


АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОКЕАНА


УДК 551.465.62(262.5)

DOI: 10.22449/0233-7584-2022-3-276-290

Процессы, определяющие синхронную междесятилетнюю изменчивость поверхностной температуры Баренцева и Черного морей

А. А. Сизов , Т. М. Баянкина, В. Л. Посошков, А. Е. Анисимов

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

 *sizov_anatoliy@mail.ru*

Поступила в редакцию 10.02.2022; одобрена после рецензирования 24.02.2022;
принята к публикации 15.03.2022.

Аннотация

Цель. Рассмотрено фазовое соответствие междесятилетней изменчивости индексов Североатлантического колебания и Атлантической мультидекадной осцилляции и их влияние на механизм синхронного формирования аномалии поверхностной температуры в Баренцевом и Черном морях.

Методы и результаты. Значения аномалии поверхностной температуры Баренцева и Черного морей выбирались из массивов данных о морском льде и температуре морской поверхности Центра прогнозирования и исследования климата им. Хэдли (Hadley Centre for Climate Prediction and Research). Для оценки циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском секторе использовались индексы Североатлантического колебания, Атлантической мультидекадной осцилляции и положение высотной фронтальной зоны. Анализ корреляции между положением высотной фронтальной зоны и значениями индекса Североатлантического колебания проводился по сглаженным фильтром скользящего среднего исходным рядам, а пространственное распределение аномалий поверхностной температуры анализировалось по композитным картам. При отрицательных значениях Атлантической мультидекадной осцилляции (1950–1970 гг.) преобладали процессы, характерные для отрицательных значений индекса Североатлантического колебания, а при положительных значениях индекса Атлантической мультидекадной осцилляции (1970–1990 гг.) преобладали процессы, характерные для положительных значений индекса Североатлантического колебания.

Выводы. Циркуляция атмосферы в Атлантико-Европейском секторе является основным механизмом, регулирующим аномалию поверхностной температуры Северной Атлантики и аномалию поверхностной температуры Баренцева и Черного морей. При положительных значениях индекса Североатлантического колебания температура поверхности Баренцева моря становилась выше, а Черного моря – ниже климатической нормы. При отрицательных значениях индекса Североатлантического колебания температура поверхности Баренцева моря становилась ниже, а Черного моря – выше климатической нормы.

Ключевые слова: Баренцево море, Черное море, аномалия поверхностной температуры, температура поверхности океана, Атлантическая мультидекадная осцилляция, Североатлантическое колебание

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № 0555-2021-0002 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан-атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата».


Для цитирования: Процессы, определяющие синхронную междесятилетнюю изменчивость поверхностной температуры Баренцева и Черного морей / А. А. Сизов [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2022. Т. 38, № 3. С. 276–290. doi:10.22449/0233-7584-2022-3-276-290

© Сизов А. А., Баянкина Т. М., Посошков В. Л., Анисимов А. Е., 2022

Processes Determining Synchronous Interdecadal Variability of Surface Temperature in the Barents and Black Seas

A. Sizov , T. M. Bayankina, V. L. Pososhkov, A. E. Anisimov

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

 *sizov_anatoliy@mail.ru*

Abstract

Purpose. The work is devoted to considering the phase correspondence between the interdecadal variability of the North Atlantic Oscillation and the Atlantic Multidecadal Oscillation indices, and their influence on the mechanism of synchronous formation of the surface temperature anomalies in the Barents and Black seas.

Methods and Results. The surface temperature anomaly values in the Barents and Black seas selected from the Hadley Centre for Climate Prediction and Research arrays, namely from the sea ice and sea surface temperature data set, were used. To assess the atmospheric circulation in the Atlantic-European sector, the North Atlantic Oscillation and Atlantic Multidecadal Oscillation indices, as well as the position of the tropospheric frontal zone were applied. The correlation between the position of the tropospheric frontal zone and the values of the North Atlantic Oscillation index was analyzed using the initial series smoothed by a filter of a moving average, and spatial distribution of the surface temperature anomalies – by the composite maps. At the negative values of the Atlantic Multidecadal Oscillation (1950–1970), the processes characteristic of the negative values of the North Atlantic Oscillation index were predominant, whereas at the positive values of the Atlantic Multidecadal Oscillation index (1970–1990), the processes characteristic of the positive values of the North Atlantic Oscillation index prevailed.

Conclusions. The atmospheric circulation in the Atlantic-European sector constitutes the basic mechanism regulating the sea surface temperature anomalies in the North Atlantic, as well as in the Barents and Black seas. At the positive values of the North Atlantic Oscillation index, the sea surface temperature in the Barents Sea became higher, and that of the Black Sea – lower than the climate mean. At the negative values of the North Atlantic Oscillation index, the sea surface temperature in the Barents Sea became lower, and that of the Black Sea – higher relative to the climate mean.

Keywords: Barents Sea, Black Sea, surface temperature anomaly, Atlantic Multidecadal Oscillation, North Atlantic Oscillation

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the state assignment of FRC MHI on theme No. 0555-2021-0002 “Fundamental research on the interaction processes in the ocean-atmosphere system determining regional spatial and temporal variability of the natural environment and climate”.

For citation: Sizov, A.A., Bayankina, T.M., Pososhkov, V.L. and Anisimov, A.E., 2022. Processes Determining Synchronous Interdecadal Variability of Surface Temperature in the Barents and Black Seas. *Physical Oceanography*, 29(3), pp. 257-270. doi:10.22449/1573-160X-2022-3-257-270

Введение

Поверхностная температура Баренцева и Черного морей зимой изменяется под воздействием циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском секторе и притока атлантических вод в западный сектор Северного Ледовитого океана. Циркуляция атмосферы, определяемая индексом Североатлантического колебания (САК) [1–3], регулирует поступление теплого атлантического воздуха в средние и высокие широты Атлантико-Европейского сектора. Это регулирование осуществляется через циклоническую активность, которая проявляется в смещении траектории циклонов в разные фазы САК. В положительную фазу САК циклоны смещаются к северу, в отрицательную фазу – к югу [1, 2].

