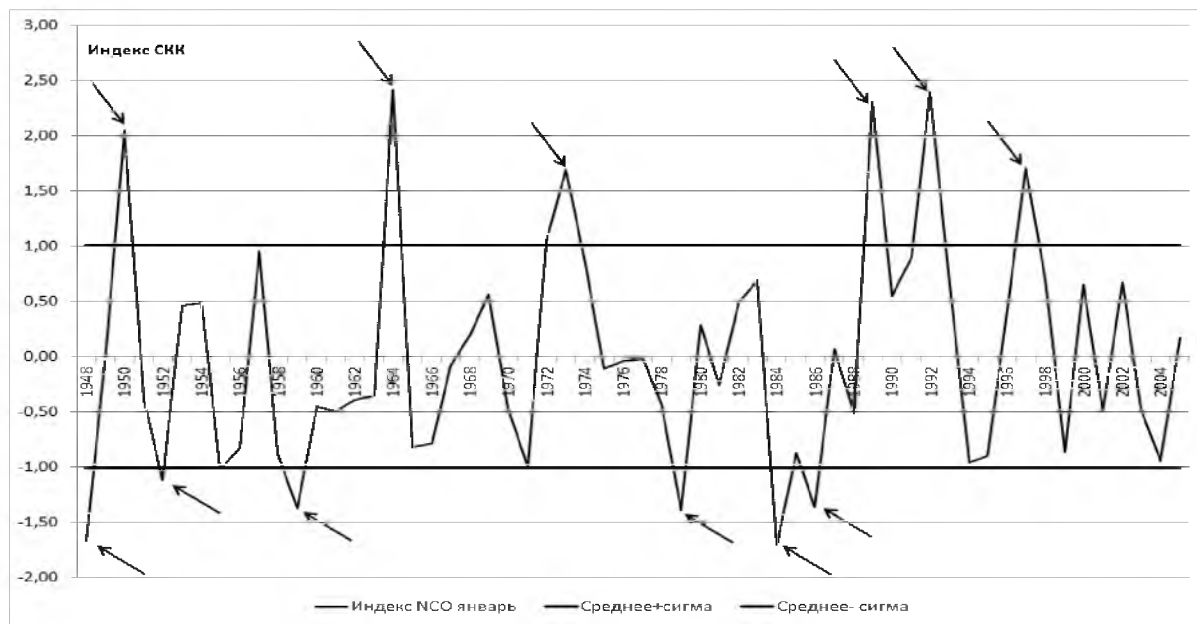


Рис. 3. Динамика индекса СКК и интервал  $\pm\sigma$  в январе за период 1948–2005 гг.



Таким образом, получаем две выборки лет со значениями индекса СКК выше и ниже заданных пределов (соответственно экстремально высокие и экстремально низкие значения). Для выбранных годов определяем среднемесячные значения температуры воздуха в каждом узле регулярной сетки. Теперь уже для сформированных выборок температуры находим среднее значение (т. е. среднюю аномалию), дисперсию и СКО. В итоге, «чистый» сигнал СКК находим путём определения алгебраической разности между средними по выборкам для каждого узла сетки (так называемый, разностный композит). И чем больше по модулю будет значение сигнала, тем более существенным окажется влияние СКК на конкретную точку местности.

Далее определяется статистическая значимость полученного сигнала с вероятностью 90 и 95% по следующему алгоритму:

- Определяем отношение  $\sigma/\sqrt{n}$ , где  $\sigma$  – СКО по каждой выборке (с индексами 1 и 2, соответственно);  $n$  – объём выборки;
- Находим:  $(\sigma_1 + \sigma_2)$  для  $p = 90\%$ ; (1)  
 $2(\sigma_1 + \sigma_2)$  для  $p = 95\%$ . (2)

Если в результате 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).

Отметим, что за пороговое значение была выбрана абсолютная величина аномалий индекса СКК, равная 10, только потому, что в этом случае по данным за 1948–2005 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.

Подобная процедура нахождения сигнала СКК и проверка его на значимость проводится для каждого из трёх месяцев. По результатам расчётов строятся карты композитов с помощью программного пакета «Surfer», на которых наглядно проявляется степень и характер влияния СКК на конкретную область исследуемой территории.

### Полученные результаты и их анализ

Применив методику, описанную выше, мы получили годы, характеризующиеся аномально высокими и аномально низкими величинами индекса СКК. Результаты представлены в сводной таблице. На основании информации из таблицы были рассчитаны разностные композиты (т. е. разности композитов в положительную и отрицательную фазы СКК) для 77 узлов регулярной сетки, охватывающей территорию Украины и близлежащие регионы Восточной Европы, за период 1948–2012 гг., с декабря по февраль включительно. Результаты в виде карт полей композитов представлены на рисунках 4–6. Их анализ позволил выявить определённые закономерности.

