



## Среда обитания водных биологических ресурсов

# Оценка многолетней изменчивости термических условий и распределения атлантических и субарктических вод в Норвежском море в XXI веке по данным площадных съёмов

Е. В. Сентябов

Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича), ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, 183038  
E-mail: sentyab@pinro.ru

**Цель работы:** оценка пространственно-временной изменчивости термических условий в водах различного происхождения в Норвежском море в первых десятилетиях XXI века.

**Материал:** океанографические данные, собранные в ходе международных экосистемных съёмов в Норвежском море в 2000–2021 гг.

**Используемые методы:** сравнительный анализ данных, методы описательной статистики, корреляционный анализ.

**Результаты:** выделены «боксы», температура в которых наиболее полно описывает изменение температуры атлантических и субарктических вод Норвежского моря. Это подтверждено высокими коэффициентами корреляции температуры в «боксах» с температурой воды на обширной акватории распространения вод различного происхождения. Исследована межгодовая изменчивость температуры в «боксах» с выделением тёплых и холодных периодов. Выполнена оценка межгодовой изменчивости границ распространения атлантических и субарктических вод по положению изотерм на различных горизонтах. Показана статистически значимая связь изменений температуры атлантических и субарктических вод по данным «боксов» с изменениями границ распространения водных масс и положением фронтальной зоны между ними.

**Практическая значимость:** результаты анализа натуральных данных ежегодных площадных съёмов позволяют оценить межгодовую изменчивость термического состояния вод различного происхождения в Норвежском море при отсутствии стандартных разрезов и могут быть использованы для прогноза особенностей распределения пелагических рыб на акватории моря в зависимости от океанографических условий.

**Ключевые слова:** Норвежское море, атлантические воды, субарктические воды, температура, «боксы», границы водных масс, межгодовые изменения.

## Estimation of long-term changes in thermal conditions and distribution of Atlantic and Subarctic water in the XXI Century in the Norwegian Sea on area surveys data

Evgeniy V. Sentyabov

Polar branch of VNIRO («PINRO» named after N.M. Knipovich), 6, Academician Knipovich St., Murmansk, 183038, Russia

**Purpose of the work:** assessing the spatial and temporal variability of thermal conditions in waters of various origins in the Norwegian Sea in the first decades of the 21st century.

**Materials:** oceanographic data collected during the International Ecosystem Surveys in the Norwegian Sea in 2000–2021.

**Methods used:** comparative data analysis, descriptive statistics methods, correlation analysis.

**Results:** the “boxes”, temperature in which most fully describes the change in the temperature of the Atlantic and Subarctic waters of the Norwegian Sea, were identified. This is confirmed by the high correlation coefficients of temperature in the “boxes” with the water temperature over a wide area of distribution of waters of various origins. The interannual temperature variability in the “boxes” was studied with the separation of warm and cold periods. An assessment of the interannual variability of the distribution boundaries of the Atlantic and subarctic waters is made by the position of isotherms at different horizons. A statistically significant relationship is shown between changes in the temperature of Atlantic and Subarctic waters according to the “boxes” data and changes in the boundaries of the distribution of water masses and the position of the frontal zone between them.

**Practical significance:** the results of the analysis of *in situ* data from annual areal surveys make it possible to estimate the interannual variability of the thermal state of waters of various origins in the Norwegian Sea in the absence of standard sections and can be used to predict the distribution of pelagic fish in the sea area depending on oceanographic conditions.

**Keywords:** Norwegian Sea, Atlantic Water, Subarctic Water, temperature, «boxes», boundaries of water masses, interannual changes.

## ВВЕДЕНИЕ

Начало XXI века в Северном полушарии в целом и в Северо-Европейском бассейне, в частности, характеризовалось значительным потеплением водных масс, называемым в широких кругах «глобальным потеплением». Однако, на общем повышенном фоне теплосодержания этих масс, особенно по сравнению с предшествующим относительно холодным периодом, выделялись короткопериодные колебания повышения и понижения температуры. В Норвежском море подобные изменения происходили в водах как атлантического происхождения, приносимых Норвежским течением, так и субарктического, поступающих с Восточно-Исландским течением [Blindheim et al., 2000; Сентябов, 2010; Mork, Skansetn, Søyland, 2019; Hátún, Chafík, Larsen, 2021].

Ранее, в течение более чем 50 лет, многолетняя изменчивость термических условий вод Норвежского моря оценивалась на основе данных стандартных разрезов. Наиболее часто выполняемыми сериями наблюдений были «июньские съёмки» [Алексеев, Истошин, 1960; Сентябов, 2010], покрывающие практически всю акваторию моря (рис. 1). Однако в начале XXI века выполнение отечественных стандартных разрезов в Норвежском море прекратилось и для продолжения оценки многолетней изменчивости характеристик вод требовалось искать альтернативные источники информации.

С конца XX в. В Норвежском море силами институтов морских исследований различных стран стали

выполняться тралово-акустические съёмки пелагических рыб, сопровождавшиеся притраловыми океанографическими наблюдениями [Skagseth, Mork, 2012], в которых автор принимал личное участие с 2007 по 2019 гг. [Сентябов, 2018]. Океанографические данные с этих съёмок аккумулировались в международной базе данных,<sup>1</sup> доступной институтам-участникам этих исследований, и продолжают пополнять её до настоящего времени, что позволило использовать их в нашей работе.

В отличие от стандартных разрезов вышеописанные тралово-акустические съёмки выполняются рандомизированно на квазиширотных галсах, не позволяющих каждый год выполнять исследования в одних и тех же точках.

Однако, ценность этих съёмок состоит в том, что на протяжении значительного ряда лет на обширной акватории сбор натуральных океанографических данных происходил в один и тот же сезон. При отсутствии регулярных наблюдений на стандартных разрезах в Норвежском море использование этих материалов весьма актуально. Для характеристики же многолетней изменчивости океанографических условий могут использоваться временные ряды, сформированные из рандомизированных данных съёмок, приведённых в узлы регулярной сетки.

Целью настоящей работы является оценка пространственно-временной изменчивости термических условий в водах различного происхождения в Норвежском море в первых десятилетиях XXI века.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы океанографические данные международных съёмок пелагических рыб Норвежского моря (рис. 2 а), проводимых в рамках международных экосистемных съёмок Северных морей (International ecosystem survey in the Nordic Seas, IESNS) и выполненных в мае 2000–2021 гг. судами институтов морских исследований Норвегии, Исландии, Дании и Фарерских островов. Все суда, участвовавшие в съёмках, работали по единой методике,<sup>2</sup> океанографические измерения выполняли с помощью одинаковых моделей CTD зондов (SBE911 фирмы Seabird Electronics) от поверхности до дна или до глубины 1000 м с расстоянием между станциями около 60 морских миль.

