



## Междесятилетняя изменчивость крупномасштабной атмосферной циркуляции Атлантико-Европейского сектора, обуславливающая аномалии поверхностной температуры Черного, Баренцева и Норвежского морей

А. А. Сизов, Т. М. Баянкина , В. Л. Посошков, **А. В. Юровский**

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

 bayankina\_t@mail.ru

Поступила в редакцию 28.03.2022; одобрена после рецензирования 29.06.2022;  
принята к публикации 15.11.2023.

### *Аннотация*

*Цель.* Цель работы – оценка междесятилетней изменчивости зимних гидрометеорологических полей в Атлантико-Европейском секторе в разные фазы индексов Арктического и Североатлантического колебаний.

*Методы и результаты.* Анализируются структура положительных (отрицательных) аномалий высоты геопотенциала по композитным картам аномалии высоты геопотенциала на уровнях  $H_{1000}$  и  $H_{50}$ , индекс Североатлантического колебания по данным из архива Центра прогнозирования климата, аномалии поверхностной температуры моря по данным из Японского центра океанографических данных в десятилетие отрицательных и десятилетие положительных значений индексов Арктического и Североатлантического колебания. В десятилетие положительных значений этих индексов усиливаются Азорский антициклон и Исландский циклон, а Сибирский антициклон ослабевает. В десятилетие отрицательных значений, наоборот, усиливается Сибирский антициклон, а Азорский антициклон и Исландский циклон ослабевают. Циркуляция атмосферы в Атлантико-Европейском секторе в субрегионе Западной Европы формируется под влиянием атлантических воздушных масс, а в субрегионе Восточной Европы – под влиянием Азорского антициклона и отрога Сибирского антициклона. В десятилетие положительной фазы Арктического и Североатлантического колебания поверхностная температура Черного моря становится ниже климатической нормы, а Баренцева и Норвежского морей – выше. В десятилетие отрицательной фазы Арктического и Североатлантического колебания поверхностная температура Черного моря становится выше, а Баренцева и Норвежского морей – ниже.

*Выводы.* Междесятилетняя изменчивость интенсивности полярного вихря в разные фазы Арктического колебания влияет на перераспределение массы атмосферы между центром полярного вихря и его границами. Следствием этого является усиление (ослабление) Азорского, Сибирского и Исландского центров действия атмосферы и формирование междесятилетней изменчивости циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском секторе. В результате формируются барические структуры в субрегионах Атлантико-Европейского сектора, обуславливающие аномалии приземной температуры воздуха и поверхностной температуры морей с противоположными знаками.

**Ключевые слова:** Северная Атлантика, гидрометеорологические параметры, Черное море, Баренцево море, Норвежское море, аномалия температуры, геопотенциал, Североатлантическое колебание, Арктическое колебание, междесятилетняя изменчивость

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2024-0014 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан-атмосфера, формирующих изменчивость физического состояния морской среды на различных пространственно-временных масштабах». Авторы выражают благодарность Е. И. Дячкиной за помощь в подборе литературы.

© Сизов А. А., Баянкина Т. М., Посошков В. Л., Юровский А. В., 2024


Для цитирования: Междесятилетняя изменчивость крупномасштабной атмосферной циркуляции Атлантико-Европейского сектора, обуславливающая аномалии поверхностной температуры Черного, Баренцева и Норвежского морей / А. А. Сизов [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2024. Т. 40, № 1. С. 21–36. EDN IJKOHT.

Original article

## Interdecadal Variability of Large-Scale Atmospheric Circulation in the Atlantic-European Sector Conditioning Surface Temperature Anomalies in the Black, Barents and Norwegian Seas

A. A. Sizov, T. M. Bayankina , V. L. Pososhkov, A. V. Yurovskiy

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

 bayankina\_t@mail.ru

### Abstract

*Purpose.* The study is purposed at analyzing and assessing the interdecadal variability of winter hydro-meteorological fields in the Atlantic-European sector during different phases of the Arctic and North Atlantic Oscillations indices.

*Methods and Results.* The structure of positive (negative) anomalies of the geopotential height was analyzed based on the composite maps of geopotential height anomalies at levels  $H_{1000}$  and  $H_{50}$ , the North Atlantic Oscillation index was scrutinized using the data from the Climate Prediction Center archives, the sea surface temperature anomalies were surveyed applying the information from the Japan Oceanographic Data Center. The researches covered two periods: a decade of negative and a decade of positive values of the Arctic and North Atlantic Oscillations indices. During a decade of positive values of these indices, the Azores anticyclone and the Icelandic cyclone are intensified, while the Siberian anticyclone weakens. And, on the contrary, during a decade of negative values, the Siberian anticyclone strengthens, while the Azores anticyclone and the Icelandic cyclone wane. Atmospheric circulation in the Atlantic-European sector (the Western Europe subregion) is formed being affected by the Atlantic air masses, and in the Eastern Europe subregion – by the Azores anticyclone and the Siberian anticyclone spur. During a decade of positive phase of the Arctic and North Atlantic Oscillations, the Black Sea surface temperature decreases and becomes lower than the climatic normal, whereas that of the Barents and Norwegian seas – higher. During a decade of negative phase of the Arctic and North Atlantic Oscillations, the surface temperature of the Black Sea becomes higher, and that of the Barents and Norwegian seas – lower.

*Conclusions.* During different phases of the Arctic Oscillation, interdecadal variability in the polar vortex intensity affects the redistribution of atmospheric mass between the center of a polar vortex and its boundaries. The consequence of this phenomenon consists in strengthening (weakening) of the Azores, Siberian and Icelandic centers of atmospheric action as well as formation of the interdecadal variability of atmospheric circulation in the Atlantic-European sector. As a result, the pressure structures conditioning the anomalies in surface air and sea surface temperatures with opposite signs are formed in the subregions of the Atlantic-European sector.

**Keywords:** North Atlantic, hydrometeorological parameters, Black Sea, Barents Sea, Norwegian Sea, temperature anomaly, geopotential, North Atlantic Oscillation, Arctic Oscillation, interdecadal variability

**Acknowledgments:** The work was carried out within the framework of state assignment on theme FNNN-2024-0014 “Fundamental research of interaction processes in the ocean-atmosphere system which form variability of physical state of marine environment on different spatial-temporal scales”. The authors are grateful to E. I. Dyachkina for her assistance in selecting scientific literature.

