

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

---

УДК 551.465.45

### ИЗМЕНЕНИЕ АДВЕКЦИИ ТЕПЛА В БАРЕНЦЕВО МОРЕ

Соколов А.А.<sup>1</sup>, Гордеева С.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

*В настоящее время приток теплых атлантических вод в Баренцево море влияет на изменение площади его ледяного покрова. В работе осуществляется оценка и анализ адвективного потока тепла, поступающего через меридиональный разрез по 16.5° в.д. в бассейн Баренцева моря за период 1980-2015 гг. на основании данных реанализа ORAS4. Выявлено, что поток тепла, поступающий в Баренцево море, осуществляется тремя струями в южной, центральной и северной частях разреза, и составляют, соответственно, 62, 65 и 11 ТВт, которые обеспечиваются потоками воды 1.7, 2.1 и 0.5 Св. Значительное увеличение потока тепла со временем происходит в центральной и северной струе, что определяется трендами как в температуре воды, так и в скоростях течения. Общий поток тепла в бассейн Баренцева моря имеет значимый положительный тренд с величиной 0.80 ТВт/год. По оценкам тренда оказалось, что за исследуемый период центральный поток тепла увеличился на 31%, наиболее значительно усилился северный поток тепла – на 42%, что свидетельствует о переносе ядра тепловой активности на границе моря к северу.*

**Ключевые слова:** Баренцево море, адвекция тепла, атлантические воды

### CHANGE OF HEAT ADVECTION TO THE BARENTS SEA

Sokolov A.A.<sup>1</sup>, Gordeeva S.M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg

<sup>2</sup> Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

a.sokolov@aari.ru; [gordeeva@rshu.ru](mailto:gordeeva@rshu.ru)

*At the present day flux of warm Atlantic waters into the Barents Sea influences on the change in the area of its ice cover. This paper estimates and analyzes the advective heat flux coming through a meridional section along 16.5° E to the basin of the Barents Sea for the period from 1980 to 2015 based on ORAS4 reanalysis data. It was revealed that the Barents Sea entering heat flux is carried out by three jets in the southern, central and northern parts of the section and is 62, 65, and 11 TW respectively, which are provided by water flows of 1.7, 2.1 and 0.5 Sv. A significant increase trend in heat flux occurs in central and northern streams, which is determined by trends in both water temperature and flow rates. The total heat flux into the Barents Sea basin has a significant positive trend with a value of 0.80 TW/year. Estimation of the trend revealed, that the central heat flux increased by 31% over the studied period, the northern heat flux increased most significantly – by 42%, which indicates the core of thermal activity on the sea border transfers to the north.*

**Keywords:** Barents sea, heat advection, atlantic water

**Введение.** Северо-Европейский бассейн (СЕБ), частью которого является Баренцево море (помимо Норвежского, Гренландского и Белого морей), находится под влиянием Северной Атлантики, из которой поступает в данный регион значительное количество тепла. Изменение количества приходящего тепла с течениями может влиять на общую ледовитость Баренцева моря [1]. Ледовитость моря, в свою очередь, оказывает влияние на экономическую деятельность региона: промысел, навигацию, добычу полезных ископаемых. Для точного прогноза ожидаемых изменений в морском ледяном покрове и безопасного ведения хозяйственной деятельности необходимо четкое понимание долгопериодной изменчивости горизонтального и вертикального обмена и потоков в СЕБ.

Адвекция океанического и атмосферного тепла является важнейшей составляющей термического баланса Арктического бассейна. Так, усиленное поступление атлантических вод в Баренцево море оставляет свободной ото льда акваторию моря в зимний период, что приводит к изменению циркуляции атмосферы и к аномально холодным периодам на европейской территории России и в Западной Европе [3–7]. Изменение адвекции тепла на западной границе Баренцева моря рассматривается в данной работе.

где  $Q$  – поток тепла, Вт·м<sup>-2</sup>;  $T$  – температура воды, °С;  $C_p$  – удельная теплоемкость воды 4205 Дж·кг<sup>-1</sup>·°С<sup>-1</sup> для температуры 5 °С;  $\Theta$  – температура замерзания, °С;  $U$  – скорость течения, м·с<sup>-1</sup>;  $\rho$  – плотность воды, кг·м<sup>-3</sup>;  $V$  – объем переносимой воды, м<sup>3</sup>.

