

Гидрометеорология и экология. 2023. № 71. С. 293—310.  
Hydrometeorology and Ecology. 2023;(71):293—310.

## ***OCEANOLOGIA***

Научная статья  
УДК 551.465.63(261.1)  
doi: 1033933/2713-3001-2023-71-293-310

### **Межгодовая изменчивость температуры поверхности океана в полярных широтах Атлантического океана**

***Николай Викторович Никольский, Юрий Владимирович Артамонов,  
Елена Александровна Скрипалева***

ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, nikolsky.geo@gmail.com

*Аннотация.* По данным реанализа OI SST за период с 1982 по 2017 гг. выявлены общие закономерности и региональные различия в межгодовой изменчивости температуры поверхности океана в полярных широтах Атлантического океана. В обоих полярных бассейнах положение областей с высоким уровнем межгодовой изменчивости температуры качественно совпадает с положением интенсивных течений. Тенденции многолетней изменчивости температуры поверхности океана в Арктике и Антарктике заметно различаются. В Атлантическом секторе Арктики преобладают значимые положительные тренды, Антарктики — значимые отрицательные тренды. В Арктике максимальные значения положительных трендов наблюдаются в августе—сентябре, в Антарктике максимальные по абсолютной величине отрицательные тренды наблюдаются с августа по октябрь.

*Ключевые слова:* Атлантические секторы Арктического и Антарктического бассейнов, температура поверхности океана, линейные тренды, геострофические течения

*Благодарности.* Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2021-0004 «Океанологические процессы».

*Для цитирования:* Никольский Н. В., Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А. Межгодовая изменчивость температуры поверхности океана в полярных широтах Атлантического океана // Гидрометеорология и экология. 2023. № 71. С. 293—310. doi: 1033933/2713-3001-2023-71-293-310.

## ***OCEANOLOGY***

Original article

### **Interannual variability of sea surface temperature at the polar latitudes of the Atlantic Ocean**

***Nikolai V. Nikolskii, Yuri V. Artamonov, Elena A. Skripaleva***

FSBSI FRC Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

*Summary.* The general regularities and regional differences in the interannual variability of the sea surface temperature in the polar latitudes of the Atlantic Ocean are revealed according to the OI SST

reanalysis data for period 1982—2017. The reanalysis contains daily average sea surface temperature values at the nodes of a regular grid  $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ . In this work, areas where the ice concentration did not exceed 90 % were analyzed. In both polar basins, the position of areas with a high level of sea surface temperature interannual variability qualitatively coincides with the position of intense currents. The maximum values of linear sea surface temperature trends are observed in areas of the maximum level of interannual variability, while the trends in long-term sea surface temperature variability in the Arctic and Antarctic are noticeably different. Significant positive sea surface temperature trends prevail in the Atlantic sector of the Arctic. Significant negative trends have been identified only off the northeastern coast of Greenland and north of the Arctic Current. The sea surface temperature decrease on a long-term scale in this area is associated with an increase of cold water transport by the East Greenland and Arctic currents, which are formed as a result of the intensive melting of Arctic ice observed in recent decades. In the Atlantic sector of the Antarctic, on the contrary, significant negative sea surface temperature trends prevail. In the Arctic, the maximum values of positive sea surface temperature trends are observed in August—September during the period of maximum warming of surface waters and minimum concentration of drifting ice. In the Antarctic, the maximum negative sea surface temperature trends in absolute value are observed from August to October, during the period of surface water cooling and maximum ice concentration.

*Keywords:* Atlantic sectors of the Arctic and Antarctic basins, sea surface temperature, linear trends, geostrophic currents

*Acknowledgments:* The study was carried out within the framework FSBSI FRC MHI State Order FNNN-2021-0004 «Oceanological processes».

*For citation:* Nikolskii N. V., Artamonov Y. V., Skripaleva E. A. Interannual variability of sea surface temperature at the polar latitudes of the Atlantic Ocean. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(71):293—310. (In Russ.). doi: 1033933/2713-3001-2023-71-293-310.

## Введение

Арктический и Антарктический бассейны обладают огромным ресурсным потенциалом, что способствует активизации хозяйственно-административной и научной деятельности в этих регионах. В условиях, наблюдаемых в настоящее время, климатических изменений [1—9] все более актуальными становятся исследования изменений структуры вод в полярных бассейнах в сезонном и межгодовом временных масштабах, которые оказывают существенное воздействие на региональный климат и экосистему [2—5, 7, 8, 10]. В этих исследованиях важную роль играют оценки крупномасштабной изменчивости поля температуры как индикатора теплосодержания деятельного слоя океана, в значительной степени определяющего протекание глобальных атмосферных процессов [4, 6, 10—22]. В настоящее время имеется большое количество работ, в которых анализируется долгопериодная изменчивость температуры в отдельных районах Арктического и Антарктического бассейнов [4, 6, 10—22]. По данным гидрологических измерений для Арктического бассейна за период 1980—1996 гг. было показано, что в Норвежском и Баренцевом морях хорошо выражена сезонная и межгодовая изменчивость температуры слоя Атлантических вод (АВ), проникающих в Арктический бассейн. При этом наибольшие амплитуды сезонных колебаний наблюдаются в верхнем 200-метровом слое, тогда как межгодовая изменчивость лучше выражена в промежуточных и глубинных слоях [11]. В работе [12] на основе данных зимних съемок в центральной части Северного Ледовитого океана в 1973—1979 гг. и архивных данных летних и зимних наблюдений в море Лаптевых за период 1960—2000 гг. показано, что максимальный уровень изменчивости температуры в слое АВ наблюдается в котловине Нансена. При этом авторы отмечают,

что нерегулярные синоптические измерения не всегда адекватно отражают фазы арктической изменчивости. Анализ межгодовой и десятилетней изменчивости характеристик воды в Северном Ледовитом океане с использованием данных реанализа Environmental Working Group (EWG) за 1948—1993 гг. со среднегодовым осреднением показал, что в период 1964—1969 гг. отмечалось потепление слоя АВ на большей части Северного Ледовитого океана, а в течение 1970-х и 1980-х годов преобладал холодный период [13]. В работе [15] на основе базы гидрологических данных WOD за 1900—2006 гг. было показано, что в Баренцевом море после начала 1980-х годов наблюдалось заметное потепление вод в слое АВ и среднегодовая температура в слое 100—150 м повышалась со скоростью почти  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  в год. При этом повышение температуры в Баренцевом море хорошо коррелирует с индексом Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО), определяемым как среднее значение температуры поверхности моря для региона  $0\text{—}70^{\circ}$  с.ш. Атлантического океана. В работе [16] по данным наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» было показано, что в Баренцевом море межгодовые колебания температуры воды в верхнем 50-метровом слое вносят примерно 33 % в изменчивость ее суммарной дисперсии. По данным океанографических наблюдений за период 1940—2012 гг. [17] было выявлено, что в Гренландском море во временной изменчивости аномалий температуры наблюдались отрицательные аномалии с 1960-х до конца 1990-х гг. и заметные положительные аномалии в последующие годы, при этом повышение температуры воды происходило до глубин 2000—3000 м. В Лабрадорском море увеличение температуры воды было менее выражено и наблюдалось только до глубины 1000 м. В проливе Фрама после 2000 г. потепление водных масс прослеживалось до глубины 3000 м [17].