**For citation:** Sizov, A.A., Bayankina, T.M., Pososhkov, V.L. and Yurovskiy, A.V., 2024. Interdecadal Variability of Large-Scale Atmospheric Circulation in the Atlantic-European Sector Conditioning Surface Temperature Anomalies in the Black, Barents and Norwegian Seas. *Physical Oceanography*, 31(1), pp. 18-32.

## Введение

Основными характеристиками атмосферной циркуляции, влияющими на погодные условия в Северной Европе, являются Североатлантическое колебание (САК) и Арктическое колебание (АК). САК и АК регулируют интенсивность циклонической и антициклонической деятельности в Северной Атлантике и Европе [1].

В исследованиях [2, 3] отмечается, что АК участвует в перераспределении атмосферной массы между Арктикой и средними широтами от поверхности земли до нижней стратосферы и имеет тесные связи с САК. Коэффициент корреляции между САК и АК равен 0,95 [3]. Характерной чертой отрицательной фазы АК является высокое атмосферное давление над полярными районами и низкое давление в средних широтах (около 45° с. ш.). При положительном значении индекса АК – картина противоположная [4–7]. В работе [5] показано, что АК является доминантной модой изменчивости в поле приземного атмосферного давления и в поле геопотенциальных высот в Северном полушарии от 20° с. ш. до Северного полюса. Изменчивость атмосферных процессов характеризуется аномалиями приземного давления одного знака в Арктике и аномалиями противоположного знака в средних широтах 40°–50° с. ш.

В положительную фазу АК наблюдается положительная аномалия приземного давления на северо-востоке Азии и над Европой, а над Сибирью, Западной Арктикой и Гренландией – отрицательная. В отрицательную фазу АК наблюдается противоположное распределение аномалий приземного барического поля [5].

Годовые значения индекса САК хорошо коррелируют с температурой поверхности моря. Корреляция между зимними значениями индекса САК и аномалиями температуры воздуха в Северной Европе составляет 0,7–0,8 [8].

В [8] на основе анализа литературных источников были обобщены основные черты гидрометеорологических полей Северной Атлантики в зимние месяцы в разные фазы САК. В этой работе показано, что в Атлантико-Европейском секторе приземное давление и высота геопотенциала на уровне  $H_{50}$  в Азорском антициклоне и Исландском циклоне изменяются синфазно в разные фазы САК [8]. В положительную фазу САК Азорский антициклон усиливается, а Сибирский антициклон ослабевает. При этом аномалия приземного давления и высоты геопотенциала в Исландском циклоне отрицательная, а в Азорском антициклоне – положительная [8]. В отрицательную фазу САК процесс усиления и ослабления этих центров действия атмосферы развивается в противоположном направлении. Для региона Восточной Европы, как показано в [9, 10], это означает, что в отрицательную фазу САК усиливается влияние Сибирского антициклона на атмосферную циркуляцию<sup>1</sup>.

Известно, что междесятилетняя изменчивость фазы индекса САК происходит в противофазе с изменчивостью поверхностной температуры Северной Атлантики (индекс АМО) [11].

Цель нашей работы заключается в исследовании роли АК как проявления полярного вихря в формировании междесятилетней изменчивости индекса САК и аномалий гидрометеорологических характеристик в Атлантико-Европейском секторе.

---

<sup>1</sup> Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Москва.: Росгидромет, 2008. Т. 1 : Изменения климата. 227 с. URL: <http://climate2008.igcc.ru/v2008/htm/index00.htm> (дата обращения: 09.01.2024).

## Материалы и методы

В работе анализировались средние значения гидрометеорологических характеристик за январь – март из архивов Центра прогнозирования климата (*Climat Prediction Center*) и Японского центра океанографических данных (*Japan Oceanographic Data Center*).

Из архива Центра прогнозирования климата (URL: [https://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/tele\\_index.nh](https://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/tele_index.nh)) выбирались средние значения индекса САК, аномалий высот геопотенциала (*Monthly/Seasonal Maps and Composites: NCEP/NCAR Reanalysis and other datasets* от *NOAA Physical Sciences Laboratory*) в выделенных климатических центрах Азорского (25°–40° с. ш., 15°–45° з. д.), Сибирского (45°–55° с. ш., 85°–105° в. д.) антициклонов и Исландского циклона (60°–75° с. ш., 15°–50° з. д.). Аномалии высоты геопотенциала анализировались в приземном слое на уровнях  $H_{1000}$  и в нижней стратосфере  $H_{50}$ .

Значения поверхностной температуры в Атлантико-Европейском секторе выбирались из Японского центра океанографических данных (URL: [https://ds.data.jma.go.jp/tcc/products/el\\_nino/cobesst/cobe-sst.html](https://ds.data.jma.go.jp/tcc/products/el_nino/cobesst/cobe-sst.html)).

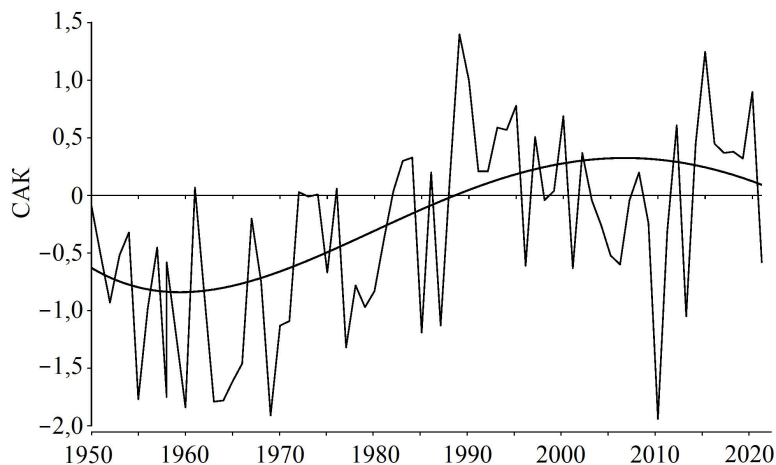
## Результаты и обсуждение

Исследовались гидрометеорологические процессы в Атлантико-Европейском секторе в 1950–2020 гг. в различные фазы САК. В работе [8] отмечено, что отрицательная фаза САК наблюдалась в 1960–1970 гг., а положительная фаза – в 1980–1990 гг. На рис. 1 показана межгодовая изменчивость среднего значения индекса САК за январь – март. Отрицательные средние значения индекса САК наблюдались в 1960–1970 гг., положительные – в 1980–2000 гг. (рис. 1).