В работе использованы данные по температуре воды в поверхностном слое и на горизонтах 50, 100 и 200 м. На каждом горизонте в каждой съёмке фак-

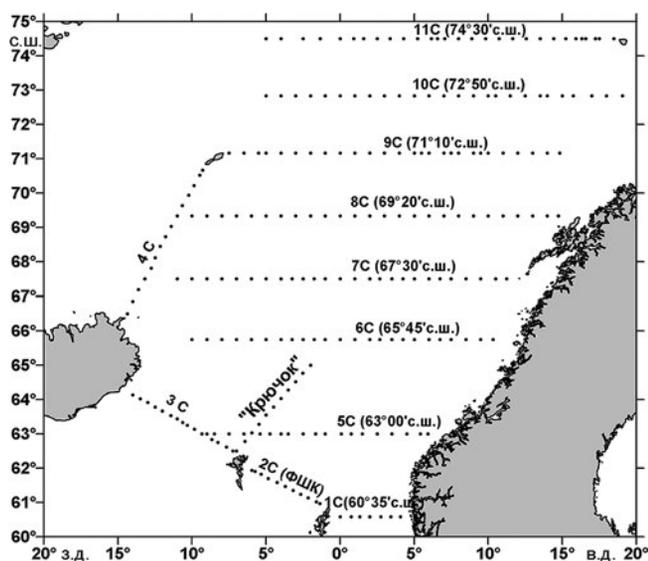
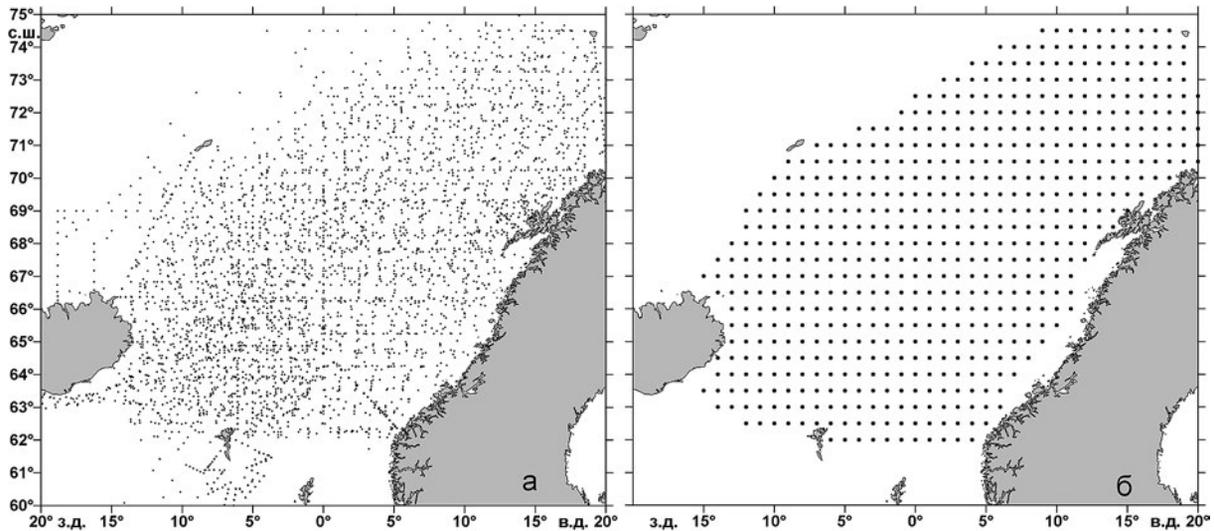


Рис. 1. Положение океанографических станций на советских/российских стандартных разрезах в Норвежском море, выполняемых на судах ПИНРО во второй половине XX века

Fig. 1. Position of CTD stations in Soviet/Russian standard sections, carried out by PINRO research vessels in the second half of XX century

<sup>1</sup> PGNAPES database. <https://oracle.hav.fo/apexj> 20.12.2022.

<sup>2</sup> ICES, 2015. Manual for International Pelagic Surveys (IPS). Series of ICES Survey Protocols SISP 9 – IPS. 92 p.



**Рис. 2.** Положение океанографических станций, выполненных в международных экосистемных съёмках Норвежского моря в 2000–2021 гг. (а) и узлов регулярной сетки, используемой в работе (б)

**Fig. 2.** Position of CTD stations carried out during International ecosystem surveys in the Norwegian Sea in 2000–2021 (a) and grid nodes using in this work (b)

тические данные были приведены в узлы регулярной сетки с шагом  $1^\circ$  по долготе,  $0,5^\circ$  по широте (рис. 2б) с помощью пакета Surfer (методом интерполяции Kriging). В каждом узле сетки за период 2000–2021 гг. рассчитаны среднееголетние значения температуры воды.

Для оценки многолетней изменчивости термики вод были выбраны ограниченные районы – «боксы», осреднённая температура в которых, по предварительному экспертному заключению, может описывать общие черты межгодовых изменений температуры атлантических и субарктических вод (рис. 3).

Для атлантических вод выбран район, ограниченный  $2^\circ$  и  $6^\circ$  в.д. и  $65^\circ$ – $68^\circ$  с.ш. (осреднение по 35 узлам регулярной сетки), близкий по положению к участкам стандартных российских разрезов 6С (по  $65^\circ 45'$  с.ш.) и 7С (по  $67^\circ 30'$  с.ш.), описывающим Восточную ветвь Норвежского течения на (см. рис. 1) [Алексеев, Истошин, 1960; Таблицы средних..., 1997<sup>3</sup>], а также находящийся в пределах «ядра» атлантических вод Норвежского течения, выделенного на основе методов описательной статистически и кластерного анализа [Сентябов, 2010]. Для субарктических вод выбран район, ограниченный  $7^\circ$ – $12^\circ$  з.д. и  $66^\circ$ – $68^\circ$  с.ш., (осреднение по 30 узлам регулярной сетки), в котором, согласно среднееголетним данным [Карандашева, 1988; Malmberg, Valdimarsson, 2003; Сентябов, 2010], располагается «ядро» ВИТ в верхнем 200-метровом слое.