В работах, посвященных Южному океану, также выявлены особенности межгодовых изменений гидрологических параметров. В работе [10] на основе данных реанализа OI SST за период 1981—2005 гг. проанализирована межгодовая изменчивость температуры поверхности океана (ТПО) в районе о. Южная Георгия и оценено влияние на эту изменчивость крупномасштабных мод атмосферной изменчивости. Показано, что межгодовые аномалии ТПО, формирующиеся в Тихом океане под влиянием событий Эль-Ниньо—Южное колебание, распространяются на восток и достигают о. Южная Георгия. На изменчивость поля ТПО в этом районе оказывает влияние также Южная кольцевая мода. Анализ межгодовой изменчивости ТПО по данным спутниковых измерений радиометрами AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometers) показал, что в период 1982—2005 гг. в пределах 300—1000-километровой полосы северу от побережья Антарктиды наблюдался рост ТПО со скоростью  $0,01 \pm 0,005\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , а для Южного океана в целом был выявлен отрицательный тренд ТПО, составляющий  $-0,02 \pm 0,003\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$  [18]. В работе [19] на основе данных реанализа Simple Ocean Data Assimilation (SODA) были проанализированы изменения меридиональной циркуляции и потоков тепла в Южном океане к югу от Австралии за период 1958—2005 гг. и показано устойчивое повышение температуры в верхнем 1000-метровом слое океана. Для этого же района по данным ХВТ измерений температуры в слое  $0\text{—}800$  м на разрезе Хобарт (Тасмания) — Антарктида за период 1992—2017 гг. были выявлены три

области с различными межгодовыми тенденциями температуры. Это потепление субантарктических вод ( $0,29 \pm 0,09$  °C за декаду), охлаждение приповерхностных субполярных вод ( $-0,07 \pm 0,04$  °C за декаду); потепление подповерхностных субполярных глубинных воды ( $0,04 \pm 0,01$  °C за декаду) [20]. Оценка многолетних трендов теплосодержания всего Южного океана по данным базы WOD 2005 показала прогрев всего 1000-метрового слоя, при этом потепление наблюдается в пределах Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) [21]. Анализ линейных трендов температуры поверхности Атлантического океана к югу от 70° с.ш. по данным массива спутниковых измерений ТПО за период 1986—2002 гг. показал тесную связь распределения трендов с особенностями крупномасштабной циркуляции вод. В зонах действия течений, переносящих теплые поверхностные воды из тропических областей, большую часть года наблюдаются положительные тренды ТПО; в зонах течений, переносящих холодные воды, наоборот, преобладают отрицательные тренды [22]. По данным реанализа OI SST за период с 1982 по 2017 гг. проанализирована межгодовая изменчивость и тренды ТПО в юго-восточной части Тихого океана и в западной части Южной Атлантики [23]. Выявлены две области статистически значимых трендов аномалий ТПО противоположного знака на Патагонском шельфе — положительных между 42° и 45° ю.ш. и отрицательных между 49° и 52° ю.ш. В целом в Атлантике к югу от Южной Америки (южнее 50° ю.ш.) на межгодовом масштабе отмечается понижение ТПО (тренд до  $-0,3$  °C/10 лет).

Анализ трендов теплосодержания всего Мирового океана в слое 0—700 м за два временных периода 1993—2019 гг. и 1968—2019 гг. показал, что на фоне преимущественного потепления Мирового океана использование более длительных периодов приводит к увеличению процентной доли площади океана со статистически значимым потеплением [9].

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что большинство исследований не только относится к отдельным районам Арктического и Антарктического бассейнов, но и базируется на различных типах данных с разным временным периодом. Общие закономерности и региональные различия межгодовой изменчивости поля температуры в Арктике и Антарктике практически не обсуждаются.

В данной работе на основе современного реанализа с высоким пространственно-временным разрешением с использованием единого методического подхода сопоставляются особенности межгодовой изменчивости поля температуры в полярных регионах Атлантического океана.

### Методика исследования

В работе рассматривались районы Атлантических секторов полярных бассейнов между 45° з.д. и 25° в.д. к северу от 60° с.ш. в Арктике, между 70° з.д. и 20° в.д. к югу от 50° ю.ш. в Антарктике. Для этой цели использовались данные реанализа NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OI SST) [24], содержащего среднесуточные значения температуры поверхности океана в узлах

регулярной сетки с шагом  $0,25^\circ$  за период с января 1982 г. по декабрь 2017 г. При создании массива применялся метод оптимальной интерполяции спутниковых и контактных измерений температуры, который позволил получить данные ТПО даже в случае, когда площадь поверхности, свободная от льда в пределах трапеции  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ , составляла всего 5 % [25]. В работе анализировались области, где сплоченность льда не превышала 80 %. Уровень межгодовой изменчивости ТПО оценивался по ее среднеквадратическим отклонениям (СКО), рассчитанным по временным рядам, состоящим из 36-ти среднемесячных значений ТПО для января, февраля и т.д., которые затем осреднялись за все 12 месяцев ( $\text{СКО}_{\text{мес}}$ ). Для расчета среднесезонного сезонного СКО ( $\text{СКО}_{\text{сез}}$ ) по среднесуточным значениям ТПО были получены временные ряды ее среднемесячных значений, по которым вычислялись внутригодовые СКО ТПО для каждого года и затем осреднялись за 36 лет. Тенденции межгодовой изменчивости ТПО оценивались по распределениям линейных трендов, рассчитанных по всему временному ряду в 432 месяца с 1982 по 2017 гг. (тренд за весь период) и по временным рядам, состоящим из 36-ти среднемесячных значений ТПО для каждого месяца (помесечные тренды). Статистическая достоверность трендов оценивалась по критерию Манна—Кендалла с уровнем статистической значимости  $\alpha = 0,05$  (95 %-ный уровень достоверности) [26, 27]. Для интерпретации пространственного распределения величин  $\text{СКО}_{\text{мес}}$  и трендов анализировалась среднегодовая структура течений по данным реанализа Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) [28], содержащего среднесуточные значения составляющих геострофической скорости на поверхности океана в узлах регулярной сетки с шагом  $0,25^\circ$  за период 1993—2020 гг. По этим значениям рассчитывались их климатические среднемесячные и среднегодовые значения, по которым затем определялись величины модуля скорости  $|\vec{v}_g|$  и направления векторов течений.

### Результаты исследований

Пространственные распределения  $\text{СКО}_{\text{мес}}$  ТПО (рис. 1 а, б) показали, что в обоих полярных бассейнах положение областей с высоким уровнем межгодовой изменчивости ТПО качественно совпадает с положением интенсивных течений (рис. 1 в, г). В Арктике в зонах Северо-Атлантического течения, течения Ирмингера, ветвей Норвежского течения, Нордкапского, Восточно-Гренландского, Западно-Шпицбергенского, Восточно-Исландского и Северо-Исландского течений величины  $\text{СКО}_{\text{мес}}$  превышают  $0,8^\circ\text{C}$  (рис. 1 а, в). Общее повышение уровня межгодовой изменчивости ТПО ( $\text{СКО}_{\text{мес}}$  выше  $0,6^\circ\text{C}$ ) наблюдается южнее Арктического течения. Максимальные значения  $\text{СКО}_{\text{мес}}$ , достигающие  $1,3^\circ\text{C}$ , отмечаются в зонах Северо-Исландского, Восточно-Гренландского и Западно-Шпицбергенского течений (рис. 1 а, в).

В Антарктике повышение уровня межгодовой изменчивости ТПО (величины  $\text{СКО}_{\text{мес}}$  выше  $0,5^\circ\text{C}$ ) прослеживается в зоне Антарктического циркумполярного течения (рис. 1 б, г). Максимальные величины  $\text{СКО}_{\text{мес}}$  ( $0,8$ — $1^\circ\text{C}$ ) наблюдаются в зонах Северной (СВ) и Центральной (ЦВ) ветвей АЦТ в проливе Дрейка и

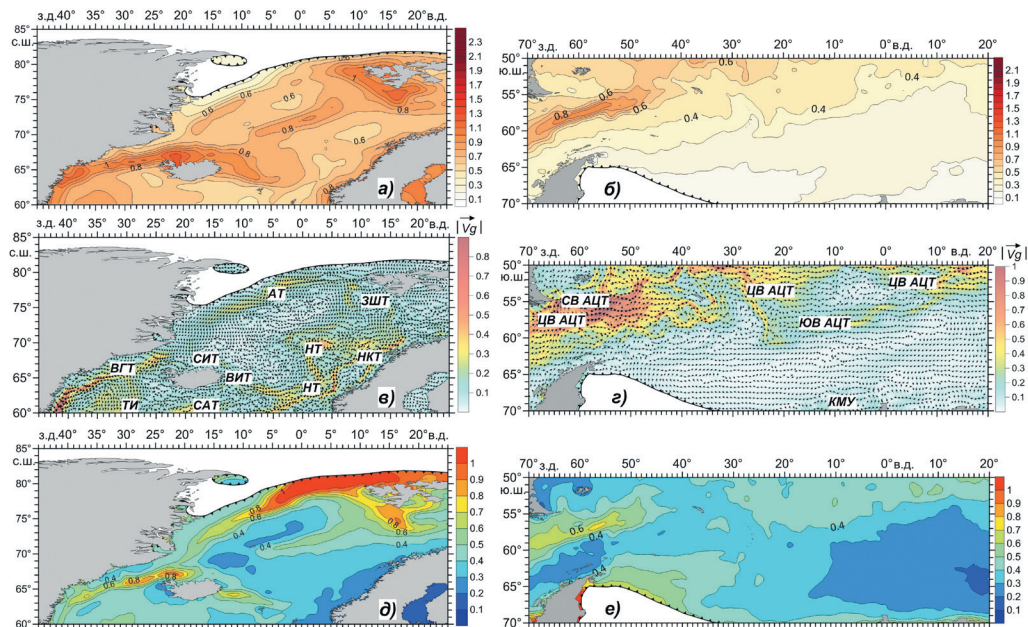


Рис. 1. Распределение статистических параметров ТПО, модуля и векторов геострофической скорости течений в полярных широтах Атлантического океана:

*a, б* —  $СКО_{\text{меж}} \text{ ТПО} (\text{°C})$ , *в, г* — модуль и векторы геострофической скорости (м/с),  
*д, е* — отношение  $СКО_{\text{меж}} \text{ ТПО} / СКО_{\text{сез}} \text{ ТПО}$ , *а, в, д* — Атлантический сектор Арктики,  
*б, г, е* — Атлантический сектор Антарктики.