Для анализа использовались осредненные по десятилетним временным интервалам значения гидрометеорологических характеристик. Это позволило показать основные различия значений этих характеристик в исследуемых субрегионах Атлантико-Европейского сектора в указанные десятилетия.

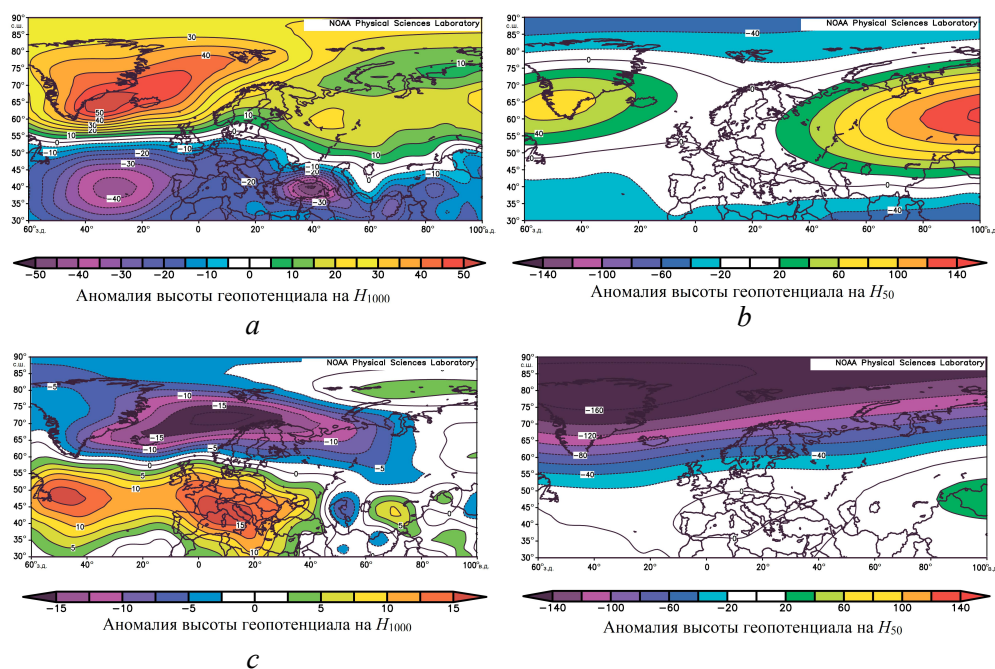
Для оценки экстремальных состояний зимней пространственной структуры гидрометеорологических полей в Атлантико-Европейском секторе была рассмотрена их изменчивость в двух десятилетних интервалах: отрицательных (1961–1970 гг.) и положительных (1991–2000 гг.) значений индекса САК. С учетом того, что значения индексов САК и АК (стратосферный полярный вихрь) в зимние месяцы положительные [7], была рассмотрена пространственная структура аномалии высоты геопотенциала у поверхности земли ( $H_{1000}$ ) и в нижней стратосфере ( $H_{50}$ ) на Евразийском континенте. Аномалии высоты геопотенциала на этих уровнях вычислялись относительно климатического ряда за 1991–2020 гг., они показаны на композитных картах в различные фазы САК (рис. 2).

В десятилетие отрицательных и десятилетие положительных значений индекса САК аномалии высоты геопотенциала у поверхности земли и в нижней стратосфере близки по структуре (рис. 2), что согласуется с результатами [2, 7].



**Р и с. 1.** Межгодовая изменчивость средних значений индекса САК за январь – март (тонкая линия) и полиномиальная линия тренда (толстая линия)

**F i g. 1.** Interannual variability of the NAO index average values for January – March (thin line) and polynomial trend line (thick line)



**Р и с. 2.** Композитные карты аномалии высоты геопотенциала на  $H_{1000}$  (*a*, *c*),  $H_{50}$  (*b*, *d*) в десятилетие (1961–1970 гг.) отрицательной фазы индекса САК (*a*, *b*) и в десятилетие (1991–2000 гг.) его положительной фазы (*c*, *d*)

**F i g. 2.** Composite maps of the geopotential height anomalies at  $H_{1000}$  (*a*, *c*) and  $H_{50}$  (*b*, *d*) during the decade (1961–1970) of the NAO index negative phase (*a*, *b*) and the decade (1991–2000) of its positive phase (*c*, *d*)

В десятилетие отрицательных значений индекса САК (1961–1970 гг.) положительная аномалия высоты геопотенциала ( $H_{1000}$ ) распространялась на всю Арктику, восток Европы и Сибири, а ее отрицательная аномалия располагалась над Центральной и Южной Европой (южнее  $50^\circ$  с. ш.). На рис. 2, *a* показано, что в это десятилетие сформировались две области с максимальными положительными аномалиями высоты геопотенциала в субрегионах Гренландии и Исландии (40–50 м), в районе Сибирского антициклона (20 м). Положительный максимум аномалии высоты геопотенциала над Гренландией хорошо известен как Гренландский блокинг [12]. Согласно [1] частые зимние блокинги над Северной Атлантикой наблюдаются в отрицательной фазе САК. Процесс усиления Гренландского блокинга и ослабления Исландского циклона происходит одновременно с усилением Сибирского и ослаблением Азорского антициклонов (рис. 2, *a*). В районе климатического положения Азорского антициклона отрицательная аномалия высоты геопотенциала составляла 40 м. Другая экстремальная отрицательная аномалия локализовалась вблизи юго-восточной части Черного моря и была равна 30 м.

Положительные аномалии высоты геопотенциала в субрегионах Гренландии и Сибирского антициклона хорошо выделяются в нижней стратосфере на уровне  $H_{50}$ . Особенно это заметно в субрегионе Сибирского антициклона, где положительная аномалия высоты геопотенциала  $H_{50}$  превышает соответствующую аномалию  $H_{1000}$  в 6–7 раз (рис. 2, *b*).