Температура замерзания  $\Theta$  рассчитывалась по формуле Крюмеля

**Материалы и методы.** В качестве основной базы исходных данных послужил океанский реанализ ORAS4, который является составной частью ECMWF (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды) и охватывает период 1958 года по настоящее время (<http://apdrc.soest.hawaii.edu/>). Реанализ ORAS4 использует ассимиляцию профилей температуры и солёности, полученных с датчиков ХВТ, СТД, ARGO и мареографов. Кроме того используются аномалии уровня моря по альтиметрическим данным AVISO. Температура поверхности океана (ТПО) и ледяной покров получают из базы данных ERA-40 и NCEP OISSTv2. В качестве ассимиляционного метода используется метод NEMOVAR. Из этого архива данных выбирались среднемесячные значения широтной составляющей скорости течений (по нормали к разрезу), солёности и температуры воды на 23 горизонтах от 0 до 540 метров с 1980 по 2015 гг. Данные рассматривались на разрезе по меридиану 16,5° в.д. (от 69° до 76° с.ш.) через 1° и, по сути, представляют средние значения в полосе 16–17 в.д. (рис. 1).

Тепловой поток рассчитывался для каждой ячейки вертикального разреза отдельно, по формуле [11]:

$$Q = C_p \cdot (T - \Theta) \cdot U \cdot \rho \cdot V, \quad (1)$$

[12] с учетом солёности в конкретной ячейке  $S$ , ‰:

$$\Theta = -10 - 3 \cdot (3 + 52,7S + 0,04S^2 + 0,0004S^3), \quad (2)$$

а плотность морской воды – по уравнению Линейкина [13]:

$$\rho = \rho_0 + 10^{-3} \cdot (\varepsilon_1 S + \varepsilon_2 T - \varepsilon_3 S T - \varepsilon_4 T^2), \quad (3)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$  – некоторые постоянные коэффициенты, найденные П.С. Линейкиным эмпирическим путем.