Здесь и на рис. 3 и 6 жирные черные линии — среднегодовые границы дрейфующих льдов 80 %-ной сплоченности.

Fig. 1. Distribution of SST statistical parameters, module and vectors of geostrophic current velocity in the polar latitudes of the Atlantic Ocean:

*a, б* —  $SST \text{ RMSD}_{\text{interann}} (\text{°C})$ , *в, г* — модуль и векторы геострофической скорости (м/с),  
*д, е* — ratio of  $SST \text{ RMSD}_{\text{interann}} / SST \text{ RMSD}_{\text{seas}}$ , *а, в, д* — Atlantic sectors of the Arctic,  
*б, г, е* — Atlantic sectors of the Antarctic.

Here and in Fig. 3 and 6 bold black lines are the annual averaged boundaries of drifting ice with 80 % concentration.

в западной части моря Скоша (рис. 1 *б, г*). К югу от Южной ветви АЦТ (ЮВ АЦТ) значения  $СКО_{\text{меж}}$  уменьшаются до 0,3—0,4 °C. В круговороте моря Уэдделла (КМУ) и в море Лазарева уровень межгодовой изменчивости ТПО минимален, величины  $СКО_{\text{меж}}$  не превышают 0,2 °C (рис. 1 *б*).

Пространственные распределения величин отношения межгодовой  $СКО_{\text{меж}}$  к сезонному ( $СКО_{\text{меж}} / СКО_{\text{сез}}$ ) показали, что в Арктике в зонах Арктического и Восточно-Гренландского течений и в северной части Западно-Шпицбергенского течения (рис. 1 *д*) уровень межгодовой изменчивости ТПО сопоставим с уровнем ее сезонной изменчивости ( $СКО_{\text{меж}} / СКО_{\text{сез}}$  составляет 0,8—1,1). На остальной части акватории это соотношение не превышает 0,4—0,5, т.е. уровень

межгодовой изменчивости вдвое ниже уровня сезонных колебаний ТПО. В области Норвежского и Нордкапского течений величины  $СКО_{\text{меж}}$  почти в 5 раз ниже, чем  $СКО_{\text{сез}}$  (рис. 1 *д*). В Антарктике (рис. 1 *е*) почти на всей акватории величины  $СКО_{\text{меж}}/СКО_{\text{сез}}$  ТПО не превышают 0,3—0,4. Только в области максимального уровня межгодовой изменчивости ТПО в западной части акватории в зоне Северной ветви АЦТ это отношение повышается до 0,6—0,7. Некоторое увеличение значений  $СКО_{\text{меж}}/СКО_{\text{сез}}$  (до 0,5—0,6) наблюдается в северо-западной части моря Уэдделла ближе к границе дрейфующих льдов (рис. 1 *е*). Таким образом, в Атлантическом секторе Арктического бассейна уровень межгодовой изменчивости ТПО по сравнению с уровнем ее сезонной изменчивости заметно выше, чем в Атлантическом секторе Антарктики.

Для выявления общих тенденций межгодовой изменчивости ТПО были проанализированы временные ряды среднемесячных аномалий ТПО, осредненной по всей акватории каждого из бассейнов (рис. 2). Аномалии рассчитывались как разность фактической величины ТПО за конкретный месяц конкретного года и климатического среднесного значения ТПО для этого месяца, что позволило минимизировать проявление сезонного цикла ТПО в межгодовых рядах. Анализ межгодовых рядов аномалий ТПО показал, что наблюдаются различия тенденций межгодовой изменчивости в Атлантических секторах Арктики и Антарктики (рис. 2). Величины максимальных положительных и отрицательных аномалий ТПО в Арктике (1,1—1,2 °C по абсолютной величине) более чем в 2 раза превышают максимальные аномалии, наблюдаемые в Антарктике (0,4—0,5 °C по абсолютной величине).

В Арктике наблюдается хорошо выраженная смена знака аномалий ТПО с отрицательных на положительные примерно с 1998 г. Смена знака аномалий ТПО в Арктике хорошо согласуется с наступлением положительной фазы АМО

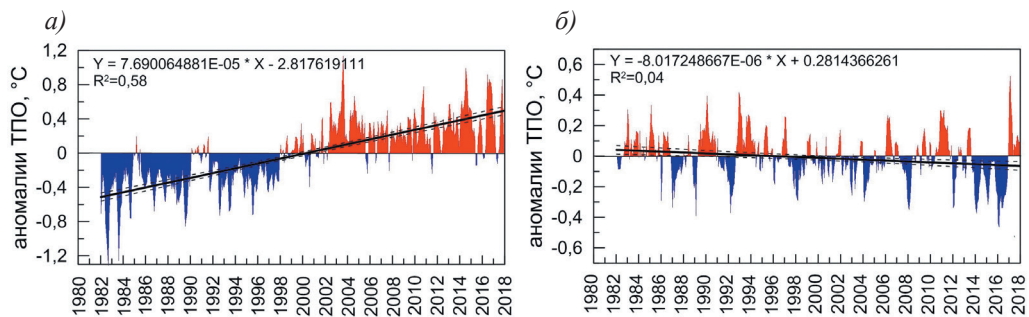


Рис. 2. Межгодовая изменчивость среднемесячных аномалий ТПО осредненных для Атлантических секторов Арктики (*а*) и Антарктики (*б*) с января 1982 по декабрь 2017 гг.

Штриховые линии — границы доверительного интервала 95 %-ного уровня статистической достоверности.

Fig. 2 Interannual variability of average monthly SST anomalies averaged for the Atlantic sectors of the Arctic (*a*) and Antarctica (*b*) from January 1982 to December 2017.

Dashed lines are the boundaries of the confidence interval of the 95 % level of statistical significance.

и резким повышением значений ее индекса после 1996—1997 гг. [6, 15, 29, 30]. До 1998 г. слабые положительные аномалии наблюдались только в течение 1991 и 1992 гг. (рис. 2 а). В Антарктике отмечается чередование положительных и отрицательных аномалий ТПО с периодичностью примерно 2—5 лет, соответствующей периодичности Южного колебания и Южной кольцевой моды (рис. 2 б).