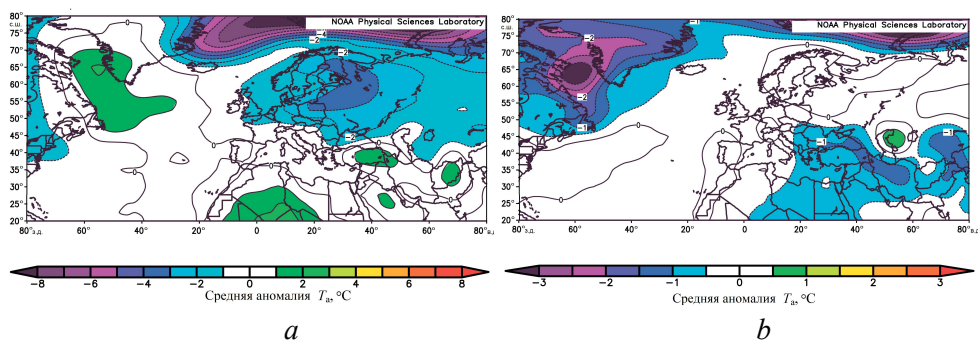
Показанные на рис. 2, *a*, *b* особенности распределения аномалии высоты геопотенциала позволяют сделать предварительный вывод о том, что эти аномалии хорошо выражены в атмосфере от приземного слоя до нижней стратосферы в десятилетие отрицательных значений индекса САК.

В десятилетие положительных значений индекса САК (1991–2000 гг.) усиливался Азорский антициклон (рис. 2, *c*) и в субрегионе его климатической локации (вблизи Ньюфаундленда) положительная аномалия высоты геопотенциала составляла около 10 м. Одновременно с этим на юге Центральной Европы (на севере Апеннинского полуострова) образовался второй центр Азорского антициклона с положительной аномалией высоты геопотенциала, равной 15 м. Формирование двух центров Азорского антициклона можно объяснить усилением Исландского циклона. В это десятилетие отрицательная аномалия высоты геопотенциала в Исландском антициклоне достигала 15 м (рис. 2, *c*), его барическая ложбина разделяла Азорский антициклон на два ядра. При этом Исландский циклон (рис. 2, *c*) распространял свое влияние на моря Северо-Европейского бассейна, включая Баренцево море. В нижней стратосфере (рис. 2, *d*) в высоких широтах образовался стратосферный полярный вихрь с отрицательной аномалией высоты геопотенциала 160 м.

Оценка величины аномалии высоты геопотенциала, как и все приведенные выше оценки, приближительна, поскольку она зависит от выбора климатического среднего. По этой же причине в субрегионе Азорского антициклона аномалия высоты геопотенциала была близка к нулю, а в субрегионе Сибирского антициклона – положительная аномалия составляла 20 м. В это десятилетие особенности вертикальной структуры аномалии высоты геопотенциала в Азорском, Исландском и Сибирском центрах действия атмосферы выражены слабо.

Показанное на рис. 2 распределение аномалий высоты геопотенциала в приземном слое Евроазиатского региона дает представление о том, как изменяется циркуляция атмосферы в Атлантико-Европейском секторе в десятилетие отрицательных и десятилетие положительных значений индекса САК. Соответственно, появляются изменения в пространственном распределении крупномасштабных аномалий гидрометеорологических полей.

Далее нами исследовалось пространственное распределение аномалии температуры воздуха в приземном слое атмосферы Атлантико-Европейского сектора (рис. 3).



**Рис. 3.** Аномалия приземной температуры воздуха в Атлантико-Европейском секторе в десятилетие отрицательных (1961–1970 гг.) (a) и десятилетие положительных (1991–2000 гг.) (b) значений индекса САК

**Fig. 3.** Anomaly of surface air temperature in the Atlantic-European sector during the decades of negative (1961–1970) (a) and positive (1991–2000) (b) NAO index values

Распределение аномалии приземной температуры в Атлантико-Европейском секторе (рис. 3) показывает хорошую связь с распределением аномалии высоты геопотенциала (рис. 2). Заметим, что аномалия высоты геопотенциала и атмосферное давление тесно связаны [8].

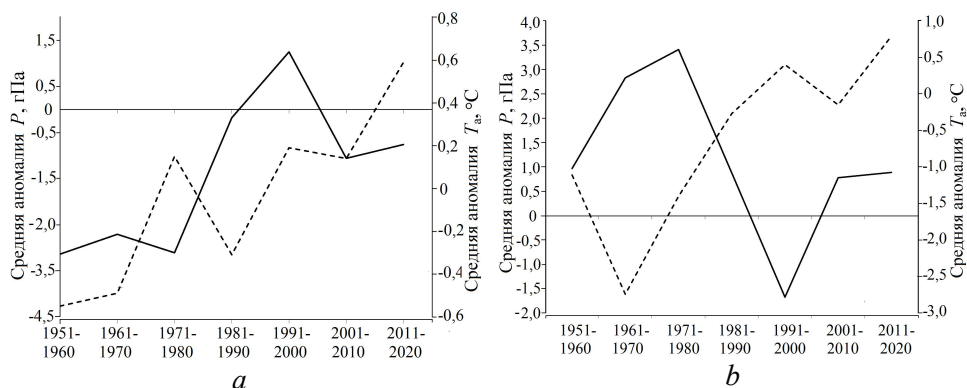
В десятилетие отрицательных значений индекса САК (1961–1970 гг.) антициклоническая циркуляция приземной атмосферы, представленная положительной аномалией высоты геопотенциала на уровне  $H_{1000}$  в районе между Гренландией и Исландией, «закачивала» теплый воздух Атлантики в регион Лабрадорского моря. В этом районе сформировалась положительная аномалия приземной температуры воздуха. Это согласуется с результатами работы [13]. По восточной периферии антициклона у Гренландии и Исландии (рис. 2, a) «закачивался» арктический воздух в район Скандинавии и севера Европы, это привело к образованию отрицательной аномалии приземной температуры воздуха [13]. В субтропических широтах (рис. 3, a) циклоническая циркуляция, образовавшаяся в десятилетие отрицательных значений индекса САК, сформировала температуру воздуха в регионах Южной Европы, близкую к климатической норме.

В десятилетие положительных значений индекса САК (1991–2000 гг.) аномалия приземной температуры воздуха в Атлантико-Европейском секторе была отрицательной (рис. 3, b). При усилении «нюнфаундлендского» ядра

(рис. 2, *c*) Азорский антициклон «закачивал» в район Лабрадорского моря арктический воздух, образуя в этом районе отрицательную аномалию приземной температуры воздуха.

Западная периферия «апеннинского» ядра Азорского антициклона (рис. 2, *c*) «закачивала» атлантический воздух в высокие широты, формируя там температуру воздуха, близкую к климатической норме. Восточная периферия «апеннинского» ядра Азорского антициклона транспортировала арктический воздух в субтропические широты, формируя в этом регионе отрицательную аномалию приземной температуры воздуха (рис. 3, *b*).