Кроме того, на изменчивость температуры Баренцева моря оказывает влияние приток атлантических вод [4–6]. При этом на межгодовом и десятилетнем масштабах поступление этих вод в североευропейские моря, включая Баренцево, также регулируется циркуляцией атмосферы (индекс САК) [7–9]. По оценке авторов работ [8, 9], максимальное поступление атлантических вод в североευропейские моря отмечается в отрицательную фазу САК.

Тепловое состояние Северной Атлантики, представленное Атлантической мультидекадной осцилляцией (АМО), изменяется в широком диапазоне масштабов [4, 10, 11]. По некоторым оценкам [12, 13], мультидекадная мода САК соответствует АМО таким образом, что положительной (отрицательной) фазе САК соответствует отрицательная (положительная) фаза АМО.

В отличие от Баренцева моря поверхностная температура Черного моря изменяется в основном под влиянием воздушных масс, переносимых в процессе атмосферной циркуляции, определяемой индексом САК. Таким образом, изменчивость зимней поверхностной температуры (аномалии поверхностной температуры (АПТ) Баренцева и Черного морей) обусловлена совместным влиянием циркуляции атмосферы (индекс САК) и десятилетней изменчивости поверхностной температуры Северной Атлантики (индекс АМО). В статье авторы более детально исследовали процессы, влияющие на изменчивость поверхностной температуры Баренцева и Черного морей, кратко описанные в ранее опубликованной работе [14].

Цель работы заключается в рассмотрении фазового соответствия десятилетней изменчивости индексов САК и АМО и их влияния на механизм синхронного формирования АПТ в Баренцевом и Черном морях.

Данные и методы исследования

Значения аномалии поверхностной температуры Баренцева и Черного морей выбирались из массивов Центра прогнозирования и исследования климата им. Хэдли (*Hadley Centre for Climate Prediction and Research*) (URL: <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/>). Значения индекса САК (средние за декабрь – март) выбирались из архива Центра прогнозирования климата (*Climate Prediction Center*) (URL: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>). Индекс АМО представлен на сайте <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/>. Широотное положение изогипсы 540 дкм (высотная фронтальная зона – ВФЗ) на меридианах 0° и 30° в. д. вычислялось по данным *NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST)* (URL: <https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>). Анализ корреляции между положением ВФЗ и значениями индекса САК проводился по сглаженным фильтром скользящего среднего исходным рядам, а пространственное распределение аномалий поверхностной температуры анализировалось по композитным картам. Акватории Баренцева и Черного морей ограничивались координатами 28°–43° в. д., 72°–77° с. ш. и 28°–42° в. д., 41°–47° с. ш. соответственно. Исследовались процессы, развивавшиеся в течение 1950–2020 гг.

Результаты и обсуждение

Согласно нашим оценкам, междесятилетняя изменчивость индексов АМО и САК на временном интервале 1948–2020 гг. наблюдалась со сдвигом фазы (рис. 1). На рис. 1 представлены средние за декабрь – март значения индекса САК и средние за январь – март значения индекса АМО.

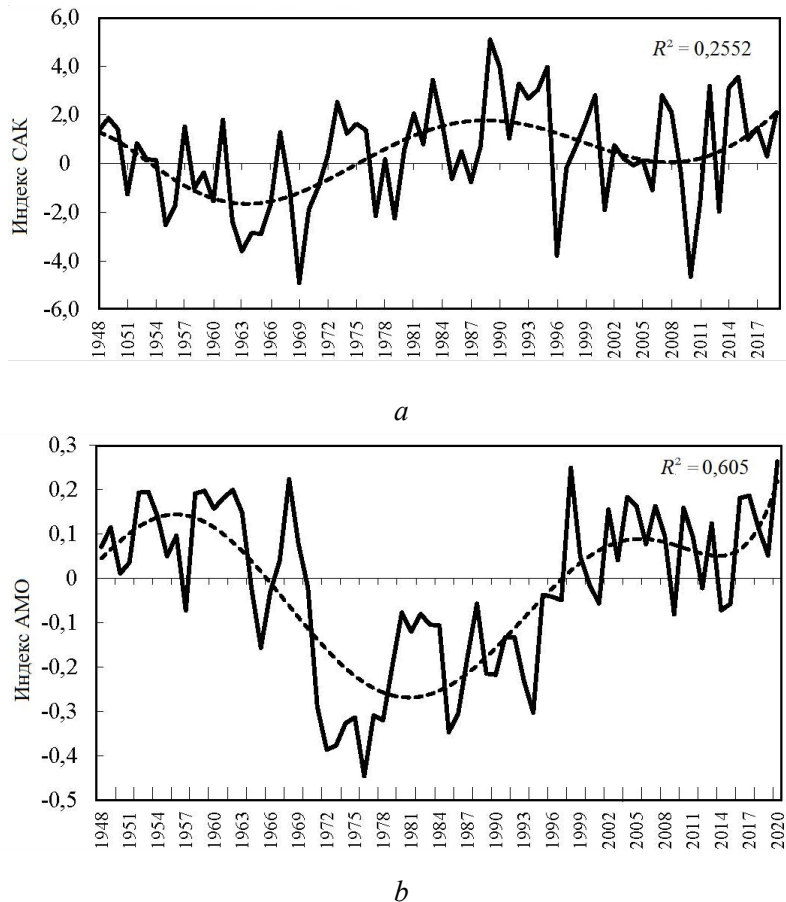


Рис. 1. Межгодовая изменчивость индексов САК (а) и АМО (b)
Fig. 1. Interannual variability of the NAO (a) and AMO (b) indices

При полиномиальном сглаживании кривых на рис. 1 видно, что максимальные значения индекса САК наблюдаются на 8–10 лет раньше максимальных значений индекса АМО. Таким образом, отрицательные значения индекса САК были характерны для середины 1960-х гг., а отрицательные значения индекса АМО – для середины 1970-х гг. Положительные значения индекса САК были характерны для начала 1990-х гг., а положительные значения индекса АМО – для начала 2000-х гг.