Временной ряд аномалий ТПО в Арктике содержит хорошо выраженный положительный линейный тренд, в то время как в распределении аномалий в Антарктике наблюдается слабый незначимый отрицательный тренд (рис. 2). Следует отметить, что сравнительный анализ трендов площади распространения морского льда в Северном и Южном полушарии за период 1979—2017 гг. по спутниковым данным также выявил принципиальные отличия в характере трендов. Если в Арктике в течение всего рассматриваемого периода происходило постоянное уменьшение ледовитости, то в Антарктике до 2014 г. наблюдалось

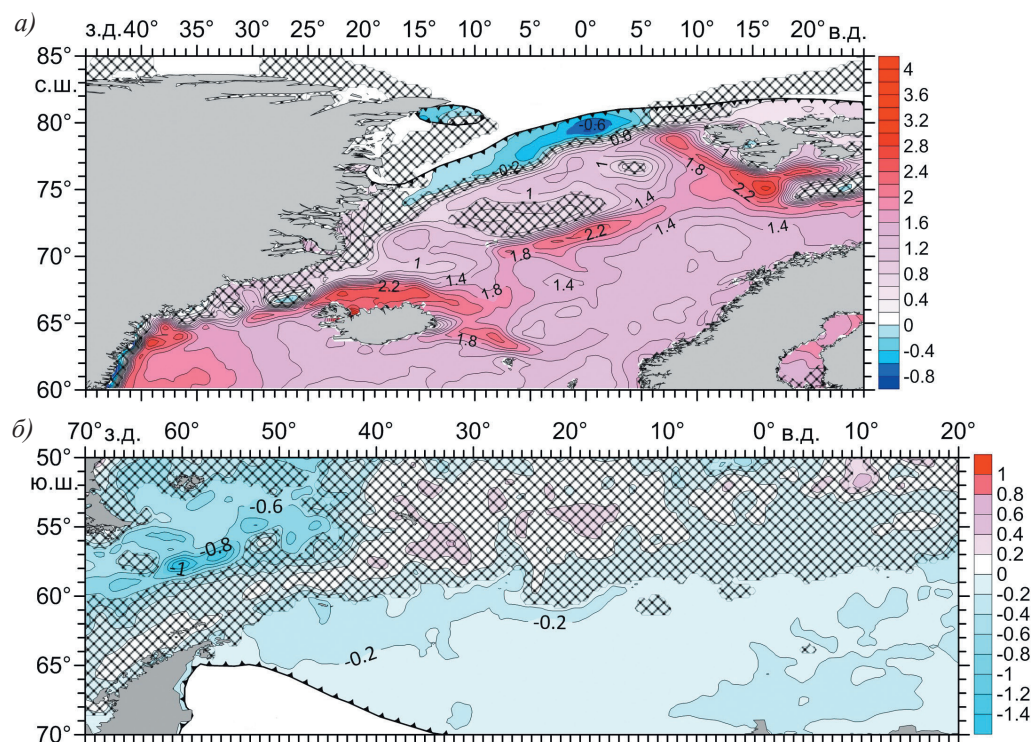


Рис. 3. Распределение линейных трендов ТПО за весь временной период ( $^{\circ}\text{C}/432$  мес.).

а) Атлантический сектор Арктики, б) Атлантический сектор Антарктики.

Здесь и на рисунках 4 и 6 области трендов с достоверностью ниже 95 % заштрихованы.

Fig. 3. Distributions of SST linear trends for the entire time period ( $^{\circ}\text{C}/432$  months).

а) Atlantic sector of the Arctic; б) Atlantic sector of the Antarctic.

Here and in Figures 4 and 6, trend areas with a confidence below 95 % are shaded.



увеличение площади морского льда, а затем началось ее быстрое уменьшение [31].

Пространственные распределения линейных трендов ТПО за весь временной период 1982—2017 гг. (рис. 3), показали, что их максимальные величины наблюдаются в областях повышенного уровня межгодовой изменчивости, т.е. в зонах наибольших значений  $СКО_{\text{меж}}$  ТПО. При этом так же, как и в распределении межгодовых рядов аномалий ТПО, тенденции многолетней изменчивости ТПО в Арктике и Антарктике заметно различаются.

В Атлантическом секторе Арктики (рис. 3 а) преобладают значимые положительные тренды ТПО, которые на большей части акватории составляют 1,2—1,8 °C/432 мес. В зонах Северо-Исландского, Восточно-Исландского, Восточно-Гренландского и Западно-Шпицбергенского течений величины трендов достигают 2,2—3 °C/432 мес. Значимые отрицательные тренды (до  $-0,8$  °C/432 мес.) выявлены у северо-восточных берегов Гренландии и севернее Арктического течения. Долговременное понижение ТПО в этом районе связано с увеличением выноса Восточно-Гренландским и Арктическим течениями холодных вод, образующихся в результате интенсивного таяния арктических льдов, наблюдаемого в последние десятилетия [4, 6, 15, 29, 31—33].

В Атлантическом секторе Антарктики преобладают значимые отрицательные тренды ТПО (рис. 3 б). Максимальные значения трендов достигают  $-1,2$  °C/432 мес. и наблюдаются в западной части акватории и в проливе Дрейка. Выявленное устойчивое понижение ТПО на межгодовом масштабе в этом районе хорошо согласуется с результатами работы [23], также базирующейся на данных реанализа OI SST. К югу от Южной ветви АЦГ в морях Уэдделла и Лазарева наблюдаются значимые отрицательные тренды, величины которых не превышают  $-0,4$  ...  $-0,2$  °C/432 мес.

Область слабых положительных трендов с достоверностью ниже 95 %, не превышающих  $0,2$  °C/432 мес., прослеживается к северу от Антарктического полуострова и далее вытягивается на северо-восток, располагаясь в зоне АЦГ. Восточнее  $40^\circ$  з.д. на отдельных участках внутри этой области величины положительных трендов несколько увеличиваются и достигают  $0,3$ — $0,4$  °C/432 мес. (рис. 3 б).

Общую закономерность межгодовой изменчивости ТПО в Атлантических секторах Арктики и Антарктики, а именно увеличение уровня межгодовой изменчивости ТПО и значений ее трендов в зонах интенсивных геострофических течений, наглядно иллюстрируют распределение величин  $|\vec{v}g|$ ,  $СКО_{\text{меж}}$  ТПО и трендов вдоль отдельных меридианов (рис. 4).

Отметим, что положение стрежней (максимумов скорости) течений восточного направления несколько смещено относительно положения максимумов  $СКО_{\text{меж}}$  и трендов — в Арктике преимущественно к югу, а в Антарктике к северу.

В Арктике в зонах ветвей Восточно-Гренландского течения и течения Ирмингера на меридиане  $28,875^\circ$  з.д., в зонах Восточно-Исландского течения на меридиане  $9,875^\circ$  з.д., ветвей и меандров Норвежского течения на меридиане

0,125° в.д., Западно-Шпицбергенского течения на меридиане 10,125° в.д. величины  $СКО_{\text{меж}}$  ТПО и трендов ТПО увеличиваются до 1—1,2 °C и 2—2,2 °C/432 мес. соответственно, в зоне ветвей Нордкапского течения на меридиане 10,125° в.д. — до 0,8 °C и 1,4—1,5 °C/432 мес. соответственно. К северу от Арктического