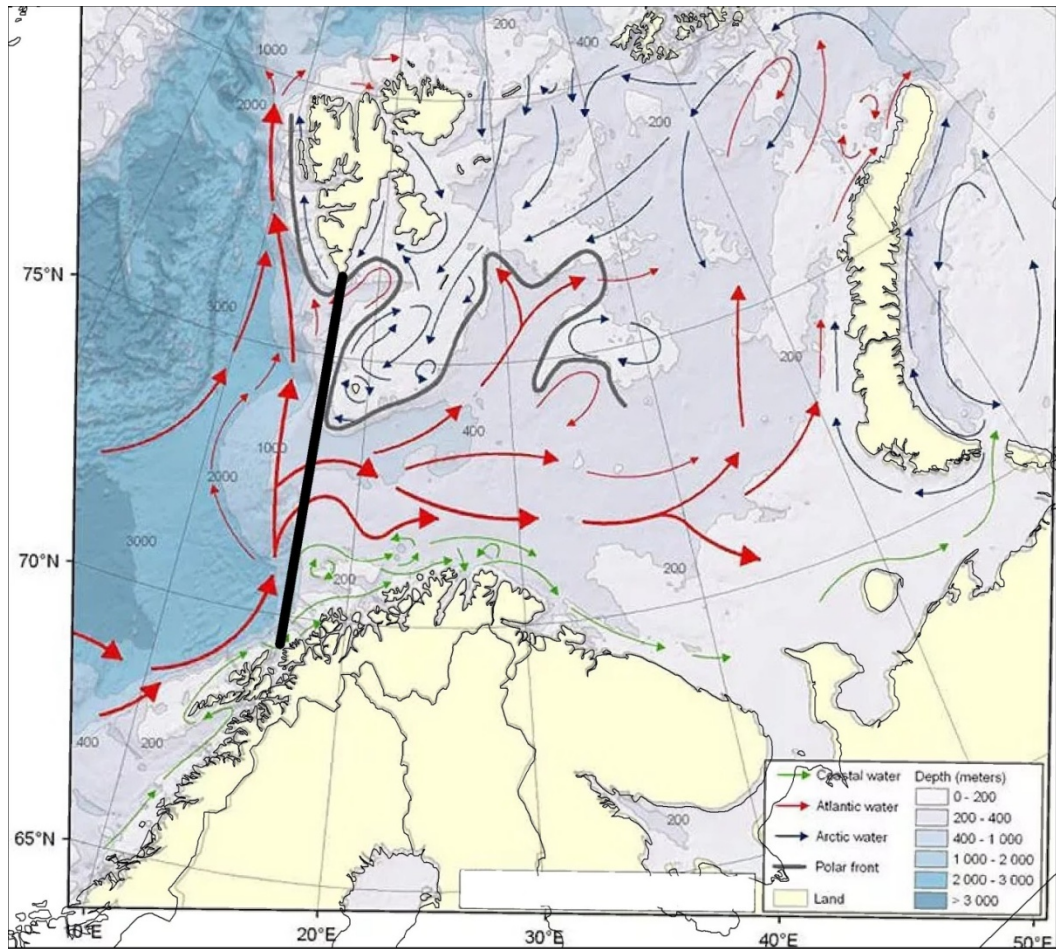


Рис. 1. Схема основных потоков воды в Северо-Европейском бассейне [2]. Черной линией выделен меридиональный разрез по 16.5° в.д.

**Результаты и обсуждение.** Из рис.1 видно, что потоки водных масс, проходящие через меридиональный разрез, представляют собой струи, имеющие восточное направление. О существовании струй на этом участке упоминается разными исследователями [3, 7, 8]. Преобладающим горизонтальным потоком здесь является Нордкапское течение. Это наиболее мощный и устойчивый поток, обуславливающий гидрологический режим моря. Он входит в море с запада и по мере продвижения на восток разделяется на несколько ветвей.

Оценки изменчивости горизонтальных потоков тепла в океане и

атмосфере в регионе Баренцева моря рассматриваются в многочисленных научных исследованиях, например [3 – 10], некоторые из них приведены в табл. 1. Как отмечено в [8 – 10] и видно из табл.1, оценки суммарного переноса массы и тепла через открытую часть Баренцева моря разных исследователей довольно близки.

Для каждой вертикальной ячейки сетки меридионального разреза были рассчитаны среднееголетние значения потоков тепла, скоростей течения и температуры воды (Рис.2).

Таблица 1– Средние многолетние оценки потоков массы и тепла на меридиональном разрезе Баренцева моря

Широтные зоны	Характеристики		
	Средняя величина	R <sup>2</sup> линейного тренда	Величина тренда, год <sup>-1</sup>
<b>Поток массы (Св)</b>			
Barents Sea Opening (71,6-73,6° с.ш.) (1997-2006 гг.) [8]	1.8	–	0.1
Barents Sea Opening (71,6-73,6° с.ш.) (1990-2000 гг.) [9]	2.3	–	-
Barents Sea Opening (71,6-73,6° с.ш.) (1997-2007 гг.) [10]	2.0	–	-
Разрез по 16,5° с.ш. (72-74° с.ш.) (1997-2007 гг.) (настоящая работа)	2.1	0.03	0.04
<b>Поток тепла (ТВт)</b>			
Barents Sea Opening (71,6-73,6° с.ш.) (1997-2006 гг.) [8]	48	–	2.5
Barents Sea Opening (71,6-73,6° с.ш.) (1990-2000 гг.) [9]	50	–	-
Barents Sea Opening (71,6-73,6° с.ш.) (1997-2007 гг.) [10]	50	–	-
Разрез по 16,5° с.ш. (72-74° с.ш.) (1997-2007 гг.) (настоящая работа)	68	0.10	2.1