Барическое поле в Западной и Восточной Европе заметно различалось в десятилетие отрицательных и десятилетие положительных значений индекса САК (рис. 2, *a, b*). Для выявления различий в структуре термобарических характеристик в европейской части были выбраны два субрегиона: западный ( $40^{\circ}$ – $70^{\circ}$  с. ш.,  $10^{\circ}$  з. д. –  $10^{\circ}$  в. д.) и восточный ( $50^{\circ}$ – $70^{\circ}$  с. ш.,  $30^{\circ}$  в. д. –  $50^{\circ}$  в. д.). Изменчивость приземного давления и температуры воздуха в этих субрегионах показана на рис. 4.



**Рис. 4.** Аномалии приземного давления  $P'$  (сплошная линия) и температуры воздуха  $T'_a$  (штриховая линия) в западном (*a*) и восточном (*b*) субрегионах  
**Fig. 4.** Anomalies of surface pressure  $P'$  (solid line) and air temperature  $T'_a$  (dashed line) in the western (*a*) and eastern (*b*) subregions

Западный субрегион в десятилетие отрицательных значений индекса САК (рис. 4, *a*) находился в области отрицательной аномалии приземного давления (соответствует области отрицательной аномалии высоты геопотенциала на уровне  $H_{1000}$  на рис. 2, *a*). Восточный субрегион (рис. 4, *b*) располагался в области положительной аномалии приземного давления (соответствует области положительной аномалии высоты геопотенциала на уровне  $H_{1000}$  на рис. 2, *a*). На атмосферные процессы в этом субрегионе большое влияние оказывал отрог Сибирского антициклона.

В десятилетие положительных значений индекса САК, наоборот, западный субрегион (рис. 4, *a*) находился в области положительной аномалии приземного давления (положительная аномалия высоты геопотенциала на  $H_{1000}$ ) (рис. 2, *c*), а восточный субрегион (рис. 4, *b*) – в области отрицательной аномалии приземного давления (отрицательная аномалия высоты геопотенциала на  $H_{1000}$ )



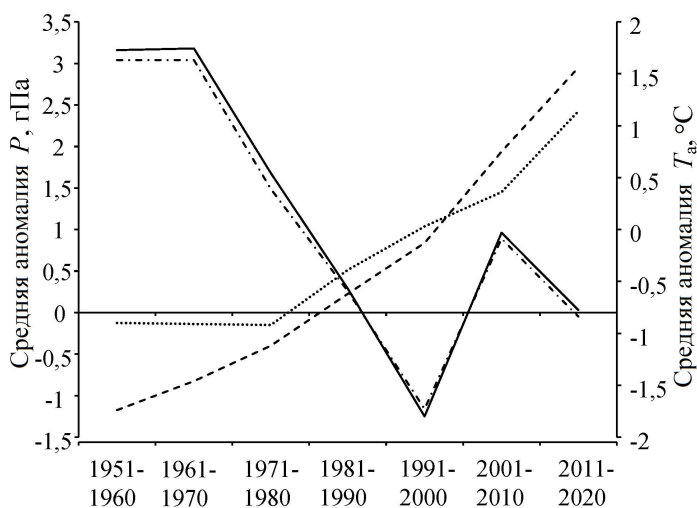
(рис. 2, *c*). Поэтому можно сказать, что междесятилетняя изменчивость аномалии приземного давления в этих субрегионах происходила в противофазе.

Междесятилетняя изменчивость аномалии температуры воздуха в западном и восточном субрегионах отражает особенности теплового влияния Северной Атлантики на Евразийский континент. В западном субрегионе (рис. 4, *a*) она определялась изменчивостью аномалии поверхностной температуры Северной Атлантики (индекс АМО [14]), а в восточном субрегионе (рис. 4, *b*) находилась под влиянием процессов, определяемых Азорским антициклоном и отрогом Сибирского антициклона.

В десятилетие отрицательных значений индекса САК (рис. 4, *b*) при ослаблении Азорского и усилении Сибирского антициклона во время вторжения арктического воздуха образовалась отрицательная аномалия температуры воздуха.

В десятилетие положительных значений индекса САК (рис. 4, *b*) наблюдался противоположный процесс: усиление Азорского и ослабление Сибирского антициклона создавало в восточном субрегионе положительную аномалию температуры воздуха.

Приземное термобарическое поле в Атлантико-Европейском секторе проявлялось в аномалиях приземного давления и температуры воздуха в субрегионах Черного моря и морей Северо-Европейского бассейна. Междесятилетняя изменчивость зимней аномалии этих характеристик в Норвежском и Баренцевом морях показана на рис. 5.



**Р и с. 5.** Междесятилетняя изменчивость аномалии атмосферного давления  $P$  в Баренцевом (штрихпунктирная линия) и Норвежском (сплошная линия) морях и аномалии приземной температуры воздуха в регионах Баренцева (пунктирная линия) и Норвежского (штриховая линия) морей

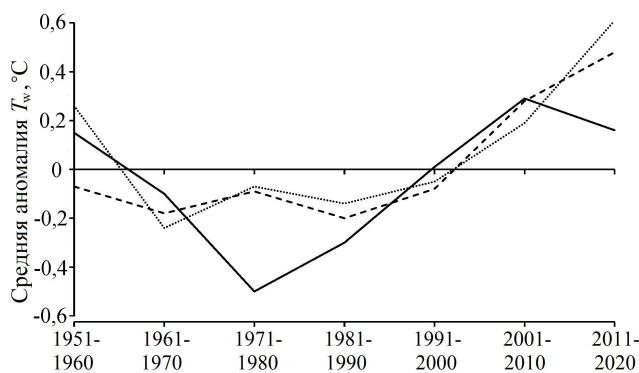
**F i g. 5.** Interdecadal variability of the atmospheric pressure anomaly  $P$  in the Barents (dash-dotted line) and Norwegian (solid line) seas and the surface air temperature anomalies in the regions of the Barents (dotted line) and Norwegian (dashed line) seas

В отрицательную фазу АК и САК (1950–1970 гг.) отмечалась положительная аномалия приземного давления при развитии Гренландском блокинге [7]. В эти годы над акваториями Норвежского и Баренцева морей преобладали антициклонические условия циркуляции атмосферы, для которых характерны низкие температуры воздуха (рис. 5).