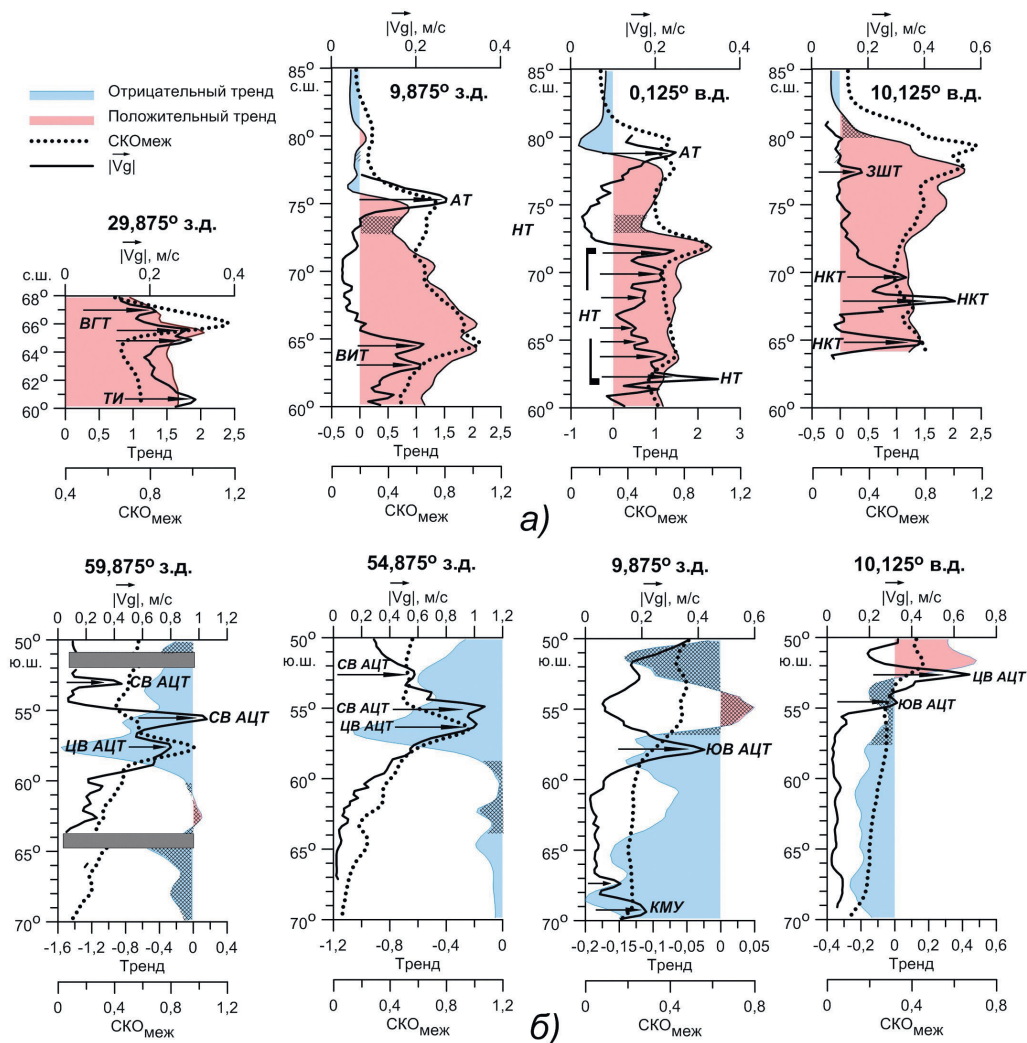


Рис. 4. Распределение среднегодовых величин  $СКО_{\text{меж}}$  ТПО (°C), линейных трендов ТПО (°C/432 мес.) и модуля  $|\vec{V}_g|$  геострофической скорости вдоль отдельных меридианов.

а) Атлантический сектор Арктики, б) Атлантический сектор Антарктики.

Fig. 4. Distributions of annual averaged values of SST RMSD<sub>interann.</sub> (°C), SST linear trends (°C/432 months) and geostrophic velocity modulus along individual meridians.

а) Atlantic sector of the Arctic; б) Atlantic sector of the Antarctic.

течения наблюдаются слабые отрицательные тренды ТПО, не превышающие  $-0,3 \text{ }^\circ\text{C}/432 \text{ мес.}$ . Максимальные по абсолютной величине отрицательные тренды, достигающие  $-0,8 \text{ }^\circ\text{C}/432 \text{ мес.}$ , отмечаются на меридиане  $0,125^\circ \text{ в.д.}$  (рис. 4 *а*).

В Антарктике на меридианах  $59,875^\circ$  и  $54,875^\circ \text{ з.д.}$  в зоне струй Северной ветви АЦТ величины трендов ТПО достигают  $-0,8 \dots -0,5 \text{ }^\circ\text{C}/432 \text{ мес.}$ , в зоне Центральной ветви АЦТ возрастают до  $-1,6 \dots -1,2 \text{ }^\circ\text{C}/432 \text{ мес.}$  Восточнее величины трендов заметно уменьшаются, тем не менее в зоне Южной ветви АЦТ и на северной периферии круговорота моря Уэдделла (КМУ) отмечается тенденция к их увеличению до  $-0,2 \dots -0,15 \text{ }^\circ\text{C}/432 \text{ мес.}$  Наибольшее увеличение СКО<sub>меж</sub> ТПО (до  $0,8\text{—}1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) отмечается в западной части акватории в зоне Центральной ветви АЦТ (рис. 4 *б*).

Распределение месячных трендов ТПО, осредненных по акваториям Атлантических секторов полярных бассейнов (рис. 5), показали, что их величины заметно изменяются в течение года.

В Арктике максимальные значения положительных трендов ТПО наблюдаются в августе—сентябре в период максимального прогрева поверхностных вод и минимальной сплоченности дрейфующих льдов. В марте—апреле, когда концентрация льдов максимальна, значения положительных трендов ТПО минимальны (рис. 5 *а*). В Антарктике максимальные по абсолютной величине отрицательные тренды ТПО наблюдаются с августа по октябрь, в период выхолаживания поверхностных вод и максимальной концентрации льдов, минимальные — в январе—марте, в период максимального прогрева вод и уменьшения концентрации дрейфующего льда (рис. 5 *б*).

Распределение месячных оценок трендов ТПО по широте вдоль отдельных меридианов, примеры которых представлены на рис. 6, показали, что повышенные значения трендов, так же, как и в случае распределения трендов за весь

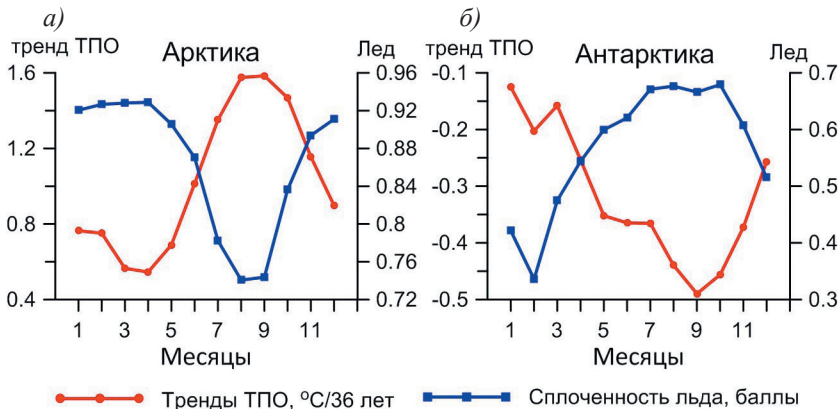


Рис. 5. Распределение месячных значений линейных трендов ТПО и сплоченности льда, осредненных для Атлантических секторов Арктики (*а*) и Антарктики (*б*).

Fig. 5. Distributions of monthly values of SST linear trends and ice concentration, averaged for the Atlantic sectors of the Arctic (*a*) and Antarctic (*b*).

период, наблюдаются в зонах интенсивных течений. Так, величины трендов в зонах Восточно-Гренландского и Восточно-Исландского течений в течение всего года превышают соответственно 1,4 °C/36 лет (рис. 6 а, б). При этом в Арктике