Для описания характеристик распространения водных масс и положения фронтальных зон между ними в доступных нам полях распределения температуры были использованы географические координаты положения различных изотерм на горизонтах 50, 100 и 200 м. За границу распространения субарктических вод на западе моря были приняты крайние южное и восточное положения изотермы  $4^\circ\text{C}$  на горизонтах 50 и 100 м и  $3^\circ\text{C}$  – на горизонте 200 м. Крайнее северное положения изотермы  $7^\circ\text{C}$  и долгота её пересечения  $66^\circ$  с.ш. в восточной части моря характеризовали распространение атлантических вод Норвежского течения. Долгота положения изотермы  $6^\circ\text{C}$  на горизонте 50 м и  $5^\circ\text{C}$  на горизонтах 100 и 200 м, которые, по литературным источникам [Шевченко, 2000; Shevchenko, Isaev, 1983<sup>4</sup>], в первом приближении определяют положение фронтальной зоны между атлантическими и субарктическими водами в центральной части моря, выбиралась на широтах  $65^\circ$ ,  $66^\circ$  и  $67^\circ$  с.ш. При этом, положение фронтальной зоны рассматривалось лишь в качестве дополнительного параметра.

В работе использовались сравнительный анализ данных, методы описательной статистики и корреляционный анализ [Елисеева, Юзбашев, 2004]. Для рассматриваемых временных рядов длиной 22 года статистически значимыми, с вероятностью 99%, являются коэффициенты парной корреляции, превышающие 0,54. Статистическая обработка данных и построение

<sup>3</sup> Таблицы средних значений температуры, солёности и их нормы на стандартных разрезах Норвежского и Гренландского морей (1983–1995 гг.). 1997. / Сост. Е.В. Сентябов. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 147 с.

<sup>4</sup> Shevchenko A.V., Isaev N.A. 1983. Year-to-year variations of blue whiting distribution in the Norwegian Sea in spring-summer 1978–1982 due to hydrographic conditions // ICES CM. H: 26. 18 p.

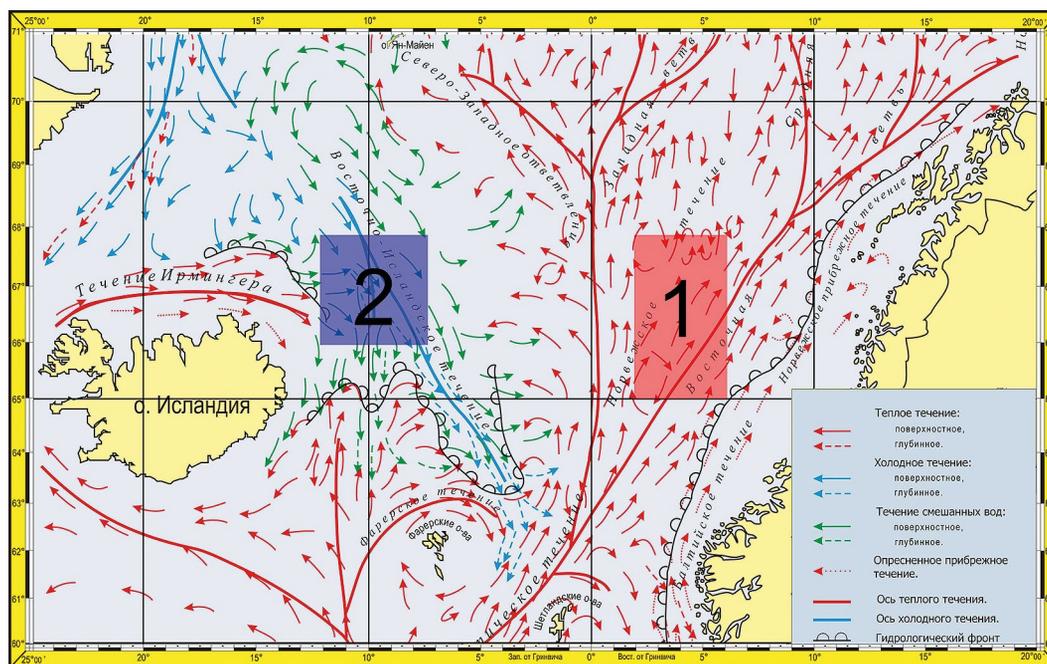


Рис. 3. Схема поверхностных течений Норвежского моря (по [Алексеев, Истошин, 1956]), положение «боксов» для температуры атлантических вод Норвежского течения (красный прямоугольник, 1), субарктических вод Восточно-Исландского течения (синий прямоугольник, 2)

Fig. 3. Schematic of surface currents in the Norwegian Sea (after [Alexeev, Istoshin, 1956]), position of the “boxes” for temperature of Atlantic waters of the Norwegian Current (red rectangle, 1), the subarctic waters of East Icelandic Current (blue rectangle, 2)

графиков выполнялись в программе Microsoft Excel 2016 (надстройка «Анализ данных»).

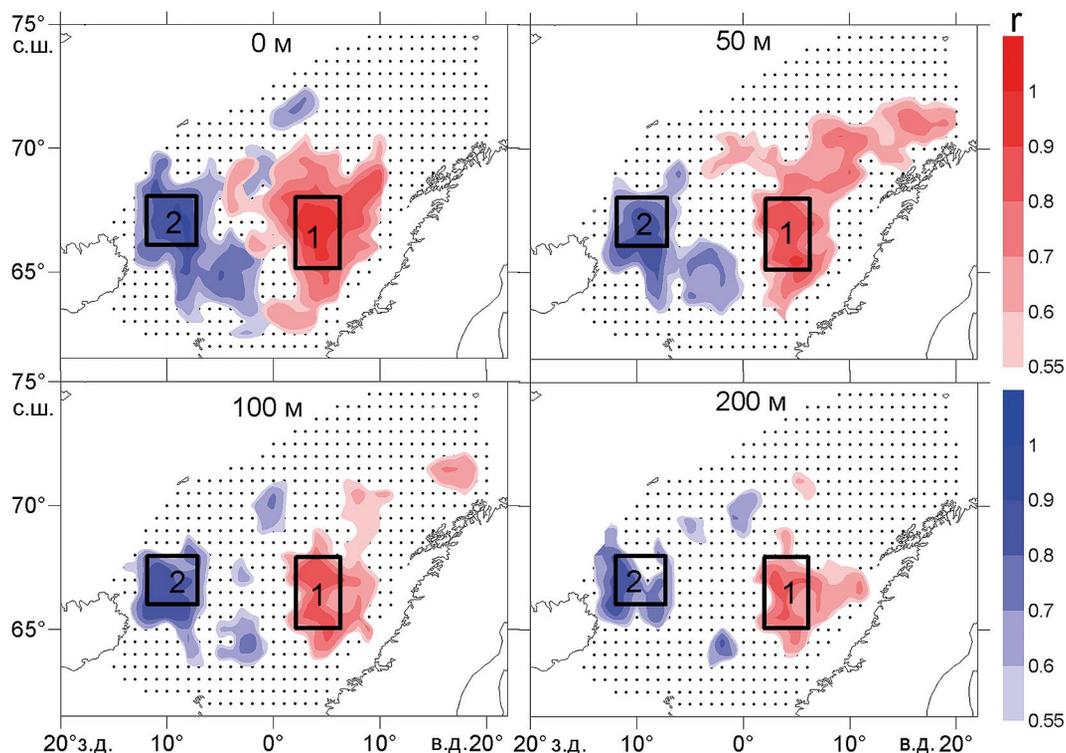
### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Оценка межгодовых изменений температуры вод различного происхождения.** Выбранные в работе «боксы» могут использоваться для характеристики межгодовых изменений теплового состояния вод различного происхождения на обширной акватории. На это указывают представленные на рис. 4 области значимых коэффициентов корреляции температуры воды в каждой точке моря и в «боксах», соответствующих атлантическим и субарктическим водам. Распределение этих коэффициентов в целом соответствует распределению вод Норвежского и Восточно-Исландского течений, представленному в самых различных литературных источниках от начала XX века до наших дней [Helland-Hansen, Nansen, 1909; Алексеев, Истошин, 1956; Hansen et al., 1994; Сентябов, 2010; Skagseth et al., 2022]. Наиболее широким является распределение значимых коэффициентов корреляции в верхнем 50-метровом слое.