В десятилетия положительной фазы АК и САК (1981–2020 гг.) в регионе этих морей преобладала отрицательная аномалия приземного давления, при которой создавались циклонические условия циркуляции атмосферы, поддерживающие положительную аномалию приземной температуры воздуха. Корреляция аномалий приземного давления и температуры воздуха в регионе Норвежского и Баренцева морей значима и равна  $-0,68$ .

Формирование аномалии температуры поверхности морей происходило с участием атлантической водной массы, приносимой в регион Норвежским течением. Поэтому междесятилетняя изменчивость аномалии температуры поверхности Норвежского и Баренцева морей во многом определялась соответствующей изменчивостью индекса АМО (средняя аномалия температуры поверхности Северной Атлантики за январь – март).

Для оценки междесятилетней изменчивости аномалии температуры поверхности моря использовался аналог индекса АМО – средняя аномалия температуры поверхности Северной Атлантики за январь – март. Акватория, по которой определялась эта аномалия, ограничивалась координатами  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$  с. ш.,  $10^{\circ}$ – $55^{\circ}$  з. д. (рис. 6).



**Рис. 6.** Междесятилетняя изменчивость аномалии температуры поверхности Северной Атлантики (сплошная линия) и температура поверхности Норвежского (штриховая линия) и Баренцева (пунктирная линия) морей

**Fig. 6.** Interdecadal variability of surface temperature anomaly of the North Atlantic (solid line) and surface temperature of the Norwegian (dashed line) and Barents (dotted line) seas

Поверхностная температура Северной Атлантики была ниже климатической нормы в 1960–1990 гг. и выше климатической нормы в 1950 и 2000–2020 гг. (рис. 6). В эти же десятилетия наблюдались соответствующие аномалии температуры поверхности Норвежского и Баренцева морей. Коэффициент корреляции аномалии температуры поверхности этих морей и аномалии температуры поверхности Северной Атлантики значим и равен  $0,64$ . Можно пред-

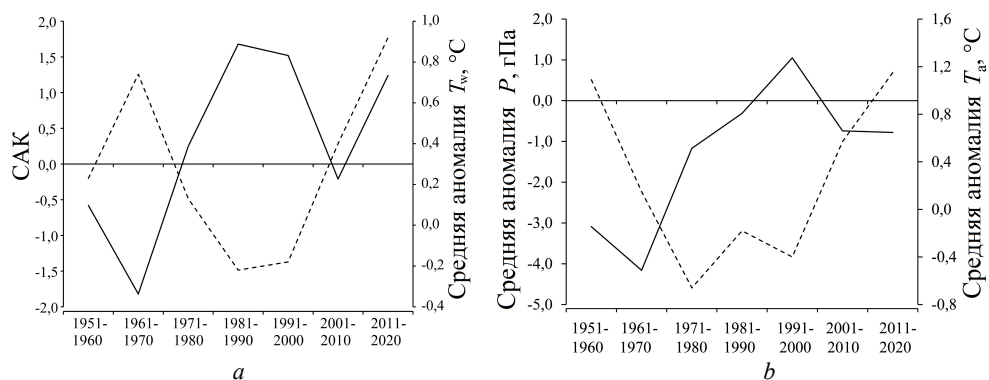
положить, что междесятилетняя изменчивость температуры поверхности Норвежского и Баренцева морей определялась в основном соответствующей изменчивостью температуры поверхности Северной Атлантики.

В десятилетие отрицательных значений индекса САК (1961–1970 гг.) регионы Норвежского и Баренцева морей характеризовались аномально высоким, а регион Черного моря – аномально низким приземным давлением. Такая же противофазность в распределении аномалии приземного давления наблюдалась в десятилетие положительных значений индекса САК (1991–2000 гг.).

Отличие региона Черного моря от регионов Норвежского и Баренцева морей состоит в том, что изменение аномалии температуры поверхности атлантических вод не оказывает прямого воздействия на формирование температуры поверхности Черного моря [15]. Основной вклад в формирование аномалий приземной температуры и температуры поверхности Черного моря дает циркуляция атмосферы.

В десятилетие отрицательных значений индекса САК в регионе Черного моря преобладала циклоническая циркуляция атмосферы, а в десятилетие положительных значений индекса САК – антициклоническая [15].

Междесятилетняя изменчивость приземной температуры воздуха, температуры поверхности моря и атмосферного давления в Черном море показана на рис. 7. Циркуляция атмосферы на этом рисунке представлена индексом САК.



**Р и с. 7.** Междесятилетняя изменчивость индекса САК (сплошная линия) и аномалии температуры поверхности моря  $T_w$  (штриховая линия) (а), приземного давления (сплошная линия) и приземной температуры воздуха  $T_a$  (штриховая линия) (б) Черного моря

**F i g. 7.** Interdecadal variability of the NAO index (solid line) and the anomalies of sea surface temperature (dashed line) (a), surface pressure (solid line) and surface air temperature (dashed line) (b) of the Black Sea

На рис. 7 видно, что междесятилетняя изменчивость аномалии приземного давления в регионе Черного моря согласуется с изменчивостью индекса САК. Коэффициент корреляции между САК и атмосферным давлением равен 0,90. Соответственно, в десятилетие отрицательных значений индекса САК (1961–1970 гг.) в регионе преобладали циклонические условия циркуляции атмосферы, температура поверхности моря была выше климатической нормы. В десятилетие положительных значений индекса САК (1980–2000 гг.) в регионе

преобладали антициклонические условия циркуляции атмосферы, температура поверхности моря была ниже климатической нормы.

Междесятилетняя изменчивость приземной температуры воздуха соответствует изменчивости аномалии температуры поверхности моря с коэффициентом корреляции 0,64. Однако отрицательные значения аномалии приземной температуры в десятилетия 1971–1980 гг. и 1991–2000 гг. подтверждают, что приземная температура воздуха в регионе Черного моря формируется под влиянием вторжения арктического воздуха.

Крупномасштабная перестройка циркуляции атмосферы, определяемая индексами АК и САК, формирует основные особенности структуры приземного барического поля в Атлантико-Европейском секторе. Взаимное влияние Азорского и отрога Сибирского антициклонов на барические поля этих субрегионов хорошо просматривается в корреляционных связях (таблица).