Как следует из работы [3], при преобладании в течение нескольких лет процессов с экстремальными положительными или отрицательными значениями индекса САК изменяется циркуляция верхнего слоя Северной Атлантики. Следовательно, должна изменяться поверхностная температура океана,

что показано в многочисленных работах (смотри, например, [15–17]). Процесс формирования крупномасштабной АПТ Северной Атлантики в разные фазы САК требует отдельного исследования, но полученные нами оценки сдвига изменчивости индекса АМО относительно индекса САК подтверждают результаты работ [18, 19].

С учетом сдвига фаз межгодовой изменчивости индексов САК и АМО, влияющих на формирование АПТ Баренцева и Черного морей, были выбраны два временных отрезка. Первый временной отрезок (1957–1994 гг.) характеризовался преобладанием отрицательных значений индекса АМО и был условно определен как период «холодной» Северной Атлантики. Второй временной отрезок (1995–2020 гг.), который характеризовался положительными значениями индекса АМО, был условно назван периодом «теплой» Северной Атлантики. При отрицательных значениях индекса АМО (1950–1970 гг.) преобладали процессы, характерные для отрицательных значений индекса САК, а при положительных значениях индекса АМО (1970–1990 гг.) – для положительных значений индекса САК [3].

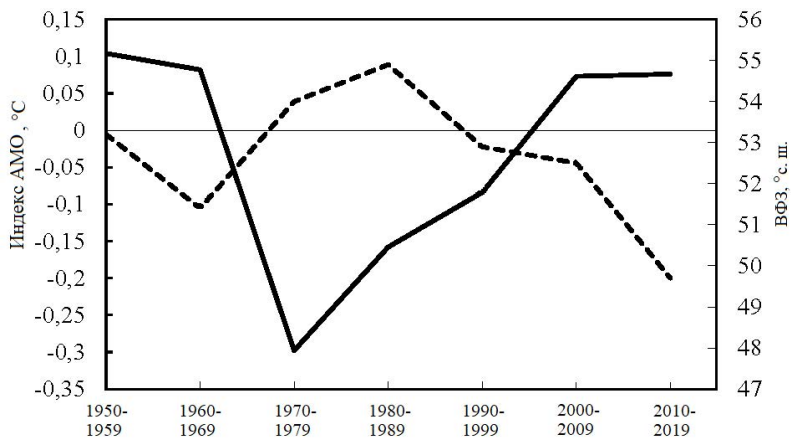
Атлантические воды непосредственно участвуют в формировании температуры верхнего слоя Баренцева моря [20]. Поэтому полученные нами оценки показывают, что значения междесятилетней изменчивости индекса АМО и АПТ Баренцева моря имеют значимую положительную корреляцию ($R = 0,82$) на временном интервале 1950–2020 гг.

В то же время формирование АПТ Черного моря происходит, по-видимому, под слабым воздействием долговременного (климатического) изменения АМО. Поэтому междесятилетняя изменчивость АПТ Черного моря коррелирует с индексом АМО не значимо ($R = 0,29$), но она значимо отрицательно коррелирована с индексом САК ($R = -0,71$). Это свидетельствует о том, что междесятилетняя изменчивость АПТ Черного моря в значительной степени определяется циркуляцией атмосферы в Атлантико-Европейском секторе. Полученные оценки согласуются с выводами, полученными в работе [21], и дают основание полагать, что, по-видимому, траектории циклонов, переносящих воздушные массы в район Черного моря, определяются не только индексом САК, но и положением ВФЗ (рис. 2).

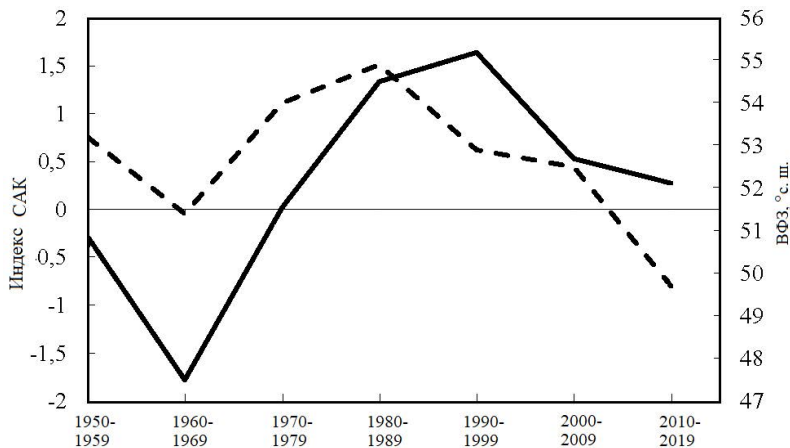
Известно, что барические системы в Атлантико-Европейском регионе переносятся в направлении ведущего потока в соответствии с положением изогипс в ВФЗ. Можно ожидать, что тепловое состояние Северной Атлантики оказывает влияние на состояние барического поля как приземного, так и на поверхности H_{500} . Поэтому рассмотрим междесятилетнюю изменчивость положения изогипсы 540 дкм (ВФЗ) в зависимости от АМО и САК.

На рис. 2 видно, что низкочастотная компонента ВФЗ над Восточной Европой изменяется в противофазе с индексом АМО ($R = -0,70$) (рис. 2, *a*) и в фазе с индексом САК ($R = 0,40$) (рис. 2, *b*). Это может означать, что междесятилетняя изменчивость траекторий циклонов в регионе Черного моря формируется под воздействием теплового состояния Северной Атлантики и циркуляции атмосферы, определяемой индексом САК. Низкочастотная изменчивость АПТ Северной Атлантики влияет на положение ВФЗ над восточной Европой таким образом, что в отрицательную фазу индекса АМО ВФЗ сдвигается на север, а в положительную – занимает более южное положение.