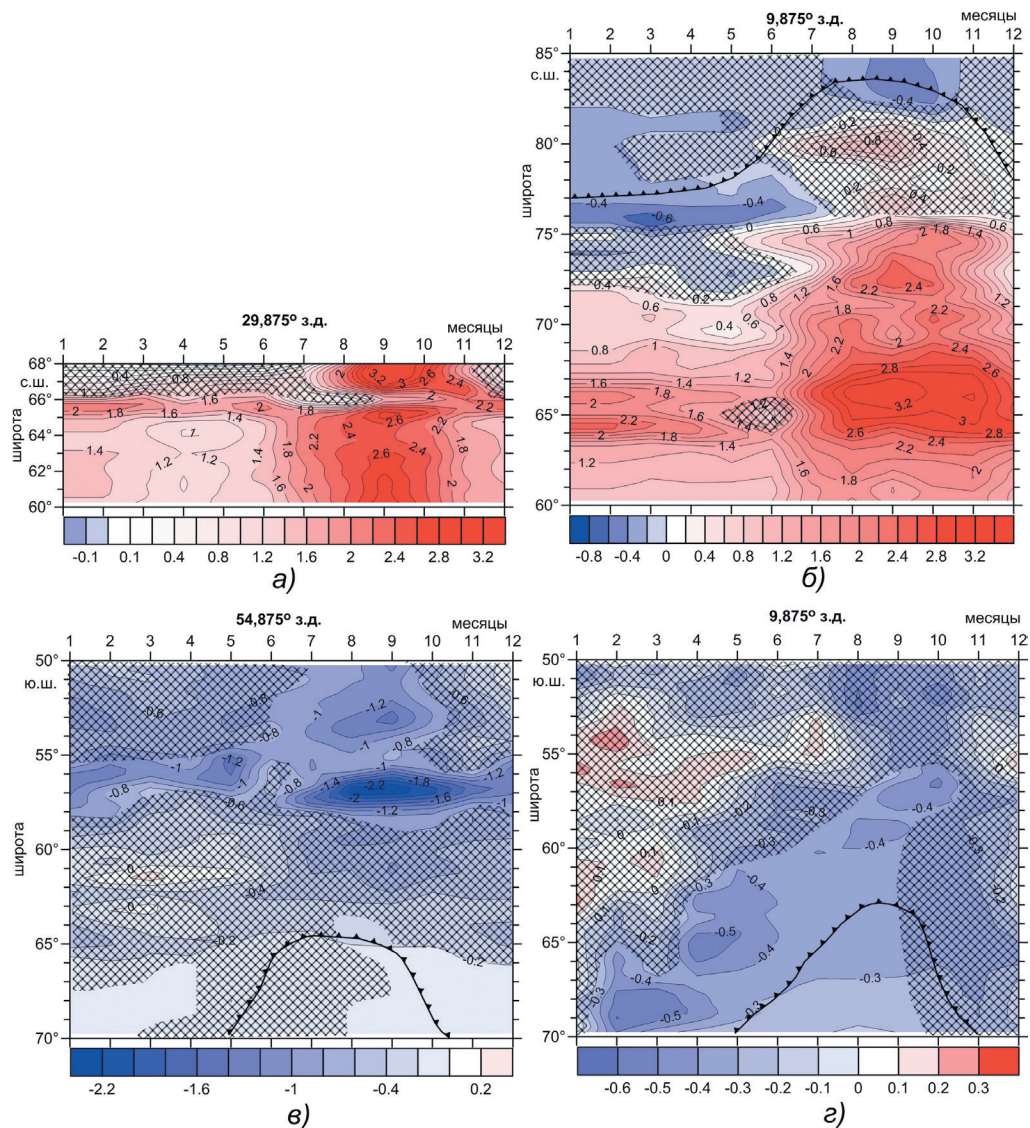


Рис. 6. Диаграммы Ховмёллера для значений трендов ТПО на меридианах 29,875° з.д. (а) и 9,875° з.д. (б) в Арктике, 54,875° з.д. (в) и 9,875° з.д. (г) в Антарктике.

Fig. 6. Hovmöller diagrams for the values of SST trends for the meridians of 29,875° W (а) and 9,875° W (б) in the Arctic, 54,875° W (в) and 9,875° W (г) in the Antarctic.

на всей акватории сохраняется тенденция увеличения положительных трендов в августе—сентябре. В эти месяцы в зонах Восточно-Гренландского и Восточно-Исландского течений величины трендов достигают  $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$  (рис. 6 а, б), в зоне течения Ирмингера —  $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$  (рис. 6 а).

На северной периферии Трансарктического течения с января по июль наблюдаются значимые отрицательные тренды ТПО, максимум которых ( $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$ ) отмечается в феврале—марте, с августа по декабрь тренды становятся положительными, но статистическая достоверность их ниже 95 %. Значимые положительные тренды наблюдаются на южной периферии АТ с июня по декабрь с максимумом ( $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$ ) в сентябре (рис. 6 б). В целом к северу от границы льдов 80 %-ной сплоченности в течение года тренды ТПО отрицательны.

В Антарктике наибольшие отличия в изменении величин помесечных трендов отмечаются в зоне АЦТ и к югу от Южной ветви АЦТ. В проливе Дрейка и в западной части моря Скоша в зоне Северной и Центральной ветвей АЦТ максимальные отрицательные тренды ( $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$  и  $-2,4\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$  соответственно) наблюдаются в августе—сентябре (рис. 6 в). В круговороте моря Уэдделла в результате сезонного выхолаживания вод и смещения границы дрейфующих льдов на север отмечается фазовое запаздывание периодов, когда тренды ТПО максимальны. Максимальные тренды ( $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$  ...  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$ ) наблюдаются южнее  $67^{\circ}$  ю.ш. в феврале—марте, между  $66^{\circ}$  и  $61^{\circ}$  ю.ш. — в апреле—мае, севернее  $60^{\circ}$  ю.ш. — в августе, а на южной периферии АЦТ — в сентябре—октябре (рис. 6 г).

### Заключение

По данным реанализа OI SST за период 1982—2017 гг. показано, что в Атлантических секторах полярных бассейнов положение областей с высоким уровнем межгодовой изменчивости температуры качественно совпадает с положением интенсивных течений. В Арктике максимальные значения  $\text{СКО}_{\text{меж}}$ , достигающие  $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , отмечаются в зонах Северо-Исландского, Восточно-Гренландского и Западно-Шпицбергенского течений. В Антарктике максимальные величины  $\text{СКО}_{\text{меж}}$  ( $0,8\text{—}1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) наблюдаются в зонах Северной и Центральной ветвей Антарктического циркумполярного течения в северо-восточной части пролива Дрейка и в западной части моря Скоша.

Установлено, что в зонах Арктического, Восточно-Гренландского и Западно-Шпицбергенского течения межгодовая изменчивость ТПО сопоставима с уровнем ее сезонной изменчивости ( $\text{СКО}_{\text{меж}}/\text{СКО}_{\text{сез}}$  составляют  $0,8\text{—}1,1$ ). В Антарктике почти на всей акватории величины  $\text{СКО}_{\text{меж}}/\text{СКО}_{\text{сез}}$  ТПО не превышают  $0,3\text{—}0,4$ . В западной части акватории в зоне Северной ветви АЦТ это отношение повышается до  $0,6\text{—}0,7$ . Увеличение значений  $\text{СКО}_{\text{меж}}/\text{СКО}_{\text{сез}}$  до  $0,5\text{—}0,6$  наблюдается в северо-западной части моря Уэдделла ближе к границе дрейфующих льдов.

Показано, что в обоих Атлантических секторах полярных бассейнов максимальные значимые линейные тренды ТПО за 36 лет наблюдаются в областях высокого уровня межгодовой изменчивости, при этом в Арктике и Антарктике

тенденции многолетней изменчивости ТПО заметно различаются. В Атлантическом секторе Арктики преобладают значимые положительные тренды, Антарктики — отрицательные. В Арктике на всей акватории наблюдается увеличение положительных трендов в августе—сентябре. В зонах Восточно-Гренландского и Восточно-Исландского течений они достигают  $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$ , в зоне течения Ирмингера —  $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$ . На северной периферии Арктического течения с января по июль наблюдаются значимые отрицательные тренды ТПО, максимум которых ( $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$ ) отмечается в феврале—марте. С августа по декабрь здесь тренды становятся положительными. На южной периферии Арктического течения значимые положительные тренды наблюдаются с июня по декабрь с максимумом ( $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$ ) в сентябре.

В Антарктике максимальные отрицательные тренды ( $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$  и  $-2,4\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$  соответственно) выявлены в проливе Дрейка и в западной части моря Скоша в зоне Северной и Центральной ветвей АЦТ в августе—сентябре. В круговороте моря Уэдделла в результате сезонного выхолаживания вод и смещения границы дрейфующих льдов на север отмечается фазовое запаздывание периодов, когда тренды ТПО максимальны. Максимальные тренды ( $-0,4 \dots -0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/36\text{ лет}$ ) наблюдаются южнее  $67^{\circ}$  ю.ш. в феврале—марте, между  $66^{\circ}$  и  $61^{\circ}$  ю.ш. — в апреле—мае, севернее  $60^{\circ}$  ю.ш. — в августе, а на южной периферии АЦТ — в сентябре—октябре.

### Список литературы

1. Turner J., Colwell S. R., Marshall G. J. et al. Antarctic Climate Change during the Last 50 Years // *International Journal of Climatology*. 2005. Vol. 25. No. 3. P. 279—294. doi:10.1002/joc.1130.
2. Anisimov O. A., Vaughan D. G., Callaghan T. V. et al. Polar regions (Arctic and Antarctic). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, C. E. Hanson, Eds. Cambridge: University Press, 2007. P. 653—685.
3. Алексеев Г. В., Иванов Н. Е., Пнюшков А. В., Балакин А. А. Изменения климата в морской Арктике в начале XXI века // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2010. № 3 (86). С. 22—34.
4. Семенов В. А., Мохов И. И., Латиф М. Роль границ морского льда и температуры поверхности океана в изменениях регионального климата в Евразии за последние десятилетия // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2012. Т. 48. № 4. С. 403—421.
5. Алексеев Г. В., Радионов В. Ф., Александров Е. И. и др. Изменения климата Арктики при глобальном потеплении // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2015. № 1 (103). С. 32—41.
6. Семенов В. А. Колебания современного климата, вызванные обратными связями в системе атмосфера — арктические льды — океан // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. № 1. С. 232—248.
7. Малинин В. Н. Глобальный экологический кризис и климат // *Ученые записки РГГМУ*. 2017. № 48. С. 11—32.
8. Рябинин В. Э., Сычёв В. И. К десятилетию ООН, посвященному науке об океане в интересах устойчивого развития (2021—2030 гг.) // *Ученые записки РГГМУ*. 2019. № 54. С. 73—79. doi:10.33933/2074-2762-2019-54-73-79
9. Johnson G. C., Lyman J.M. Warming trends increasingly dominate global ocean // *Nature Climate Change*. 2020. Vol. 10. Iss. 8. P. 757—761. doi:10.1038/s41558-020-0822-0.
10. Meredith M. P., Murphy E. J., Hawker E. J. et al. On the interannual variability of ocean temperatures around South Georgia, Southern Ocean: Forcing by El Niño/Southern Oscillation and the Southern Annular Mode // *Deep-Sea Research II*. 2008. Vol. 55. P. 2007—2022. doi:10.1016/j.dsr2.2008.05.020.