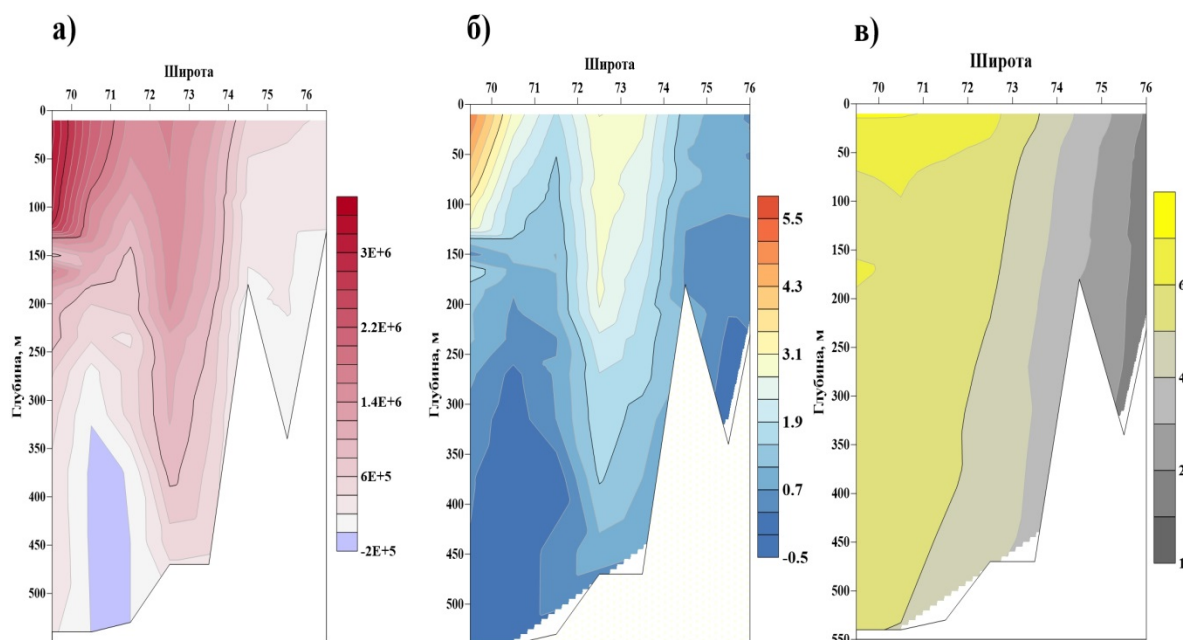


Рис. 2. Распределение среднемноголетних гидрофизических характеристик на меридиональном разрезе 16.5° в.д. за период с 1980 по 2015 год. (а – тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>, б – скорости течений, см/с, в – температура воды, °С)

Как видно из рис.2, поток тепла в Баренцево море определяется несколькими основными струями. Южная струя теплового потока находится у побережья Норвегии, в устье Нордкапского желоба, на широте 69.5-71.5° с.ш. и распространяется до горизонта 300 метров. Максимальное значение потока достигает  $3.6 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup> на горизонте 0–50 метров. Второй, центральный, поток расположен в широтной зоне 72-74° с.ш., распространяется вдоль Медвежинского желоба и достигает глубины 450 метров с максимальной интенсивностью  $1.8 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup> у поверхности. Самая северная струя располагается на широте 74.5-76° с.ш. в Зюйдкапском желобе. Глубина ее распространения достигает 30 метров с максимумом  $0.6 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup> также у поверхности. Все три струи имеют восточное направление. В придонной части разреза, в широтной зоне 70-71° с.ш. глубже 300 м и в Зюйдкапском желобе отмечается слабое противотечение западного направления. В южной части разреза тепловой поток определяется как вертикальным распределением температуры воды, так и течениями, а центральный и северный поток тепла – в основном, распределением скоростей течения (рис. 2 (б, в)).

Чтобы проследить временную изменчивость каждой характеристики для каждой вертикальной ячейки разреза,

были сделаны оценки тренда по среднемесячным данным за период с 1980 по 2015 год (рис.3). На меридиональном разрезе значимые тренды присутствуют во всех трех струях теплового потока, выявленных в среднемноголетнем состоянии, и показывают, что значительное усиление потока со временем происходит в центральной и северной струе. Максимальный тренд отмечается в подповерхностном слое центральной струи потока и составляет 950 Вт/м<sup>2</sup> в месяц. Основную роль в формировании трендов центральной и северной струй потока тепла играют тренды в скорости течений и в температуре воды. В южном потоке у поверхности отмечается отрицательный тренд в скорости течения в широтной зоне 69.5–72° с.ш., что свидетельствует об ослаблении течения, а в более глубоких горизонтах (100–300 м) – его усиление, что отражается и в распределении величины тренда потока тепла (рис. 3 б).

Все характеристики потоков были проинтегрированы от поверхности до горизонта 540 м в пределах следующих широтных зон: южный поток – 69–72° с.ш., центральный – 72–74° с.ш., северный – 74–76° с.ш. В таблице 2 представлены статистические параметры интегральных для каждой струи характеристик потоков и средние взвешенные оценки температуры и солёности воды.