Таблица

**Годы, с аномально высокими и аномально низкими значениями индекса СКК**

Месяц	Декабрь	Январь	Февраль
Годы с индексом СКК, превышающим среднее значение на 10 и более	1948	1950	1949
	1953	1964	1959
	1971	1973	1971
	1975	1989	1975
	1977	1992	1982
	1988	1997	1985
	1991		1993
	2002		1998
Годы с индексом СКК, величина которого меньше среднего как минимум на 10			2003
	1950	1948	1951
	1960	1952	1955
	1965	1959	1957
	1976	1979	1963
	1981	1984	1966
	1993	1986	1970
	1999		1977
		1988	
		1995	



Далее проведём анализ полей композитов для каждого из трёх месяцев.

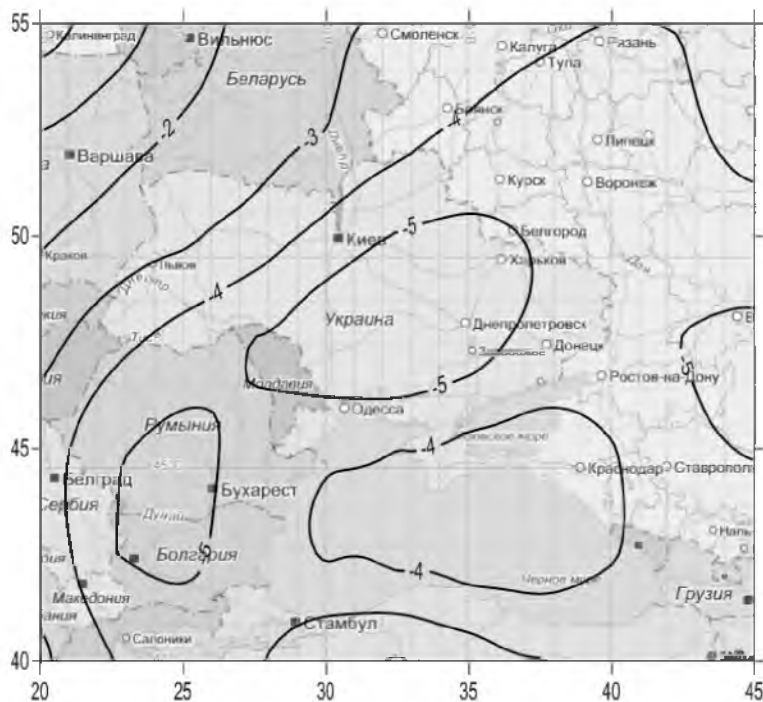


Рис. 4. Разностный композит температуры воздуха в декабре (по данным 1948–2012 гг.), использовался пороговый уровень  $1\sigma$

максимальная связь фазы колебания и приземной температуры наблюдается в континентальных районах исследуемой области, а по мере продвижения к Чёрному и Азовскому морям, эффект влияния уменьшается.

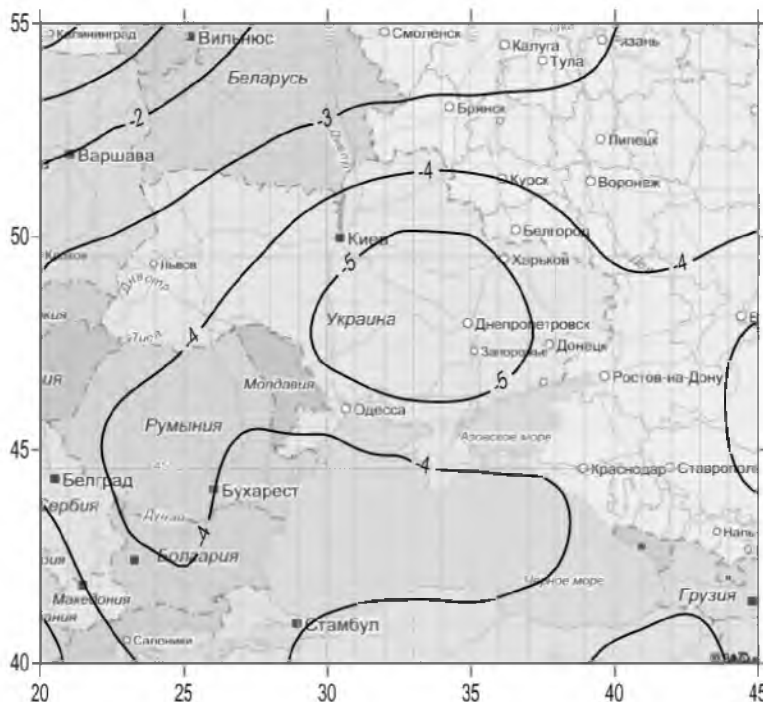


Рис. 5. Разностный композит температуры воздуха в январе (по данным 1948–2012 гг.), использовался пороговый уровень  $1\sigma$