В положительную фазу индекса САК ВФЗ, наоборот, сдвигается на север, а в отрицательную – на юг. Существуют заметные особенности в изменении широтного положения ВФЗ над Восточной и Западной Европой в годы отрицательных и положительных значений индекса АМО. Эти особенности хорошо выделяются в рядах, сглаженных фильтром пятилетнего скользящего среднего. В таблице показаны коэффициенты корреляции между широтным положением ВФЗ в феврале и средними значениями индекса САК за декабрь – март.



a



b

Р и с. 2. Междесятилетия изменчивость широтного положения изогипсы 540 дкм (ВФЗ) в феврале на меридиане 30° в. д. (штриховая линия) и индексов АМО (сплошная линия) (*a*) и САК (сплошная линия) (*b*)

Fig. 2. Interdecadal variability of the latitudinal position of the 540 dcm isohypse (TFZ) in February at the meridian 30° E (dashed line), and the AMO (*a*) and NAO (*b*) indices (solid lines)

Коэффициенты корреляции между широтным положением ВФЗ на 0° и 30° в. д. и индексом САК в различные фазы индекса АМО
Correlation coefficients between the TFZ latitudinal position at 0° and 30° E, and the NAO index during different phases of the AMO index

Параметры / Parameters	Широтное положение ВФЗ на 0° в. д. / Latitudinal position of TFZ at 0° E	Широтное положение ВФЗ на 30° в. д. / Latitudinal position of TFZ at 30° E	Индекс САК / NAO index
<i>Отрицательная фаза индекса АМО / Negative phase of the AMO index</i>			
Широтное положение ВФЗ на 0° в. д. / Latitudinal position of TFZ at 0° E		0,49	0,26
Широтное положение ВФЗ на 30° в. д. / Latitudinal position of TFZ at 30° E	0,49		0,60
Индекс САК / NAO index	0,26	0,60	
<i>Положительная фаза индекса АМО / Positive phase of the AMO index</i>			
Широтное положение ВФЗ на 0° в. д. / Latitudinal position of TFZ at 0° E		-0,53	-0,57
Широтное положение ВФЗ на 30° в. д. / Latitudinal position of TFZ at 30° E	-0,53		0,49
Индекс САК / NAO index	-0,57	0,49	

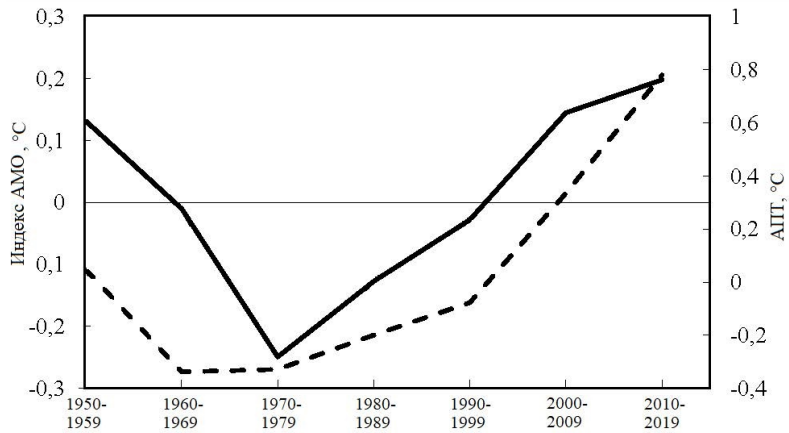
Пр и м е ч а н и е. Жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, значимые на 95%-ном уровне доверительной вероятности.

Note. Bold type indicates the correlation coefficients significant at the 95 % confidence level.

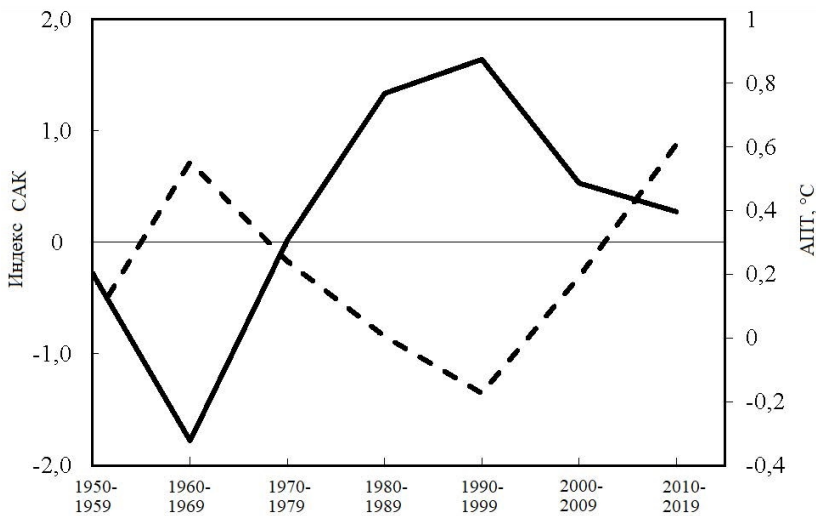
Из таблицы следует, что в годы отрицательных значений индекса АМО широтное положение ВФЗ как над Западной, так и над Восточной Европой изменяется синфазно. При этом ВФЗ на 0° и на 30° в. д. проявляет тенденцию к сдвигу на север в годы с максимальными значениями индекса САК и на юг в годы с его минимальными значениями. Особенно это заметно в ВФЗ с долгой 30° в. д. (коэффициент корреляции между широтным положением ВФЗ и индексом САК равен 0,60).