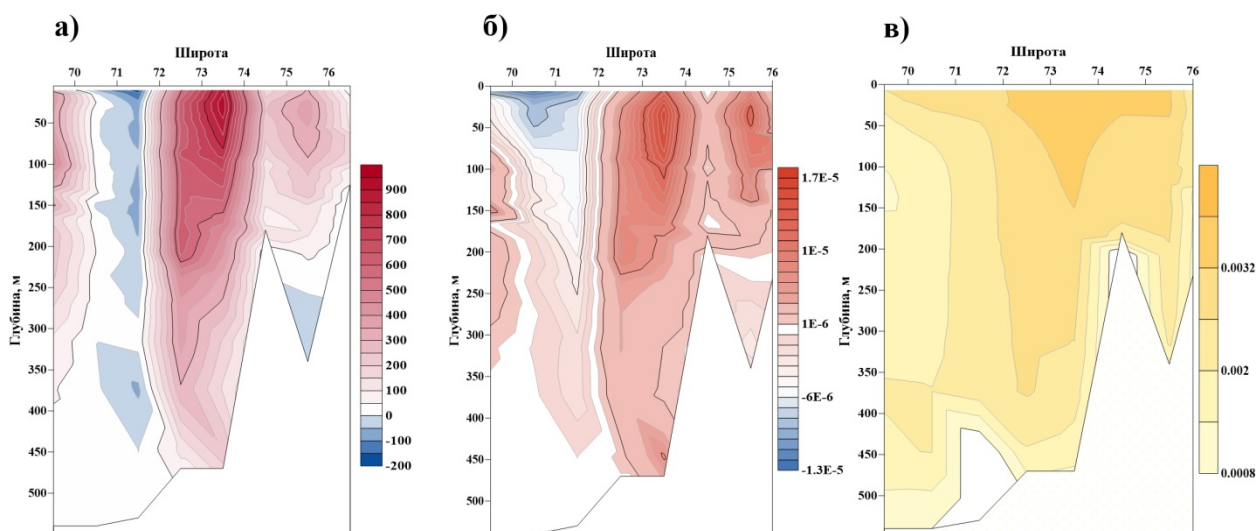


Рис. 3. Распределение величины тренда на меридиональном разрезе 16.5° в.д. за период с 1980 по 2015 год. (а – величина тренда теплового потока Вт/м<sup>2</sup> в год, б – величина тренда скоростей течений м/с в год, в – величина тренда температуры воды °С в год)

Таблица 2 – Статистические характеристики интегральных потоков массы и тепла, а также средневзвешенных значений температуры и солёности воды в южной, центральной и северной широтных зонах меридионального разреза по 16.5 в.д. (69-76° с.ш.), среднемесячных за период 1980–2015 гг

Широтные зоны потоков	Характеристики			
	Средняя величина	Стандартное отклонение	R <sup>2</sup> линейного тренда	Величина тренда, год <sup>-1</sup>
Поток массы, Св				
Северная	0.47	0.28	0.010	0.0026
Центральная	2.11	0.60	0.021	0.0085
Южная	1.74	0.86	0.001	-0.0026
В целом по разрезу	4.32	1.14	0.006	0.0085
Температура воды, °С				
Северная	3.0	1.03	0.09	0.030
Центральная	5.1	0.53	0.42	0.034
Южная	6.2	0.52	0.24	0.025
В целом по разрезу	5.1	0.59	0.25	0.029
Солёность, ‰				
Северная	34.99	0.04	0.50	0.002
Центральная	35.06	0.03	0.30	0.002
Южная	34.93	0.04	0.24	0.002
В целом по разрезу	34.99	0.04	0.44	0.002
Поток тепла, ТВт				
Северная	11.1	6.5	0.040	0.13
Центральная	65.4	17.8	0.111	0.57
Южная	62.5	31.2	0.001	0.11
В целом по разрезу	139.1	31.0	0.045	0.80

Как видно из таблицы 2, преобладающим потоком воды, проходящим через меридиональный разрез в Баренцево море, является струя в центральной части разреза, поток воды в которой достигает величины 2.1 Св, в южной части разреза немного меньше (1.7 Св), а самый слабый поток – в северной части разреза (0.5 Св). В целом средний многолетний перенос воды через меридиональный разрез в бассейн Баренцева моря за период 1980-2015 гг составляет 4.3 Св.