Изменения теплового состояния вод в выбранных «боксах» для атлантических и субарктических вод на различных горизонтах происходят неравномерно. Закономерно от поверхности к более глубоким гори-

зонтам уменьшаются среднее значение, стандартное отклонение и амплитуда колебаний (табл. 1). Следует отметить, что если в атлантических водах температура на всех четырёх горизонтах тесно скоррелирована ( $r = 0,61-0,92$ ), то в субарктических водах значимая связь прослеживается только между горизонтами 0–50 и 100–200 м ( $r = 0,77-0,79$ ). Статистически значимых связей между изменениями температуры в разных «боксах» не обнаружено.

Межгодовые изменения нормированных аномалий температуры воды на различных горизонтах, в частности, для примера на 50 и 200 м, представлены на рис. 5. В целом, за рассматриваемые 22 года XXI века для атлантических вод верхнего 50-метрового слоя можно выделить достаточно продолжительные тёплый (с преобладанием положительных аномалий – 2002–2011 гг.) и холодный (с преобладанием отрицательных – 2018–2021 гг.) периоды. Близкие по продолжительности периоды с преобладанием положительных и отрицательных аномалий атлантических вод можно отмечать и в других районах Норвежского моря по данным стандартных разрезов, выполняемых морскими научными институтами различных стран в рамках национальных программ и представляемых на Рабочую группу ИКЕС по океанической гидрографии [González-Pola et al., 2022]. Для темпера-



**Рис. 4.** Распределение статистически значимых коэффициентов корреляции ( $r \geq 0,55$ ,  $p = 0,01$ ) температуры воды на горизонтах 0, 50, 100 и 200 м в узлах регулярной сетки в Норвежском море с осреднённой температурой в «боксах», характеризующих атлантические (1 – красные области) и субарктические (2 – синие области) воды

**Fig. 4.** Distribution of statistically significant correlation coefficients ( $r \geq 0,55$ ,  $p = 0,01$ ) of water temperature at 0, 50, 100 and 200 m depth in a regular grid in the Norwegian Sea with the averaged temperature in the “boxes” characterizing the Atlantic (1 – red areas) and Subarctic (2 – blue areas) waters

**Таблица 1.** Статистические характеристики изменений температуры воды на различных горизонтах в «боксах», характеризующих атлантические и субарктические воды в Норвежском море за период 2000–2021 гг.

**Table 1.** Statistical characteristics of water temperature changes at different depths in “boxes” characterizing Atlantic and Subarctic waters in the Norwegian Sea in 2000–2021

Характеристики	Атлантическая водная масса				Субарктическая водная масса			
	0	50	100	200	0	50	100	200
Горизонт, м	0	50	100	200	0	50	100	200
Среднее, °С	7,54	7,30	7,02	6,51	2,52	2,08	1,32	0,65
Стандартное отклонение, °С	0,38	0,27	0,28	0,30	0,52	0,41	0,44	0,28
Размах, °С	1,68	1,10	1,77	1,13	1,62	1,46	1,50	1,04

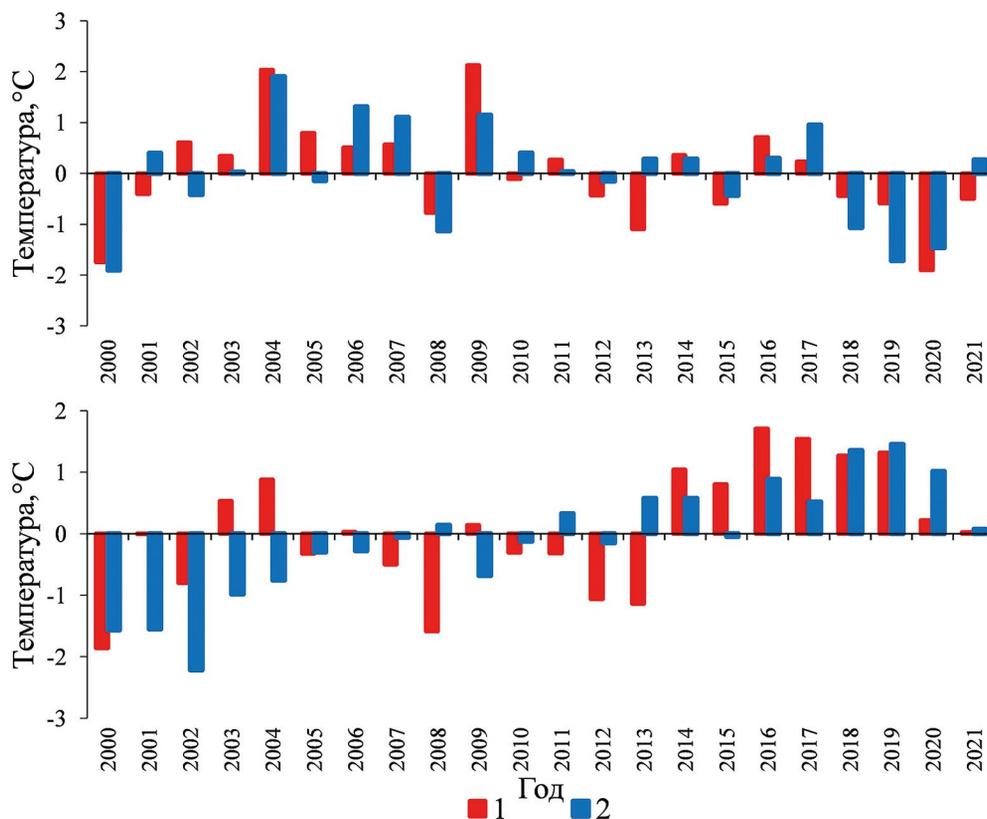
туры воды на горизонтах 100 и 200 м тёплый период оказался близким к таковому в вышележащем слое (2003–2010 гг.), холодный сократился до 2018–2020 гг. Период с 2012 по 2017 гг. характеризовался чередованием аномалий температуры с различным знаком.