В годы положительных значений индекса АМО широтное положение ВФЗ над Западной и Восточной Европой изменяется в противофазе с индексом САК. В периоды с максимальными значениями индекса САК ВФЗ над Западной Европой сдвигается на юг ($R = -0,57$), а над Восточной Европой – на север ($R = 0,49$). Следовательно, траектории циклонов над Европой выстраиваются таким образом, что в годы отрицательных значений индекса АМО преобладает зональный перенос воздушных масс, и он происходит тем

севернее, чем выше значения индекса САК. В годы положительных значений индекса АМО процесс переноса воздушных масс усложняется, и в этом случае при высоких значениях индекса САК траектории циклонов над Западной Европой занимают более южное положение, а над Восточной Европой – более северное. При малых значениях индекса САК траектории циклонов над Западной Европой смещаются на север, а над Восточной Европой – на юг.



a



b

Р и с. 3. Междесятилетняя изменчивость индекса АМО (сплошная линия) и АПТ (штриховая линия) Баренцева моря (*a*), индекса САК (сплошная линия) и АПТ (штриховая линия) Черного моря (*b*)

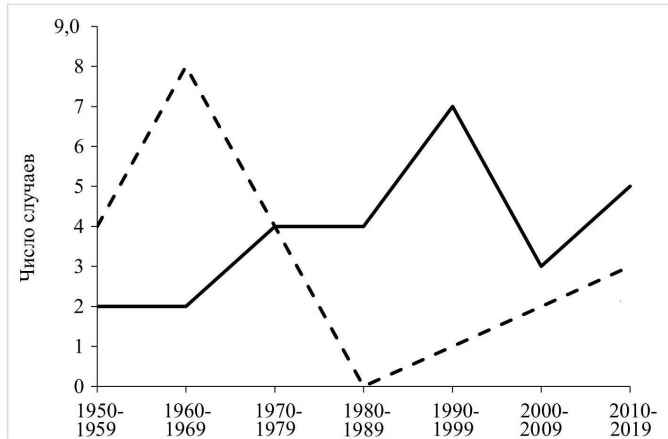
Fig. 3. Interdecadal variability of the AMO index (solid line) and SSTA (dashed line) of the Barents Sea (*a*), and the NAO index (solid line) and SSTA (dashed line) of the Black Sea (*b*)

Отмеченные особенности переноса атлантических вод и междесятилетней изменчивости зимней циркуляции атмосферы создают в регионах Баренцева и Черного морей характерные условия для формирования АПТ этих морей в годы отрицательных и положительных значений индекса АМО и САК (рис. 3).

На рис. 3 хорошо видно, что поступление атлантических вод в Арктический бассейн (индекс АМО) в значительной степени изменяет поверхностную температуру Баренцева моря ($R = 0,82$). В то же время корреляция между междесятилетней изменчивостью АПТ Баренцева моря и индексом САК незначима. Это связано с тем, что междесятилетняя изменчивость АПТ Баренцева моря (рис. 3, *a*) наблюдалась в фазе с индексом САК в десятилетия отрицательных значений индекса АМО (1960–1999 гг.). В десятилетия положительных значений индекса АМО и минимальных значений индекса САК (2000–2019 гг.) поверхностная температура Баренцева моря стала быстро расти вследствие притока более теплой атлантической воды. Ослабление циклонической активности, которое наблюдается при минимальных значениях индекса САК [3, 20], не могло привести к значительному понижению поверхностной температуры, поэтому температура Баренцева моря в эти десятилетия повышалась (рис. 3, *a*).

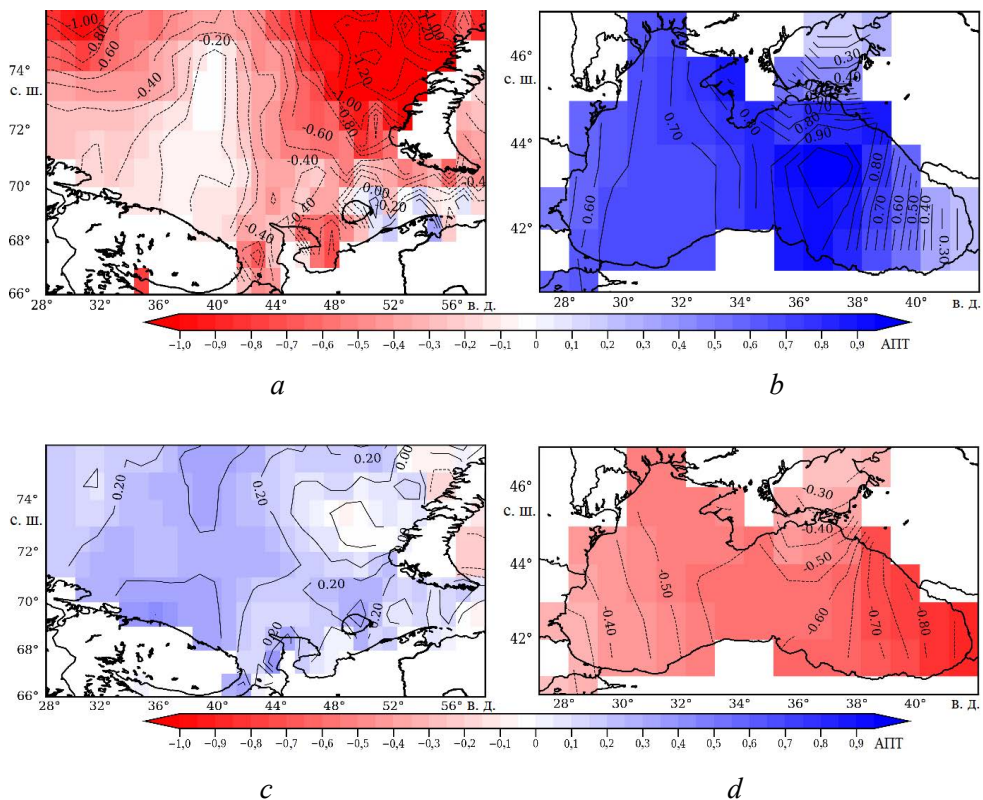
В Черном море циркуляция атмосферы, представленная индексом САК, в значительной степени формирует аномалии поверхностной температуры ($R = -0,71$). Таким образом, в десятилетие отрицательных значений индекса САК (1961–1970 гг.) Черное море было теплее, чем в десятилетия положительных значений (1981–2000 гг.) (рис. 3, *b*). Из рис. 3 следует, что с 1951 по 2000 г. (годы условной «холодной» Северной Атлантики) междесятилетняя изменчивость АПТ Баренцева и Черного морей находилась в противофазе, а в годы «теплой» Северной Атлантики (2001–2020 гг.) – в фазе. Этот результат подчеркивает преимущественное влияние притока атлантических вод и относительно слабое влияние САК на междесятилетнюю изменчивость АПТ Баренцева моря в десятилетия «теплой» Северной Атлантики. Междесятилетняя изменчивость АПТ Черного моря, наоборот, формируется преимущественно под влиянием циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском секторе (индекс САК) и в меньшей степени под влиянием АПТ Северной Атлантики (индекс АМО) (рис. 4).