В декабре (рис. 4) на всей исследуемой территории наблюдается область с отрицательным значением сигнала СКК. Минимальные значения сигнала, ограниченные изолинией  $-5$  выявлены над центральными регионами Украины, частично над Болгарией и Румынией, а также на востоке ЮФО в России. Величина сигнала по модулю снижается в северо-западном направлении, достигая околонулевых значений на северо-западе Польши и в Прибалтике. Соответственно, уменьшается и степень влияния колебания с юго-востока на северо-запад. Полученные отрицательные значения разностного композита указывают на обратную корреляционную связь между температурой воздуха и фазами колебания. Т. е. во время положительной фазы, происходит понижение среднемесячной температуры воздуха, а во время отрицательной – её рост. Данный вывод хорошо подтверждается рисунком 1. Причём,

В центральном месяце зимнего сезона (см. рис. 5) характер влияния Северноморско-Каспийской осцилляции сохраняется практически без изменений по сравнению с предыдущим месяцем. Область с максимальными по модулю значениями сигнала, ограниченная изолинией  $-5$ , локализована в центральных и южных регионах Украины, за исключением прибрежной зоны. Соответственно, и максимальное влияние колебания на температурный режим наблюдается в указанной области. Ослабление сигнала, как и в случае с декабрем, происходит в северо-западном направлении (над Беларусью и странами Прибалтики).

В феврале (см. рис. 6) структура поля разностных композитов претерпевает некоторые изменения. Как видно из карты, область с минимальными значениями сигнала (ниже  $-5$ ) смещается на юг и юго-запад по срав-

нению с предыдущим месяцем. Над Крымским п-овом, акваторией Чёрного и Азовского морей сохраняется зона со слабым влиянием СКК. Таким образом, в последнем месяце зимы аномальная циркуляция ослабевает, зона действия данного колебания смещается южнее и сильнее прижимается к одному из полюсов, расположенного над Каспийским морем. Следовательно, вклад данной моды в суммарную дисперсию поля по мере перехода от зимнего сезона к летнему уменьшается.

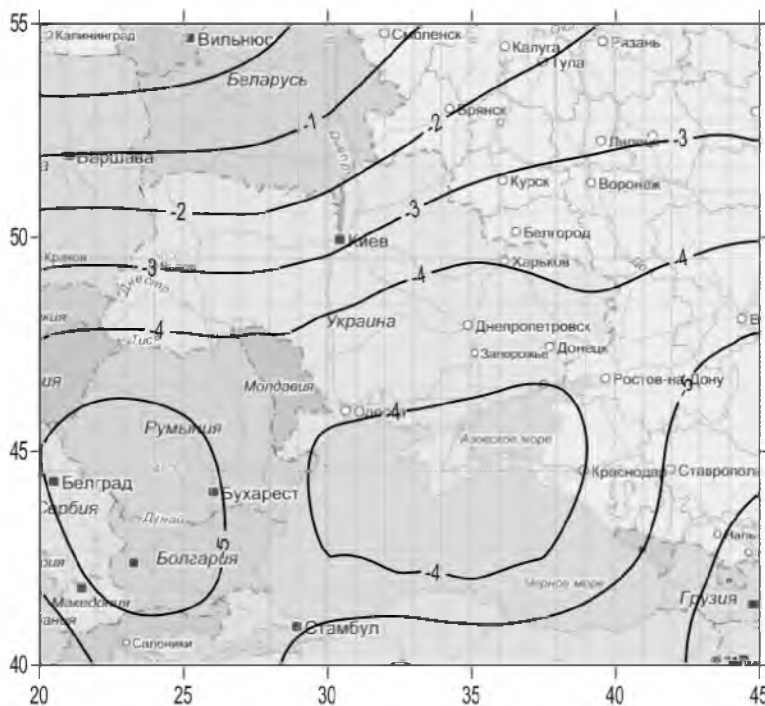


Рис. 6. Разностный композит температуры воздуха в феврале (по данным 1948–2012 гг.), использовался пороговый уровень 1  $\sigma$

Последним этапом исследования была проверка полученного сигнала на статистическую значимость. По методике, изложенной выше, разностный композит в каждом узле регулярной сетки за три зимних месяца, был проверен на значимость с достоверностью 90 и 95%. Полученные результаты расчётов представлены на рисунке 7 а–в.