Для субарктических вод холодный период приходился на 2000–2013 гг. (с некоторым потеплением в верхнем 50-метровом слое в 2003–2004 гг.), тёплый период для всего 200-метрового слоя приходился на 2014–2021 гг. (см. рис. 5).

Из всех рассматриваемых временных рядов только для температуры субарктических вод на горизон-

те 200 м просматривался положительный тренд ( $R^2 = 0,54$ ), для остальных рядов значимый линейный тренд отсутствовал.

**Оценка изменчивости границ распространения вод различного происхождения.** Северная граница распространения атлантических вод с температурой выше 7 °С на востоке моря в описываемый период (2000–2021 гг.) в среднем проходила почти по 70° с.ш. в верхнем 100-метровом слое и примерно по 68° с.ш. на горизонте 200 м (табл. 2). Размах межгодовых колебаний на всех рассматриваемых горизонтах был



**Рис. 5.** Межгодовые изменения нормированных аномалий температуры воды в «боксах», характеризующих тепловое состояние атлантических (верхняя часть) и субарктических (нижняя часть) вод Норвежского моря в 2000–2021 гг. на горизонтах 50 (1) и 200 (2) м

**Fig. 5.** Interannual changes in water temperature normalized anomalies in “boxes” characterizing Atlantic (upper) and Subarctic (down) waters in the Norwegian Sea in 2000–2021 at 50 (1) and 200 (2) m depth

близок и составлял около 5° или 550 км. Западная граница вод с температурой выше 7 °С с глубиной смещалась на восток от 1,6° в.д. на горизонте 50 м до 2,4° в.д. на 100 м и до 4,4° в.д. на 200 м. Межгодовой размах изменений положения границы на горизонтах 50 и 200 м был близок и составлял 4–5° (200–220 км), а на горизонте 100 м сужался до 3,4° (150 км).

Южная граница распространения субарктических вод проходила в среднем по 63–64° с.ш., изменяясь от года к году в пределах 1,6° на горизонте 50 м, 1,2° – на 100 м и 2,3° – на 200 м (см. табл. 2), что составляет, соответственно, 180, 130 и 250 км. Восточная граница распространения этих вод в верхнем 50-метровом слое в среднем проходила по 3,4° з.д., в слое 100–200 м – значительно восточнее, по 1,6–1,9° з.д. Межгодовые изменения восточной границы распространения субарктических вод составляли от 4° (или 190 км) на 100 м до 8° (380 км) на 200 м.

Фронтальная зона между атлантическими и субарктическими водами, которая в южной и центральной частях Норвежского моря проходит в меридиональ-

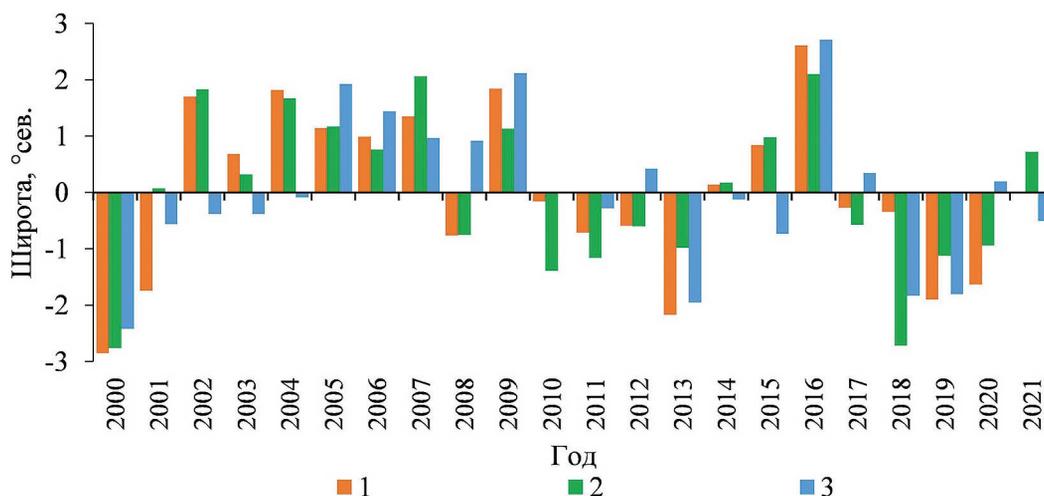
ном направлении [Алексеев, 1959; Структура и изменчивость..., 1989], наиболее обострена на участке 65–67° с.ш. Изотермы, характеризующие положение этой фронтальной зоны (6 °С на горизонте 50 м и 5 °С на горизонтах 100 и 200 м) в среднем проходят в верхнем слое вдоль 0,4–0,5° з.д., на глубине 100–200 м – вдоль 0,7–0,9° в.д. с межгодовым размахом 3–4° по долготе, составляющим 130–170 км. В табл. 2 не показаны статистические характеристики положения изотерм на широте 67° с.ш., поскольку они близки к более южным участкам фронтальной зоны.