Композитные карты АПТ (рис. 5) для отрицательных значений индекса САК строились по десяти годам (1958, 1960, 1962, 1963, 1965, 1966, 1968, 1969, 1970, 1979), а для положительных значений – по семи годам (1957, 1976, 1983, 1990, 1991, 1992, 1993). В годы отрицательных значений индекса АМО при отрицательных значениях индекса САК вследствие ослабления циклонической активности [1–3, 20] средняя за январь – март температура поверхности Баренцева моря становилась ниже климатической нормы (рис. 5, *a*), а Черного моря – выше климатической нормы (рис. 5, *b*).



Р и с. 4. Число случаев аномальных значений индекса САК (сплошная линия – положительный индекс САК, штриховая линия – отрицательный индекс САК)

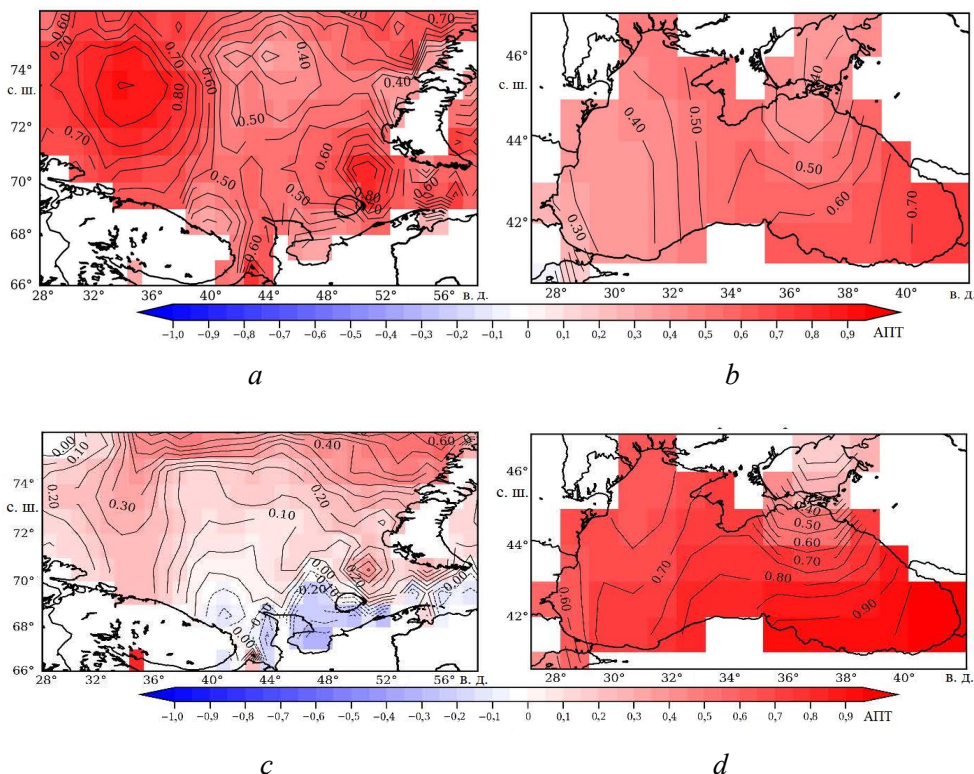
F i g. 4. Number of cases of abnormal values of the NAO index (solid line – positive NAO index, dashed line – negative NAO index)



Р и с. 5. Аномалии поверхностной температуры в годы отрицательных (*a, b*) и положительных (*c, d*) значениях индекса САК для Баренцева (*a, c*) и Черного (*b, d*) морей

F i g. 5. Surface temperature anomalies during the years of negative (*a, b*) and positive (*c, d*) NAO index values for the Barents (*a, c*) and Black (*b, d*) seas

В то же время при положительных значениях индекса САК вследствие интенсификации циклонической активности [1–3, 20] средняя за январь – март температура поверхности Баренцева моря становилась выше климатической нормы, а Черного моря – ниже (рис. 5, *b*). Это происходило в силу того, что при положительных значениях индекса САК ВФЗ на меридиане 30° в. д. сдвигалась к северу и, следовательно, траектории циклонов пролегли севернее Черного моря. А при отрицательных значениях индекса САК ВФЗ над восточной Европой занимала южное положение и, следовательно, Черное море оказывалось в области прохождения циклонов.



Р и с. 6. Аномалии поверхностной температуры в годы положительных значений индекса АМО при положительных (*a, b*) и отрицательных (*c, d*) значениях индекса САК для Баренцева (*a, c*) и Черного (*b, d*) морей

F i g. 6. Surface temperature anomalies during the years of positive values of the AMO index at the positive (*a, b*) and negative (*c, d*) NAO index values for the Barents (*a, c*) and Black (*b, d*) seas