11. Furevik T. Annual and interannual variability of Atlantic Water temperatures in the Norwegian and Barents Seas: 1980—1996 // *Deep Sea Research I*. 2001. Vol. 48. P. 383—404. doi:10.1016/S0967-0637(00)00050-9.
12. Polyakov I., Walsh D., Dmitrenko I. et al. Arctic Ocean variability derived from historical observations // *Geophysical Research Letters*. 2003. Vol. 30. No. 6. 1298, P. 31-1—31-4. doi:10.1029/2002GL016441.
13. Swift J. H., Aagaard K., Timokhov L., Nikiforov E. G. Long-term variability of Arctic Ocean waters: Evidence from a reanalysis of the EEWG data set // *J. of Geophysical Research. Oceans*. 2005. Vol. 110. Iss. C3. C03012. doi:10.1029/2004JC002312.
14. Бойцов В. Д. Изменчивость температуры воды Баренцева моря различных временных масштабов // *Вопросы промысловой океанологии*. М.: Изд-во ВНИРО, 2007. Вып. 4. № 1. С. 99—113.
15. Levitus S., Matishov G., Seidov D., Smolyar I. Barents Sea multidecadal variability // *Geophysical Research Letters*. 2009. Vol. 36. L19604. doi:10.1029/2009GL039847.
16. Бойцов В. Д., Карсаков А. Л., Аверкиев А. А. и др. Исследование изменчивости гидрофизических характеристик по наблюдениям на разрезе «Кольский меридиан» // *Ученые записки РГГМУ*. 2010. № 15. С. 135—149.
17. Вязилова А. Е., Алексеев Г. В., Смирнов А. В. Связь термохалинных аномалий в Северо-Западной Атлантике и Северо-Европейском бассейна с колебаниями климата // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2014. № 3 (101). С. 48—61.
18. Лебедев С. В. Межгодовая изменчивость температуры поверхности и уровня Южного океана по данным дистанционного зондирования // *Ученые записки РГГМУ*. 2008. № 6. С. 82—88.
19. Johnston B. M., Gabric A. J. Long-term trends in upper ocean structure and meridional circulation of the Southern Ocean south of Australia derived from the SODA reanalysis // *Tellus A*. 2010. Vol. 62. Iss. 5. P. 719—736. doi:10.1111/j.1600-0870.2010.00462.x.
20. Auger M., Morrow R., Kestenare E. et al. Southern Ocean in-situ temperature trends over 25 years emerge from interannual variability // *Nature Communications*. 2021. Vol. 12 (1). P. 514. doi:10.1038/s41467-020-20781-1.
21. Gille S. T. Decadal-Scale Temperature Trends in the Southern Hemisphere Ocean // *J. of Climate*. 2008. Vol. 21. Iss. 18. P. 4749—4765. doi:10.1175/2008JCLI2131.1.
22. Артамонов Ю. В., Бабий М. В., Букатов А. Е., Скрипалева Е. А. Региональные особенности сезонной изменчивости линейных трендов поля температуры в Атлантическом океане и их связь с крупномасштабной циркуляцией вод // *Морской гидрофизический журнал*. 2008. № 4. С. 17—27.
23. Risaro D. B., Chidichimo M. P., Piola A. R. Interannual Variability and Trends of Sea Surface Temperature Around Southern South America // *Frontiers in Marine Science*. 2022. Vol. 9:829144. 20 p. doi:10.3389/fmars.2022.829144.
24. URL:[https://psl.noaa.gov/cgi-bin/db\\_search/DBListFiles.pl?did=132&tid=89459&vid=2423](https://psl.noaa.gov/cgi-bin/db_search/DBListFiles.pl?did=132&tid=89459&vid=2423) (дата обращения: 01.12.2022).
25. Reynolds R. W., Smith T. M., Liu C. et al. Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature // *J. of Climate*. 2007. Vol. 20. Iss. 22. P. 5473—5496. doi:10.1175/2007JCLI1824.1.
26. Mann H. B. Nonparametric tests against trend // *Econometrica*. 1945. Vol. 13. Iss. 3. P. 245—259. doi:0012-9682(194507)13:3<245:NTAT>2.0.CO;2-U.
27. Kendall M. G. Rank Correlation Methods. Fourth edition. Griffin: London, 1970. 202 p.
28. URL:[http://marine.copernicus.eu/?option=com\\_csw&view=details&product\\_id=SEA-LEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_REP\\_OBSERVATIONS\\_008\\_047](http://marine.copernicus.eu/?option=com_csw&view=details&product_id=SEA-LEVEL_GLO_PHY_L4_REP_OBSERVATIONS_008_047) (дата обращения: 01.12.2022).
29. Холопцев А. В., Гуменный М. М. Изменения ледовитости Арктики и Атлантическая мультideкадная осцилляция // *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология*. 2017. Том 3 (69). № 2. С. 243—254.
30. Сизов А. А., Баянкина Т. М., Посошков В. Л., Анисимов А.Е. Процессы, определяющие синхронную междесятилетнюю изменчивость поверхностной температуры Баренцева и Черного морей // *Морской гидрофизический журнал*. 2022. Т. 38. № 3. С. 276—290. doi:10.22449/0233-7584-2022-3-276-290.
31. Малинин В. Н., Вайновский П. А. К сравнению характеристик межгодовой изменчивости площади морского льда северного и южного полушария // *Ученые записки РГГМУ*. 2019. № 57. С. 77—90. doi:10.33933/2074-2762-2019-57-77-90.

32. Lemke P., Ren J., Alley R. et al. Observations: change in snow, ice and frozen ground. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, Eds., Cambridge: University Press, 2007. P. 337—384. doi:10.1017/CBO9780511546013.*
33. Малинин В. Н., Вайновский П. А. Когда наступит безледный режим регионов Арктики? // Ученые записки РГГМУ. 2019. № 56. С. 98—109. doi:10.33933/2074-2762-2019-56-98-109.
34. Иванов В. В. Современные изменения гидрометеорологических условий в Северном Ледовитом океане, связанные с сокращением морского ледяного покрова // Гидрометеорология и экология. 2021. № 64. С. 407—434. doi:10.33933/2713-3001-2021-64-407-434.