Периоды более широкого, чем обычно, распространения атлантических вод на север в верхнем 100-метровом слое (по положению изотермы 7 °С, рис. 6) приходились на 2002–2009 и 2014–2016 гг. В эти же годы происходило расширение акватории атлантических вод в западном направлении. На горизонте 200 м подобная ситуация отмечалась в 2005–2009 и 2016–2017 гг. Уменьшение распространения атлантических вод на север на горизонтах 50 и 100 м отмечалось в начале 2000-х гг., 2010–2013 и 2017–2021 гг., на горизонте 200 м – на 2000–2004,

**Таблица 2.** Статистические характеристики изменений положения изотерм в Норвежском море за период 2000–2021 гг. на горизонтах 50, 100 и 200 м

**Table 2.** Statistical characteristic of changes in the position of isotherms in the Norwegian Sea for the period 2000–2021 at 50, 100 and 200 m depth

	7 °С – широта максимальная	7 °С – долгота на 66°с.ш.	4 °С – широта минимальная	4 °С – долгота максимальная	6 °С – долгота на 65°с.ш.	6 °С – долгота на 66°с.ш.
<b>50 м</b>						
Среднее	69,7° с.ш.	1,6° в.д.	64,0° с.ш.	3,4° з.д.	0,5° з.д.	0,4° з.д.
Станд. откл.	1,4°	1,2°	0,4°	1,4°	1,1°	0,8°
Размах	5,5° (600 км)	4,5° (200 км)	1,6° (180 км)	5,2° (240 км)	3,7° (170 км)	3,0° (135 км)
	7 °С – широта максимальная	7 °С – долгота на 66°с.ш.	4 °С – широта минимальная	4 °С – долгота максимальная	5 °С – долгота на 65°с.ш.	5 °С – долгота на 66°с.ш.
<b>100 м</b>						
Среднее	69,5° с.ш.	2,4° в.д.	63,4° с.ш.	1,9° з.д.	0,8° в.д.	0,8° в.д.
Станд. откл.	1,4°	1,1°	0,3°	1,2°	1,1°	0,8°
Размах	4,9° (550 км)	3,4° (150 км)	1,5° (170 км)	4,0° (190 км)	3,9° (180 км)	3,6° (160 км)
	7 °С – широта максимальная	7 °С – долгота на 66°с.ш.	3 °С – широта минимальная	3 °С – долгота максимальная	5 °С – долгота на 65°с.ш.	5 °С – долгота на 66°с.ш.
<b>200 м</b>						
Среднее	68,2° с.ш.	4,4° в.д.	63,3° с.ш.	1,6° з.д.	0,9° в.д.	0,7° в.д.
Станд. откл.	1,3°	1,3°	0,6°	2,1°	0,8°	0,8°
Размах	5,1° (550 км)	4,9° (250 км)	2,3° (250 км)	8,0° (380 км)	3,4° (160 км)	2,8° (125 км)



**Рис. 6.** Межгодовые изменения аномалий максимальной широты положения изотермы 7 °С на горизонтах 50 (1), 100 (2) и 200 (3) м в мае 2000–2021 гг.

**Fig. 6.** Interannual changes in maximal latitude position of isotherm 7 °C anomalies at 50 (1), 100 (2) and 200 (3) m depth in May of 2000–2021

2010–2015 и 2018–2021 гг. В основном, в эти же годы на соответствующих горизонтах происходило и сокращение распространения атлантических вод на запад.

Анализируя временной ход аномалий положения южной и восточной границ распространения субарктических вод (рис. 7) можно отметить, что наиболее широко эти воды распространялись (холодный

период) в верхнем 50-метровом слое в 2000–2002 и в 2006–2013 гг. На горизонте 200 м, при одинаковом первом периоде, второй был несколько смещён на более ранние годы: 2004–2012 гг., а на горизонте 100 м холодные периоды весьма коротки и приходятся на 2000–2002, 2004–2007 и 2011–2015 гг. Период меньшего, чем обычно, распространения субарктических вод (тёплый период) приходился на горизонте

50 м на 2003–2005 и 2016–2020 гг., на горизонтах 100 и 200 м только на 2016–2020 гг. В более ранние годы уменьшение акватории распространения восточно-исландских вод происходило лишь в отдельные годы, которые невозможно объединить в периоды.

Между изменениями южной и восточной границ распространения субарктических вод в верхнем 50-метровом слое существует тесная обратная связь ( $r = -0,80$ ), уменьшающаяся с глубиной: в слое 100–200 м  $r = -0,54-0,62$ . Также в верхнем 100-метровом слое прослеживается относительно тесная связь изменений южной и восточной границ распространения субарктических вод с положением фронтальной зоны на южном участке по  $65^\circ$  с.ш. ( $|r| = 0,65-0,85$ ). На горизонте 200 м статистически значимая связь ( $r = 0,56$ ) положения изотермы  $5^\circ\text{C}$ , характеризующей фронтальную зону, выявлена только с восточной границей

распространения субарктических вод. Статистически значимой связи положения изотерм, характеризующих распространение субарктических вод и фронтальные зоны, с изотермами, характеризующими распространение атлантических вод на востоке моря, не обнаружено.

Весомый вклад в колебания положения фронтальной зоны, влияющей на изменение путей миграций пелагических рыб, вносит температура субарктических вод. Это подтверждается статистически значимой связью температуры этих вод в «боксе» 2 в верхнем 50-метровом слое как с положением южной и восточной границ распространения самих субарктических вод на горизонте 50 м ( $|r| = 0,55-0,66$ ), так и долготой положения фронтальной зоны на  $65^\circ$  с.ш. ( $|r| = 0,54-0,58$ ). Для горизонта 200 м корреляция температуры субарктических вод в «боксе» 2 с положением изо-