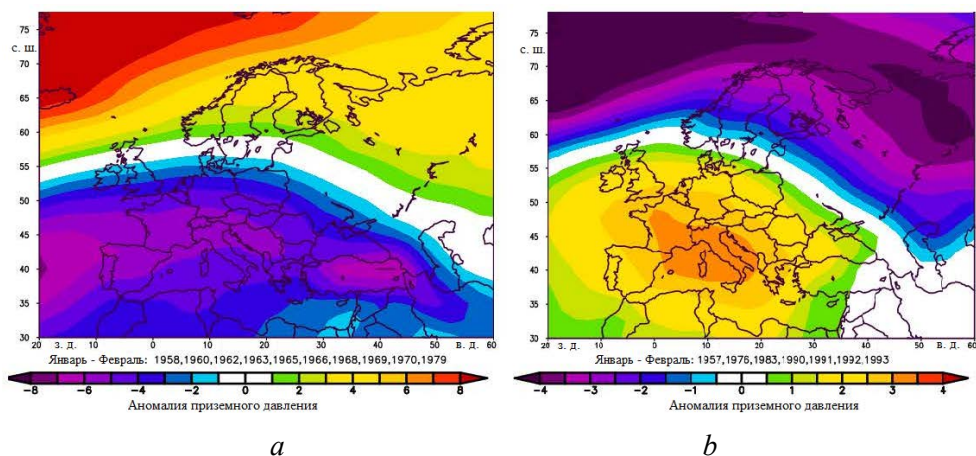
Аналогичные условия формирования АПТ Баренцева и Черного морей наблюдались и в годы с положительной аномалией АМО (1995–2020 гг.). На рис. 6, *a, b* представлены композитные карты для положительных значений индекса САК, построенные по семи годам (2000, 2007, 2008, 2012, 2014, 2017, 2019), а на рис. 6, *c, d* – для отрицательных значений индекса САК по пяти годам (2001, 2006, 2010, 2011, 2013). Климатическая норма определялась за период 1981–2010 гг.

Построенные карты (рис. 6) позволили получить следующие оценки.

При положительных значениях индекса САК аномалия поверхностной температуры Баренцева моря повышена (0,53 °С), а Черного – понижена (0,59 °С) (рис. 6, *a, b*). При отрицательных значениях индекса САК (рис. 6, *c, d*) аномалия поверхностной температуры Баренцева моря понижена (0,10 °С), а Черного – повышена (0,98 °С).

Обсуждение результатов

Крупномасштабные процессы изменчивости зимней поверхностной температуры Баренцева и Черного морей регулируются циркуляцией атмосферы в Атлантико-Европейском секторе, междесятилетия перестройка которой происходит под воздействием Азорского и Сибирского максимумов атмосферного давления [22, 23]. Предварительные оценки показывают, что междесятилетия изменчивость циркуляции атмосферы в регионах Восточной Европы находится преимущественно под влиянием Азорского или Сибирского центров действия атмосферы. Проиллюстрируем этот процесс на примере аномалии приземного давления, наблюдавшейся в ряде лет с отрицательными значениями индекса АМО («холодная» Северная Атлантика). Композитные карты аномалии приземного давления строились для положительных и отрицательных значений САК (рис. 7). Осреднение проводилось по тем же годам, что и для построения карт на рис. 5.



Р и с. 7. Аномалия приземного давления в ряде лет с отрицательными (*a*) и положительными (*b*) значениями индекса САК в десятилетия с отрицательными значениями индекса АМО
F i g. 7. Surface pressure anomaly in a number of years with the NAO index negative (*a*) and positive (*b*) values during the decades when the AMO index values are negative

В годы ослабленного Азорского максимума (отрицательный индекс САК) усиливается влияние Сибирского максимума (рис. 7). Результатом такой перестройки циркуляции атмосферы является предполагаемое понижение поверхностной температуры Северной Атлантики (см. рис. 1) и увеличенное поступление атлантических вод в западный сектор Арктики [8, 9]. Одновременно с этим интенсификация Сибирского максимума создает условия блокирования западного переноса на Европейской территории России [22, 23],

а ослабление Азорского максимума (см. рис. 2) приводит к сдвигу ВФЗ на юг на меридиане 30° в. д. Таким образом, в этой фазе междесятилетней изменчивости индексов САК и АМО траектории циклонов проходят вблизи Черного моря. На рис. 7 хорошо видно, что ослабление Азорского максимума создает условия для преобладания пониженного давления над центральной и южной Европой, что способствует углублению циклонов и формированию повышенной зимней температуры Черного моря.

В десятилетия хорошо развитого Азорского максимума (положительный индекс САК) и ослабленного Сибирского максимума предполагается повышение температуры поверхности Северной Атлантики (см. рис. 1). Это приводит к поступлению более теплых атлантических вод в Баренцевом море и к повышенной циклонической активности в регионе Норвежского и Баренцева морей [20]. В фазу междесятилетней изменчивости Азорского и Сибирского максимумов в регионе Норвежского и Баренцева морей создаются условия для формирования пониженного атмосферного давления, что способствует углублению циклонов в этом регионе и повышению зимней поверхностной температуры в Баренцевом море (рис. 7). Одновременно с этим увеличение индекса САК приводит к сдвигу ВФЗ к северу на долготях Черного моря (см. рис. 2), что создает условия для формирования отрицательных аномалий его зимней поверхностной температуры.

Заключение

Предварительно можно сделать вывод, что циркуляция атмосферы в Атлантико-Европейском секторе (индекс САК) является основным механизмом, регулирующим АПТ Северной Атлантики, Баренцева и Черного морей. При этом как в ряде лет с отрицательными, так и в ряде лет с положительными значениями индекса АМО при положительных значениях индекса САК температура поверхности Баренцева моря становилась выше, а Черного моря – ниже климатической нормы. При отрицательных значениях индекса САК температура поверхности Баренцева моря становилась ниже, а Черного моря – выше климатической нормы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sorteberg A., Kvamstø N. G., Byrkjedal Ø.* Wintertime Nordic Seas cyclone variability and its impact on oceanic volume transports into the Nordic Seas // *The Nordic Seas: An Integrated Perspective*. Washington, D.C. : American Geophysical Union, 2005. P. 137–156. (Geophysical Monograph Series ; vol. 158). doi:10.1029/158GM10
2. *Hurrell J. W., Deser C.* North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation // *Journal of Marine Systems*. 2009. Vol. 78, iss. 1. P. 28–41. doi:10.1016/j.jmarsys.2008.11.026
3. *Нестеров Е. С.* Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М. : Триада Лтд, 2013. 144 с.
4. Изменения климата в морской Арктике в начале XXI века / Г. В. Алексеев [и др.] // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2010. № 3 (86). С. 22–34.
5. Изменение климата Арктики при глобальном потеплении / Г. В. Алексеев [и др.] // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2015. № 1 (103). С. 32–41.