Как видно из рисунка 7, в течение трёх месяцев, разностный композит в южной и юго-восточной части исследуемой территории оказался значимым на уровне 95%. Соответственно, наиболее устойчивое во времени влияние СКК наблюдается именно на данной территории (акватория Чёрного и Азовского морей, Турция, страны Кавказа и Закавказья, а также восток Балканского п-ова).

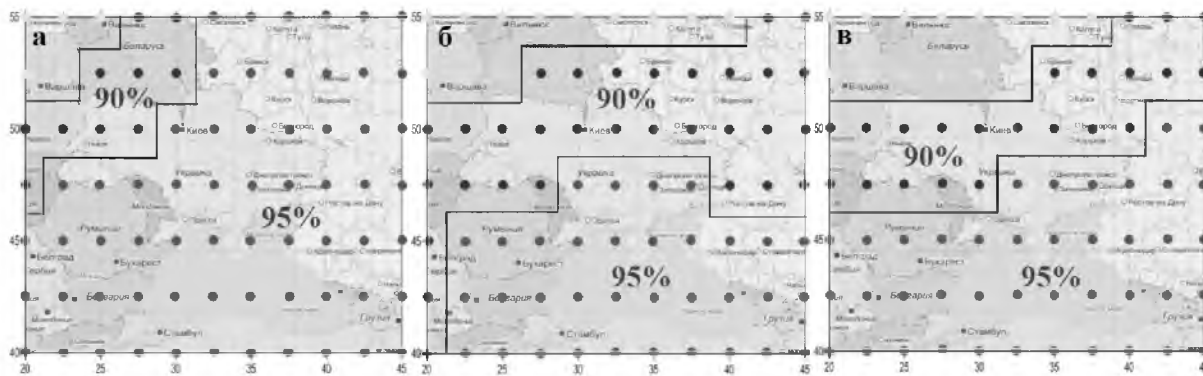


Рис. 7. Поля значимости полученного сигнала с достоверностью на уровне 90 и 95%: а – декабрь; б – январь; в – февраль

### Выводы

При выполнении настоящей работы было выявлено, что проявление Северо-Каспийской осцилляции на температурном режиме над Украиной и прилегающих районах наиболее ярко проявляется в декабре и в январе. Степень влияния оказалась максимальной в центральных и южных регионах страны, за исключением прибрежных зон. За пределами Украины степень воздействия максимальна на Кубани, в Турции и особенно на востоке Балканского п-ова, где значения композита превышает  $|5|$  в декабре и феврале. Установлено, что во время положительной фазы СКК наблюдаются отрицательные аномалии в среднемесячной температуре зимнего сезона, а во время отрицательной фазы выявлена обратная картина – превышение среднемесячной температуры относительно нормы. Менее всего подтвержены

влиянию аномальной циркуляции северо-западные регионы исследуемой территории (Беларусь, Польша) ввиду их существенной отдалённости от полюсов колебания.

### Список литературы

1. Kutiel H., Benaroch Y. North Sea – Caspian Pattern (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition // *Theor. Appl. Climatol.* – 2002. – Vol. 71. – Pp. 17 – 28.
2. Kutiel H., Brunetti M. The relevance of the North-Sea Caspian Pattern (NCP) in explaining temperature variability in Europe and the Mediterranean // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* – 2011. – Vol. 11. – Pp. 2881–2888.
3. Kutiel H., Maheras P., Paz S. North Sea – Caspian Pattern (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean ± implications on the regional climate // *Theor. Appl. Climatol.* – 2002. – Vol. 72. – Pp. 173–192.
4. Gunduz M., Ozsoy E. Effects of the North Sea Caspian pattern on surface fluxes of Euro-Asian-Mediterranean seas // *J. Geophys. Res.* – Vol. 32. – 2005.

## INFLUENCE OF NORTH SEA-CASPIAN PATTERN ON SURFACE TEMPERATURE ANOMALIES OVER UKRAINE AND THE BLACK SEA DURING THE COLD PERIOD

**A.B. Polonsky<sup>1</sup>, I.A. Kibalchich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Marine Hydrophysical Institute of NASU, 2 Captain, St, Sevastopol, 99011, Ukraine*

<sup>2</sup> *Odessa State Environmental University, 15 Lvovskaya, St, Odessa, 65016, Ukraine*

*E-mail: ocean@alpha.mhi.iuf.net;  
geophys@odeku.edu.ua*

The influence of North Sea-Caspian Pattern (NCP) on surface temperature anomalies over Ukraine and the Black Sea has been analyzed using reanalysis data of NCEP / NCAR and applying the method of «composites». The positive phase of NCP is shown to be accompanied by cooling and the negative one - by warming strongly pronounced in the south-eastern regions of Ukraine in December and January. The typical value of monthly average temperature anomalies is several degrees.

Key words: North Sea-Caspian Pattern, temperature anomalies, method of «composites».