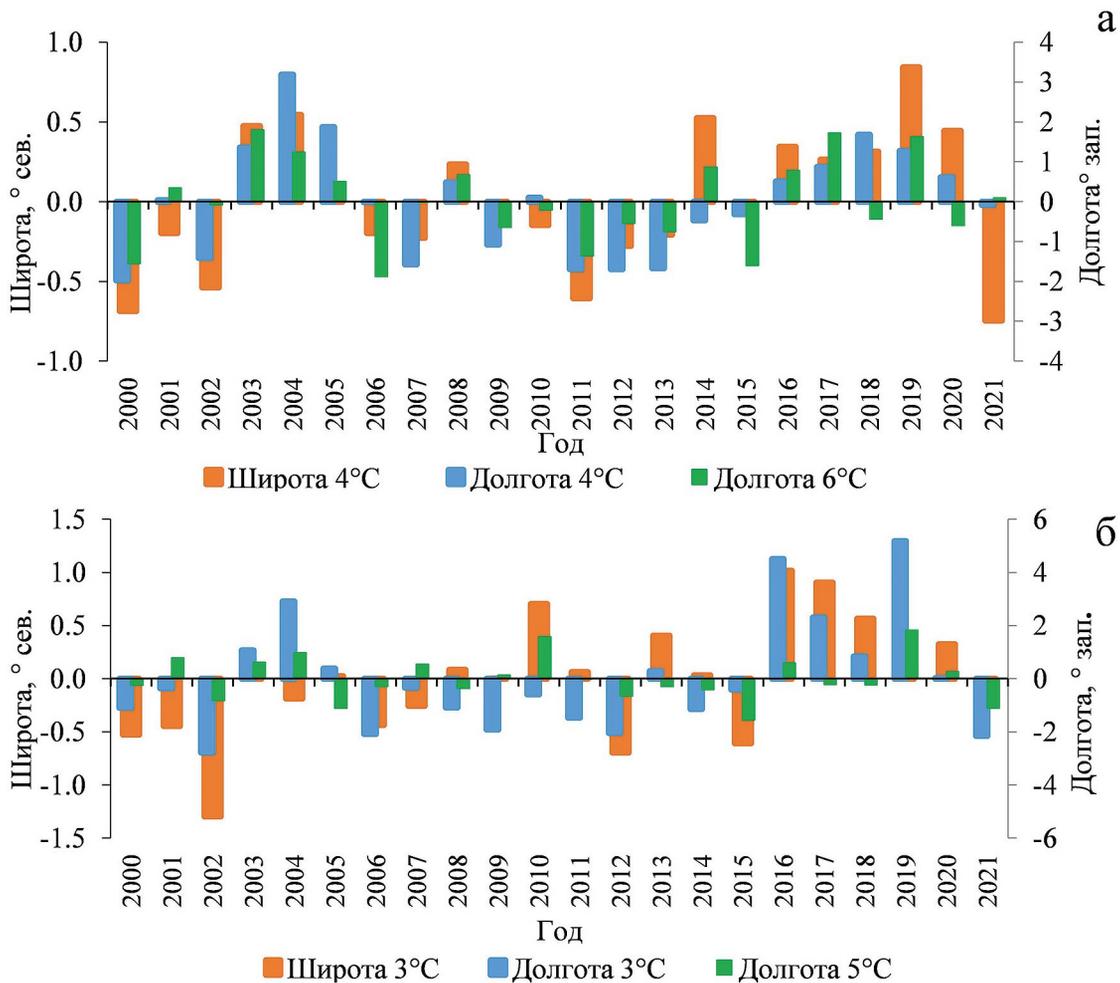


Рис. 7. Межгодовые изменения аномалий минимальной широты для изотермы  $4^\circ\text{C}$  и долготы для изотерм  $4$  и  $6^\circ\text{C}$  на горизонте  $50$  м (а), минимальной широты для изотермы  $3^\circ\text{C}$  и долготы для изотерм  $3$  и  $5^\circ\text{C}$  на горизонте  $200$  м (б) в мае  $2000-2021$  гг.

Fig. 7. Interannual changes of anomalies of minimal latitude position of isotherms  $4^\circ\text{C}$  and longitude position of isotherm  $4$  and  $6^\circ\text{C}$  at  $50$  m (a), minimal latitude position of isotherms  $3^\circ\text{C}$  and longitude position of isotherm  $3$  and  $5^\circ\text{C}$  at  $200$  m (b) in May of  $2000-2021$

терм имеет близкие значения, но с разными знаками:  $r = 0,59-0,66$  для южной границы распространения этих же вод и  $r = -0,54-0,66$  для положения фронтальной зоны на  $65^\circ$  с.ш.

Никакой статистически значимой связи вышеопределённых параметров с изменениями температуры атлантических вод в «боксе» 1 не обнаружено, кроме широты распространения атлантических вод на востоке моря. Для положения изотермы  $7^\circ\text{C}$  на горизонте 50 м эта связь наиболее тесная ( $r = 0,60-0,77$ ), на горизонте 200 м коэффициент корреляции уменьшается до  $0,49-0,59$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Для оценки многолетней изменчивости температурных условий вод различного происхождения в Норвежском море при отсутствии наблюдений на стандартных разрезах возможно использование данных ежегодных рандомизированных площадных съёмов. Для решения поставленной в работе цели эти данные были приведены в узлы регулярной сетки и усреднены в пределах выбранных нами «боксов», характеризующих термические условия атлантических и субарктических вод. Температура воды в этих «боксах» объективно описывает изменения температуры вод тёплого Норвежского и холодного Восточно-Исландского течений на обширной акватории Норвежского моря.

Статистически показано, что изменения температуры субарктических вод в «боксе» 2 достаточно тесно связаны как с изменением границ распространения этих вод, так с положением фронтальной зоны в центральной части Норвежского моря, влияющей на изменение путей миграций пелагических рыб. Значимой корреляции температуры атлантических вод в «боксе» 1 ни с температурой субарктических вод, ни с положением фронтальной зоны между атлантическими и субарктическими водами не выявлено.

Полученные в работе результаты предполагают, что материалы ежегодных съёмов могут применяться для решения различных задач прикладной океанологии, в том числе и проверки на натурном материале результатов моделей, основанных на использовании данных реанализа и спутниковых наблюдений, а также могут быть использованы для прогноза особенностей распределения пелагических рыб на акватории моря в зависимости от океанографических условий.

## Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» по теме «Оценка состояния, распределения, численности и воспроизводства водных биологических ресурсов, а также среды их обитания».

## ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев А.П. 1959. Полярный фронт в Норвежском и Гренландском морях // Труды ПИНРО. Вып.11. С. 60–73.
- Алексеев А.П., Истошин Б.В. 1956. Схема постоянных течений Норвежского и Гренландского морей // Труды ПИНРО. Вып. 9. С. 62–68.
- Алексеев А.П., Истошин Б.В. 1960. Некоторые результаты океанографических исследований в Норвежском и Гренландском морях // Советские рыбохозяйственные исследования в морях Европейского Севера. М.: Рыбное хозяйство. С. 23–37.
- Елисеева И.И., Юзбашев М.М. 2004. Общая теория статистики. М.: Финансы и статистика. 656 с.
- Карандашева Т.К. 1988. Стратификация, термогалинные поля и циркуляция вод Норвежского и гренландского морей. М.: Гидрометеиздат. 180 с.
- Сентябов Е.В. 2010. Закономерности пространственного распределения термохалинных характеристик на стандартных разрезах в южной части Норвежского моря // Вопросы промысловой океанологии. М.: Изд-во ВНИРО. Вып. 7. № 1. С. 189–205.
- Сентябов Е.В. 2018. Опыт использования температурно-акустических разрезов в международных экосистемных съёмках для анализа распределения пелагических рыб Норвежского моря // Труды ВНИРО. Т. 174. С. 105–111.
- Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в Норвежской энергоактивной зоне. 1989. / ред. Ю.В. Николаева и Г.В. Алексеева. Л.: Гидрометеиздат. 128 с.
- Шевченко А.В. 2000. Океанологические условия формирования промысловой продуктивности в морях Северо-Европейского бассейна. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 100 с.
- Blindheim J., Borovkov V., Hansen B., Malmberg S.A., Turrell W.R., Østerhus S. 2000. Upper Layer Cooling and Freshening in the Norwegian Sea in Relation to Atmospheric Forcing // Deep Sea Research. I. 47, 655–680. DOI: 10.1016/S0967-0637(99)00070-9.
- González-Pola C., Larsen K.M. H., Fratantoni P., Beszczynska-Möller A. (Eds.). 2022. ICES Report on ocean climate 2020 // ICES Cooperative Research Reports. No. 356. 121 p. DOI:10.17895/ices.pub.19248602.
- Hansen B., Østerhus S., Gould W.J., Rickards L.J. 1998. North Atlantic – Norwegian Sea Exchanges: the ICES NANSEN Project // ICES Cooperative Research Reports. No. 225. P. 3–82. DOI: 10.17895/ices.pub.5517.
- Helland-Hansen B., Nansen F. 1909. The Norwegian Sea: its physical oceanography based upon the Norwegian