**Коэффициент корреляции между индексом САК и аномалией приземного давления, гПа, в западном и восточном субрегионах Европы**  
**Correlation coefficient between the NAO index and the surface pressure anomaly, hPa, in the western and eastern subregions of Europe**

Параметр / Parameter	$P'_з$	$P'_в$
САК	0,78	-0,73
$P'_з$	–	-0,79
$P'_в$	-0,79	–

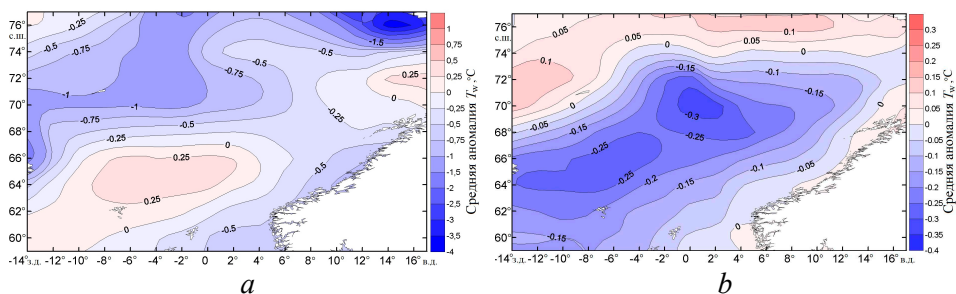
Примечание:  $P'_з$  – аномалия приземного давления в западном субрегионе Европы;  $P'_в$  – аномалия приземного давления в восточном субрегионе Европы.

Note:  $P'_w$  is surface pressure anomaly in the western subregion of Europe;  $P'_e$  – surface pressure anomaly in the eastern subregion of Europe.

Приземное давление в западном субрегионе изменяется в фазе с индексом САК, а в восточном – находится в противофазе. Соответственно, приземное давление в западном субрегионе выше климатического значения в десятилетие положительных значений САК и ниже – в десятилетие его отрицательных значений, а в восточном – наоборот.

Поэтому целесообразно рассмотреть пространственную структуру с использованием композитных карт аномалии температуры поверхности Норвежского, Баренцева и Черного морей в десятилетие отрицательных (1961–1970 гг.) и десятилетие положительных (1991–2000 гг.) значений индекса САК (рис. 8–10). На рис. 8 представлены значения аномалии температуры поверхности Норвежского моря в различные фазы САК, осредненные за январь – март.

В десятилетие отрицательных значений индекса САК (рис. 8, а) положительная аномалия температуры поверхности в Норвежском море фиксировалась в его южной части, приблизительно в районе локализации Норвежского течения. Отрицательная аномалия температуры поверхности наблюдалась в северной части моря, в районе локализации Норвежского и Лофотенского круговоротов.



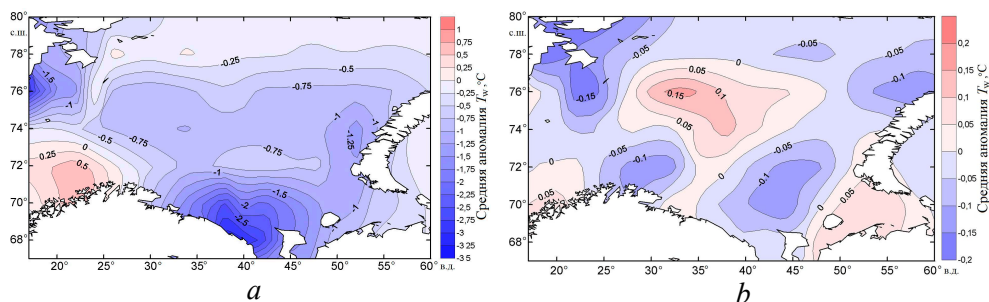
**Рис. 8.** Аномалия температуры поверхности в Норвежском море в десятилетие отрицательных (а) и десятилетие положительных (б) значений индекса САК

**Fig. 8.** Surface temperature anomaly in the Norwegian Sea during the decades of negative (a) and positive (b) values of the NAO index

В десятилетие положительных значений индекса САК (рис. 8, б) положительная аномалия температуры сместилась на север Норвежского моря, а отрицательная – на юг моря в районе Норвежского течения. Одной из причин смены знака аномалии температуры поверхности в Норвежском течении могло быть увеличение поступления атлантической воды через Фареро-Шетландский пролив в Полярный бассейн в годы отрицательных значений индекса САК [16, 17]. Одновременно увеличивался приток атлантических вод в Норвежское море через Исландско-Фарерский порог и Датский пролив [18]. Схема течений в Норвежском море [18] позволяет предположить, что ветвь Норвежского течения порождала в Норвежской и Лофотенской котловинах циклонические и антициклонические круговороты в годы отрицательных значений индекса САК. Это могло быть причиной увеличения отрицательной аномалии температуры поверхности в Норвежской котловине и ее уменьшения в Лофотенской котловине (рис. 8, а). Ослабление притока атлантических вод в Норвежское море, которое характерно для десятилетия положительных значений индекса САК [16, 17], могло быть причиной смены знака круговоротов в Норвежской и Лофотенской котловинах, в результате чего менялся знак аномалии температуры поверхности в этих районах (рис. 8, б).

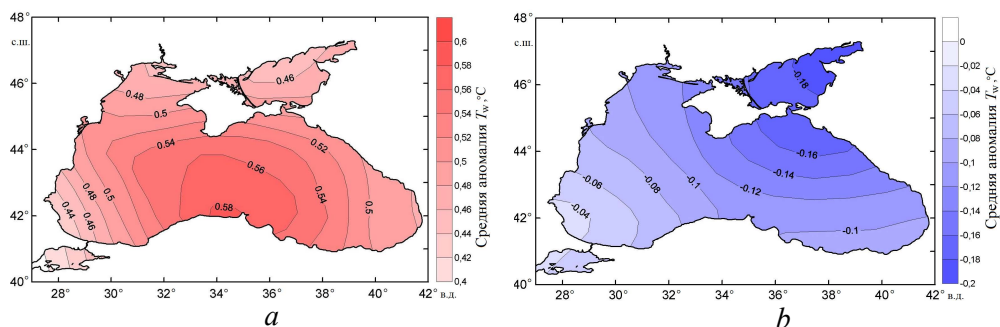
В Баренцевом море в десятилетие отрицательных значений индекса САК (рис. 9, а) наблюдалась отрицательная аномалия температуры поверхности моря, при этом максимально холодные воды располагались в его южном и восточном районах. В десятилетие положительных значений индекса САК более холодные воды занимали восточную и западную периферии моря, а более теплые воды – центральную часть Баренцева моря (рис. 9, б).