6. *Смирнов А. В., Кораблев А. А., Вязилова А. Е.* Сезонная и межгодовая изменчивость термохалинных характеристик вод в районе корабля погоды «Майк» // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 2 (100). С. 25–32.
7. Variability of the intermediate Atlantic water of the Arctic Ocean over the Last 100 Years / I. V. Polyakov [et al.] // *Journal of Climate*. 2004. Vol. 17, iss. 23. P. 4485–4497. doi:10.1175/JCLI-3224.1
8. Северо-Атлантическое колебание – доминирующий фактор изменчивости циркуляционных океанических систем Северной Атлантики / Г. С. Дворянинов [и др.] // Доклады Академии наук. 2016. Т. 466, № 3. С. 345–349. doi:10.7868/S0869565216030208
9. *Михайлова Н. В., Баянкина Т. М., Сизов А. А.* Два режима взаимодействия атмосферы и океана в атлантическом секторе Арктического бассейна // *Океанология*. 2021. Т. 61, № 4. С. 509–516. doi:10.31857/S0030157421030096
10. *Enfield D. B., Cid-Serrano L.* Secular and multidecadal warmings in the North Atlantic and their relationships with major hurricane activity // *International Journal of Climatology*. 2010. Vol. 30, iss. 2. P. 174–184. doi:10.1002/joc.1881
11. *Yashayaev I., Seidov D.* The role of the Atlantic water in multidecadal ocean variability in the Nordic and Barents Seas // *Progress in Oceanography*. 2015. Vol. 132. P. 68–127. doi:10.1016/j.pocsea.2014.11.009
12. *Семенов В. А., Черенкова Е. А.* Оценка влияния атлантической мультидекадной осцилляции на крупномасштабную атмосферную циркуляцию в атлантическом секторе в летний сезон // Доклады Академии наук. 2018. Т. 478, № 6. С. 697–701. doi:10.7868/S0869565218060178
13. *Крашенинникова С. Б., Крашенинникова М. А.* Причины и особенности долговременной изменчивости ледовитости Баренцева моря // *Лед и снег*. 2019. Т. 59, № 1. С. 112–122. doi:10.15356/2076-6734-2019-1-112-122
14. Крупномасштабные особенности синхронной изменчивости зимней поверхностной температуры в Баренцевом и Черном морях / А. А. Сизов [и др.] // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 501, № 1. С. 108–112. doi:10.31857/S2686739721110141
15. Decadal and interannual SST variability in the tropical Atlantic Ocean / J. A. Carton [et al.] // *Journal of Physical Oceanography*. 1996. Vol. 26, iss. 7. P. 1165–1175. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1996\)026<1165:DAISVI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1996)026<1165:DAISVI>2.0.CO;2)
16. *Xie S.-P., Tanimoto Y.* A pan-Atlantic decadal climate oscillation // *Geophysical Research Letters*. 1998. Vol. 25, iss. 12. P. 2185–2188. <https://doi.org/10.1029/98GL01525>
17. *Сизов А. А., Чехлан А. Е.* Аномалии гидрометеорологических полей в районе Черного моря, связанные с градиентами температуры поверхности воды в Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология*. 2010. № 7. С. 65–74.
18. *Breeden M. L. and McKinley G. A.* Climate impacts on multidecadal $p\text{CO}_2$ variability in the North Atlantic: 1948–2009 // *Biogeosciences*. 2016. Vol. 13, iss. 11. P. 3387–3396. doi:10.5194/bg-13-3387-2016
19. *Serykh I. V.* Influence of the North Atlantic dipole on climate changes over Eurasia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 48 : International Conference and Early Career Scientists School on Environmental Observations, Modelling and Information Systems (ENVIROMIS-2016). 012004. doi:10.1088/1755-1315/48/1/012004
20. *Золотокрылин А. Н., Михайлов А. Ю., Туткова Т. Б.* Влияние притока теплых атлантических вод на аномалии климата в атлантическом секторе Арктики // *Лед и снег*. 2015. Т. 55, № 3. С. 73–82. doi:10.15356/2076-6734-2015-3-73-82
21. *Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А., Федирко А. В.* Региональные особенности синоптической изменчивости поля температуры на поверхности Черного моря по спутниковым данным // *Морской гидрофизический журнал*. 2020. Т. 36, № 2. С. 202–213. doi:10.22449/0233-7584-2020-2-202-213

22. Семенов Е. К., Соколичина Н. Н., Соколичина Е. В. Синоптические условия формирования и развития новороссийской боры // Метеорология и гидрология. 2013. № 10. С. 16–28.
23. Семенов Е. К., Соколичина Н. Н., Тудрий К. О. Теплая зима в российской Арктике и аномальные холода в Европе // Метеорология и гидрология. 2013. № 9. С. 43–54.

Об авторах:

Сизов Анатолий Александрович, старший научный сотрудник, отдел взаимодействия атмосферы и океана, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **SPIN-код: 7443-9446 AuthorID: 856808, WoS ResearcherID: S-1481-2019, ORCID ID: 0000-0001-9055-768**, sizov_anatoliy@mail.ru

Баянкина Татьяна Михайловна, научный сотрудник, отдел взаимодействия атмосферы и океана, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **SPIN-код: 1066-7128 AuthorID: 825808, WoS ResearcherID: G-2535-2019, ORCID ID: 0000-0002-7394-7110**, bayankina_t@mail.ru

Посошков Владимир Леонидович, научный сотрудник, отдел взаимодействия атмосферы и океана, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **SPIN-код: 7634-9828 AuthorID: 854854, ORCID ID: 0000-0002-3891-2772**, vla_po@mail.ru

Анисимов Анатолий Евгеньевич, старший научный сотрудник, отдел взаимодействия атмосферы и океана, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **SPIN-код: 1645-7874 AuthorID: 630799, WoS ResearcherID: ABA1705-2020, ORCID ID: 0000-0002-5530-5608**, anisimov1@mail.ru