- Researches 1900–1904 // Report on Norwegian Fishery and Marine Investigation. Vol. II. The Royal Department of Trade, Navigation and Industries, Mallingske, Kristiania. 390 p.
- Malmberg S.-A., Valdimarsson H. 2003. Hydrographic conditions in Icelandic waters, 1990–1999 // ICES Marine Science Symposia. Vol. 29. P. 50–60.
- Mork K.A., Skagseth Ø., Søiland H. 2019. Recent Warming and Freshening of the Norwegian Sea Observed by Argo Data // J. Clim. 32 (12), 3695–3705. DOI: 10.1175/JCLI-D-18-0591.1.
- Skagseth Ø., Broms C., Gundersen K., Hátún H., Kristiansen I., Larsen K.M.H., Mork K.A., Petursdottir H., Søiland H. 2022. Arctic and Atlantic Waters in the Norwegian Basin, Between Year Variability and Potential Ecosystem Implications // Frontiers in Marine Science. 9:831739. DOI: 10.3389/fmars.2022.831739.
- Skagseth Ø., Mork K.A. 2012. Heat Content in the Norwegian Sea, 1995–2010 // ICES Journal of Marine Science. 69, 826–832 DOI: 10.1093/icesjms/fss026.
- Shevchenko A.V. 2000. Oceanological conditions for the formation of commercial productivity in the seas of the North European Basin. Murmansk: PINRO Publush. 100 p. (In Russ.).
- Blindheim J., Borovkov V., Hansen B., Malmberg S.A., Turrell W.R., Østerhus S. 2000. Upper Layer Cooling and Freshening in the Norwegian Sea in Relation to Atmospheric Forcing // Deep Sea Res. I. 47. P. 655–680. DOI: 10.1016/S0967-0637(99)00070-9.
- González-Pola C., Larsen K.M. H., Fratantoni P., Beszczynska-Möller A. (Eds.). 2022. ICES Report on ocean climate 2020 // ICES Cooperative Research Reports. No. 356. 121 p. doi:10.17895/ices.pub.19248602.
- Hansen B., Østerhus S., Gould W.J., Rickards L.J. 1998. North Atlantic – Norwegian Sea Exchanges: the ICES NANSEN Project // ICES Cooperative Research Reports. No. 225. P. 3–82. DOI: 10.17895/ices.pub.5517.
- Helland-Hansen B., Nansen F. 1909. The Norwegian Sea: its physical oceanography based upon the Norwegian Researches 1900–1904 // Report on Norwegian Fishery and Marine Investigation. Vol. II. The Royal Department of Trade, Navigation and Industries, Mallingske, Kristiania. 390 p.
- Malmberg S.-A., Valdimarsson H. 2003. Hydrographic conditions in Icelandic waters, 1990–1999 // ICES Marine Science Symposia. Vol. 29. P. 50–60.
- Mork K.A., Skagseth Ø., Søiland H. 2019. Recent Warming and Freshening of the Norwegian Sea Observed by Argo Data // J. Clim. 32 (12), 3695–3705. DOI: 10.1175/JCLI-D-18-0591.1.
- Skagseth Ø., Broms C., Gundersen K., Hátún H., Kristiansen I., Larsen K.M.H., Mork K.A., Petursdottir H., Søiland H. 2022. Arctic and Atlantic Waters in the Norwegian Basin, Between Year Variability and Potential Ecosystem Implications // Frontiers in Marine Science. 9:831739. DOI: 10.3389/fmars.2022.831739.
- Skagseth Ø., Mork K.A. 2012. Heat Content in the Norwegian Sea, 1995–2010 // ICES Journal of Marine Science. 69, 826–832. DOI: 10.1093/icesjms/fss026.

## REFERENCES

- Alekseev A.P. 1959. Polar Front in the Norwegian and Greenland seas // Trudy PINRO. N. 11. P. 60–73. (In Russ.).
- Alekseev A.P., Istoshin B.V. 1956. Scheme of continuous currents of the Norwegian and Greenland seas // Trudy PINRO. N. 9. P. 62–68. (In Russ.).
- Alekseev A.P., Istoshin B.V. 1960. Some results of oceanographic researches in the Norwegian and Greenland seas // Sovjetskie rybohozyajstvennye issledovanija v moryah Evropejskogo Severa. M.: Rybnoe hozyajstvo. P. 23–37. (In Russ.).
- Eliseeva I.I., Yuzbashev M.M. 2004. Common theory of statistics. M.: Finansy i statistika. 656 p. (In Russ.).
- Karandasheva T.K. 1988. Stratification, thermohaline fields and water circulation of the Norwegian and Greenland seas. Moscow: Gidrometeoizdat. 180 p. (In Russ.).
- Sentyabov E.V. 2010. Pattern of the spatial distribution of thermohaline characteristics in standard sections in the southern part of the Norwegian Sea // Voprosy promyslovoj okeanologii. V. 7, No. 1. P. 189–205. (In Russ.).
- Sentyabov E.V. 2018. Experience of using temperature-acoustic sections in international ecosystem surveys to analyze the distribution of pelagic fish in the Norwegian Sea // Trudy VNIRO. V. 174. P. 105–111. (In Russian).
- Structure and variability of large-scale oceanological processes and fields in the Norwegian energy-active zone. 1989. / ed. Yu.V. Nikolaev, G.V. Alekseev. Leningrad: Gydrometeoizdat. 128 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 21.03.2023 г.  
Принята после рецензии 05.05.2023 г.