### References

1. Turner J., Colwell S. R., Marshall G. J. et al. Antarctic Climate Change during the Last 50 Years. *International Journal of Climatology*. 2005, 25 (3): 279—294. doi:10.1002/joc.1130.
2. Anisimov O. A., Vaughan D. G., Callaghan T. V. et al. Polar regions (Arctic and Antarctic). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, C. E. Hanson, Eds. Cambridge: University Press, 2007: 653—685.*
3. Alekseev G. V., Ivanov N. E., Pnyushkov A. V., Balakin A. A. Climate change in the maritime Arctic at the beginning of the 21st century. *Problemy Arktiki i Antarktiki = Problems of Arctic and Antarctic*. 2010, 3 (86): 22—34. (In Russ).
4. Semenov V. A., Mokhov I. I., Latif M. The role of sea ice boundaries and ocean surface temperature in regional climate changes in Eurasia over recent decades. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana = Proc. of the Russian Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and ocean*. 2012, 48 (4): 403—421. (In Russ).
5. Alekseev G. V., Radionov V. F., Alexandrov E. I. et al. Changes in the climate of the Arctic during global warming. *Problemy Arktiki i Antarktiki = Problems of Arctic and Antarctic*. 2015, 1 (103): 32—41. (In Russ).
6. Semenov V. A. Oscillations of present-day climate associated with feedbacks in atmosphere — arctic ice — ocean system. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya = Fundamental and applied climatology*. 2015, 1: 232—248. (In Russ).
7. Malinin V. N. Global ecological crisis and climate. *Uchenye zapiski RGGMU = Proceedings of RSHU*. 2017, 48: 11—32. (In Russ).
8. Ryabinin V. E., Sychev V. I. Towards the decade of ocean science for sustainable development (2021—2030). *Uchenye zapiski RGGMU = Proceedings of RSHU*. 2019, 54: 73—79. doi:10.33933/2074-2762-2019-54-73-79. (In Russ).
9. Johnson G. C., Lyman J. M. Warming trends increasingly dominate global ocean. *Nature Climate Change*. 2020, 10 (8): 757—761. doi:10.1038/s41558-020-0822-0.
10. Meredith M. P., Murphy E. J., Hawker E. J. et al. On the interannual variability of ocean temperatures around South Georgia, Southern Ocean: Forcing by El Niño/Southern Oscillation and the Southern Annular Mode. *Deep-Sea Research II*. 2008, 55: 2007—2022. doi:10.1016/j.dsr2.2008.05.020.
11. Furevik T. Annual and interannual variability of Atlantic Water temperatures in the Norwegian and Barents Seas: 1980—1996. *Deep Sea Research I*. 2001, 48: 383—404. doi:10.1016/S0967-0637(00)00050-9.
12. Polyakov I., Walsh D., Dmitrenko I. et al. Arctic Ocean variability derived from historical observations. *Geophysical Research Letters*. 2003, 30 (6), 1298: 31-1—31-4. doi:10.1029/2002GL016441.
13. Swift J. H., Aagaard K., Timokhov L., Nikiforov E. G. Long-term variability of Arctic Ocean waters: Evidence from a reanalysis of the EEWG data set. *J. of Geophysical Research. Oceans*. 2005, 110 (C3): C03012. doi:10.1029/2004JC002312.
14. Boitsov V. D. Water temperature variability in the Barents Sea at different time scales. *Voprosy promyslovoj okeanologii = Issues of Commercial Oceanology*. M.: Izd-vo VNIRO. 2007, 4 (1): 99—113. (In Russ).



15. Levitus S., Matishov G., Seidov D., Smolyar I. Barents Sea multidecadal variability. *Geophysical Research Letters*. 2009, 36: L19604. doi:10.1029/2009GL039847.
16. Boitsov V. D., Karsakov A. L., Averkiev A. A. et al. Research of variability hydrophysical characteristics on the «the Kola meridian» cross-section observations. *Uchenye zapiski RGGMU = Proceedings of RSHU*. 2010, 15: 135—149. (In Russ).
17. Vyazilova A. E., Alekseev G. V., Smirnov A. V. Connection of thermohaline anomalies in the Northwest Atlantic and the North European Basin with climate fluctuations. *Problemy Arktiki i Antarktiki = Problems of Arctic and Antarctic*. 2014, 3 (101): 48—61. (In Russ).
18. Lebedev S. V. Interannual variability in the Southern ocean surface temperature based on remote sensing data. *Uchenye zapiski RGGMU = Proceedings of RSHU*. 2008, 6: 82—88. (In Russ).
19. Johnston B. M., Gabric A. J. Long-term trends in upper ocean structure and meridional circulation of the Southern Ocean south of Australia derived from the SODA reanalysis. *Tellus A*. 2010, 62 (5): 719—736, doi:10.1111/j.1600-0870.2010.00462.x.
20. Auger M., Morrow R., Kestenare E. et al. Southern Ocean in-situ temperature trends over 25 years emerge from interannual variability. *Nature Communications*. 2021, 12(1): 514. doi:10.1038/s41467-020-20781-1.
21. Gille S. T. Decadal-Scale Temperature Trends in the Southern Hemisphere Ocean. *J. of Climate*. 2008, 21 (18): 4749—4765. doi:10.1175/2008JCLI2131.1.
22. Artamonov Yu. V., Babiy M. V., Bukatov A. E., Skripaleva E. A. Regional features of seasonal variability of linear trends in the temperature field in the Atlantic Ocean and their relationship with large-scale water circulation. *Morskoy gidrofizicheskij zhurnal = Marine Hydrophysical Journal*. 2008, 4: 17—27. (In Russ).
23. Risaro D. B., Chidichimo M. P., Piola A. R. Interannual Variability and Trends of Sea Surface Temperature Around Southern South America. *Frontiers in Marine Science*. 2022, 9: 829144. 20 p. doi:10.3389/fmars.2022.829144.
24. URL:[https://psl.noaa.gov/cgi-bin/db\\_search/DBListFiles.pl?did=132&tid=89459&vid=2423](https://psl.noaa.gov/cgi-bin/db_search/DBListFiles.pl?did=132&tid=89459&vid=2423) (accessed on: 01.12.2022).
25. Reynolds R. W., Smith T. M., Liu C. et al. Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature. *J. of Climate*. 2007, 20 (22): 5473—5496. doi:10.1175/2007JCLI1824.1.
26. Mann H. B. Nonparametric tests against trend // *Econometrica*. 1945. Vol. 13. Iss. 3. P. 245—259. doi:0012-9682(194507)13:3<245:NTAT>2.0.CO;2-U.
27. Kendall M. G. Rank Correlation Methods. Fourth edition. Griffin: London, 1970. 202 p.
28. URL:[http://marine.copernicus.eu/?option=com\\_csw&view=details&product\\_id=SEA-LEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_REP\\_OBSERVATIONS\\_008\\_047](http://marine.copernicus.eu/?option=com_csw&view=details&product_id=SEA-LEVEL_GLO_PHY_L4_REP_OBSERVATIONS_008_047) (accessed on: 01.12.2022).
29. Holopcev A. V., Gumennyj M. M. Arctic Ice Cover Changes and the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Uchyonye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya = Scientific Notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*. 2017, 3(69) (2): 243—254. (In Russ).
30. Sizov A. A., Bayankina T. M., Pososhkov V. L., Anisimov A. E. Processes Determining Synchronous Interdecadal Variability of Surface Temperature in the Barents and Black Seas. *Morskoy gidrofizicheskij zhurnal = Marine Hydrophysical Journal*. 2022, 38 (3): 276—290. doi:10.22449/0233-7584-2022-3-276-290. (In Russ).
31. Malinin V. N., Vainovsky P. A. Comparison of characteristics of the annual variability of the area of sea ice of the north and south. *Uchenye zapiski RGGMU = Proceedings of RSHU*. 2019, 57: 77—90. doi:10.33933/2074-2762-2019-57-77-90. (In Russ).
32. Lemke P., Ren J., Alley R. et al. Observations: change in snow, ice and frozen ground. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, Eds., Cambridge: University Press, 2007: 337—384. doi:10.1017/CBO9780511546013.*
33. Malinin V. N., Vainovsky P. A. When will ice-free regime of different Arctic regions come on? *Uchenye zapiski RGGMU = Proceedings of RSHU*. 2019, 56: 98—109. doi:10.33933/2074-2762-2019-56-98-10. (In Russ).

34. Ivanov V. V. Present changes in hydrometeorological conditions in the Arctic Ocean associated with reduction of the sea ice cover. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2021, 64: 407—434. doi:10.33933/2713-3001-2021-64-407-434. (In Russ).

### ***Информация об авторах***

*Никольский Николай Викторович*, отдел океанографии, ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, младший научный сотрудник, nikolsky.geo@gmail.com.

*Артамонов Юрий Владимирович*, доктор географических наук, старший научный сотрудник, отдел океанографии, ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, ведущий научный сотрудник, artam-ant@yandex.ru.

*Скрипалева Елена Александровна*, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, отдел океанографии, ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, старший научный сотрудник, sea-ant@yandex.ru.

### ***Information about authors***

*Nikolskii Nikolai Viktorovich*, Department of Oceanography, FSBSI FRC Marine Hydrophysical Institute of RAS, Junior Researcher.

*Artamonov Yuri Vladimirovich*, Doctor of Geographical Sciences, Senior Researcher, Department of Oceanography, Marine Hydrophysical Institute of RAS, Leading Researcher.

*Skripaleva Elena Alexandrovna*, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Department of Oceanography, Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences, Senior Researcher.

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 23.04.2023*

*Принята в печать 15.05.2023*

*The article was received on 23.04.2023*

*The article was accepted 15.05.2023*