Можно предполагать, что и в этом случае локализация областей с более теплой и более холодной водой определялась существованием антициклонического и циклонического круговоротов в районе Баренцева моря. Известно, например, что в восточной части Баренцева моря происходит трансформация термохалинных характеристик водных масс [19]. В результате этого формируется водная масса с компонентами фрамовской и баренцевоморской ветвей атлантической воды [20].



**Р и с. 9.** Аномалия температуры поверхности Баренцева моря в десятилетие отрицательных (а) и десятилетие положительных (б) значений индекса САК  
**Fig. 9.** Surface temperature anomaly in the Barents Sea during the decades of negative (a) and positive (b) values of the NAO index

Пространственное распределение аномалии температуры поверхности Черного моря в десятилетие отрицательных и десятилетие положительных значений индекса САК показаны на рис. 10.



**Р и с. 10.** Аномалия температуры поверхности Черного моря в десятилетие отрицательных (а) и десятилетие положительных (б) значений индекса САК  
**Fig. 10.** Surface temperature anomaly of the Black Sea during the decades of negative (a) and positive (b) values of the NAO index

Температура поверхности Черного моря выше климатической нормы в годы отрицательных значений индекса САК и циклонической циркуляции атмосферы (рис. 10, а) и ниже климатической нормы в годы положительных значений индекса САК при антициклонической циркуляции (рис. 10, б), что согласуется с результатами работы [15].

### З а к л ю ч е н и е

1. Междесятилетняя изменчивость зимних гидрометеорологических характеристик в Атлантико-Европейском секторе регулируется атмосферной циркуляцией, крупномасштабная флуктуация которой формируется в значительной степени динамикой полярного вихря.
2. В зависимости от стадии развития полярного вихря (фазы АК) происходит усиление или ослабление Азорского, Сибирского и Исландского центров действия атмосферы.

3. В Атлантико-Европейском секторе формируются локальные регионы с различающимися характеристиками циркуляции атмосферы, создающие в субрегионах Европы и морей Северно-Европейского бассейна соответствующие аномалии приземного давления, температуры воздуха и поверхностной температуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hurrell J. W.* Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation // *Science*. 1995. Vol. 269, iss. 5224. P. 676–679. <http://dx.doi.org/10.1126/science.269.5224.676>
2. *Thompson D. W. J., Wallace J. M.* The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // *Geophysical Research Letters*. 1998. Vol. 25, iss. 9. P. 1297–1300. doi:10.1029/98GL00950
3. *Deser C.* On the teleconnectivity of the “Arctic Oscillation” // *Geophysical Research Letters*. 2000. Vol. 27, iss. 6. P. 779–782. <https://doi.org/10.1029/1999GL010945>
4. Interannual variability in the stratospheric-tropospheric circulation in a coupled ocean-atmosphere GCM / A. Kitoh [et al.] // *Geophysical Research Letters*. 1996. Vol. 23, iss. 5. P. 543–546. <https://doi.org/10.1029/96GL00158>
5. *Overland J. E., Adams J. M., Bond N. A.* Decadal variability of the aleutian low and its relation to high-latitude circulation // *Journal of Climate*. 1999. Vol. 12, iss. 5. P. 1542–1548. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<1542:DVOTAL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<1542:DVOTAL>2.0.CO;2)
6. *Greatbatch R. J.* The North Atlantic Oscillation // *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2000. Vol. 14, iss. 4–5. P. 213–242. <https://doi.org/10.1007/s004770000047>
7. North Atlantic Oscillation – concepts and studies / H. Wanner [et al.] // *Surveys in Geophysics*. 2001. Vol. 22, iss. 4. P. 321–381. <https://doi.org/10.1023/A:1014217317898>
8. *Нестеров Е. С.* Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. Москва : Триада, ЛТД, 2013. 144 с.
9. *Попова В. В., Шмакин А. Б.* Влияние североатлантического колебания на многолетний гидротермический режим Северной Евразии. I. Статистический анализ данных наблюдений // *Метеорология и гидрология*. 2003. № 5. С. 62–74. EDN PROROR.
10. *Семенов Е. К., Соколихина Н. Н., Тудрий К. О.* Теплая зима в российской Арктике и аномальные холода в Европе // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 9. С. 43–54. EDN RBPMTZ.
11. *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. EDN YSJIFC. doi:10.7868/S0869565218060178
12. Climatological features of blocking highs from the perspective of air mass and mass transport / Y. Li [et al.] // *International Journal of Climatology*. 2020. Vol. 40, iss. 2. P. 782–794. <https://doi.org/10.1002/joc.6238>
13. *Van Loon H., Rogers J. C.* The seesaw in winter temperatures between Greenland and Northern Europe. Part 1: Greenland description // *Monthly Weather Review*. 1978. Vol. 106, iss. 3. P. 296–310. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1978\)106<0296:TSIWTB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1978)106<0296:TSIWTB>2.0.CO;2)
14. *Enfield D. B., Mestas-Nuñez A. M., Trimble P. J.* The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. // *Geophysical Research Letters*. 2001. Vol. 28, iss. 10. P. 2077–2080. doi:10.1029/2000GL012745
15. 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. EDN CTGFFS. doi:10.22449/0233-7584-2022-3-276-290

16. 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. EDN VHVLJF. doi:10.7868/S0869565216030208
17. 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. EDN NAAGFV. doi:10.31857/S0030157421030096
18. Hughes S. L., Holliday N. P., Gaillard F. Variability in the ICES/NAFO region between 1950 and 2009: observations from the ICES Report on Ocean Climate // ICES Journal of Marine Science. 2012. Vol. 69, iss. 5. P. 706–719. doi:10.1093/icesjms/fss044
19. Основные результаты океанологических исследований Северного Ледовитого океана в последнее десятилетие / И. М. Ашик [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1 (103). С. 42–56. EDN TXNZVN
20. Иванов В. В., Аксенов Е. О. Трансформация атлантической воды в восточной части котловины Нансена по данным наблюдений и моделирования // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 1(95). С. 72–87. EDN QIKULT.

*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**, **WOS ResearcherID: S-1481-2019**, **ORCID ID: 0000-0001-9055-4768**, sizov\_anatoliy@mail.ru

**Баянкина Татьяна Михайловна**, старший 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**, **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**, **ORCID ID: 0000-0002-3891-2772**, vla\_po@mail.ru

**Юровский Александр Васильевич**, научный сотрудник, отдел взаимодействия атмосферы и океана, ФГБУН МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **ResearcherID: S-1551-2019**, a\_yurovsky@mail.ru