Значимый положительный тренд в среднемесячной изменчивости потока воды (при уровне значимости 5%) отмечается только в центральной и северной струях разреза, что обуславливает значимость тренда в целом по разрезу. В южной части разреза, наоборот, отмечается ослабление потока. По оценкам тренда оказалось, что за 36 лет общий поток воды, проходящий через южную часть разреза, ослабел на 5% (от среднего значения), центральный усилился на 15%, наиболее интенсивное усиление выявлено для северного потока воды – 20 %. В целом по всему разрезу поток усилился на 7%.

Нордкапское течение, идущее с запада на восток вдоль северной части Скандинавского полуострова, влияет на распределение температуры и солёности воды на исследуемом разрезе. Из таблицы 2 видно, что средняя по площади широтных зон разреза температура воды закономерно уменьшается к северу от 6.2 °С до 3.0 °С и имеет значимый, практически одинаковый по всему разрезу тренд 0.03 оС/год. Солёность также испытывает положительный тренд 0.002 о/оо в год.

Из таблицы 2 видно, что, несмотря на относительно небольшой поток воды в южной струе разреза, в этой широтной зоне отмечается мощный поток тепла, сравнимый с центральной струей. Очевидно, это обусловлено повышенными значениями температуры воды в прибрежной зоне Норвегии. За период 1980 по 2015 год среднемноголетний южный поток тепла составил в среднем 62 ТВт, центральный

поток – 65 ТВт, северный поток тепла наиболее слабый – 11 ТВт. Тренд в потоках тепла определяется соответствующими трендами во временной изменчивости температуры воды и скорости течений, а также, опосредованно, трендом в солёности воды, положительная величина которого уменьшает температуру замерзания и увеличивает плотность морской воды в соответствии с формулами (1) –(3). По оценкам тренда оказалось, что за 36 лет поток тепла, проходящий через южную часть разреза, увеличился на 6%, центральный на 31%, наиболее значительно усилился северный поток тепла – почти в полтора раза (на 42%).

Средний многолетний поток тепла через меридиональный разрез в бассейн Баренцева моря составляет 139 ТВт и имеет значимый положительный тренд с величиной 0.80 ТВт/год.

Полученные в данной работе распределения потоков воды и тепла через меридиональный разрез в целом для бассейна Баренцева моря также представлены в табл.1. Для сравнения, оценки рассчитаны для того же периода времени и для той же широтной зоны: Barents Sea Opening и соответствует центральной струе рассматриваемого меридионального разреза. Из табл. 1 видно, что оценки потоков воды совпадают, а оценки потока тепла выше, это может быть связано с недооценкой авторами [8–10] разницы между температурой замерзания и нулем.

Также нужно отметить, что неучет тепла, переносимого в прибрежной части Норвегии, а также в усиливающейся северной струе теплового потока, как делают авторы [8 – 10], приводит к значительной недооценке общего потепления Баренцева моря.

Характеристики внутригодовой изменчивости составляющих потока тепла на меридиональном разрезе по 16.5о в.д. представлены в табл. 3. Дисперсия годового хода температуры воды на разрезе достаточно велика: перепад значений от максимума в сентябре до минимума в феврале составляет 1 оС для центральной и южной широтной зоны, и 2

оС – для северной. Однако, несмотря на малые скорости течений, степень их внутригодовой изменчивости, определяемая коэффициентом вариации, в 3 – 6 раз выше, чем у температуры воды. Кроме того, оценка вклада в дисперсию внутригодовой изменчивости потока тепла, определённая последовательным

учетом переменных в пошаговой множественной линейной регрессии [14] показывает, что внутригодовой ход интегральных по вертикали горизонтальных потоков тепла через меридиональный разрез 16.5о в.д. (рис. 3) практически полностью определяется годовым ходом скоростей течений.

Таблица 3 – Характеристики внутригодовой изменчивости составляющих потоков тепла в южной, центральной и северной широтных зонах меридионального разреза по 16.5 в.д. (69-76° с.ш.)

Широтные зоны потоков	Характеристики				
	Размах	Среднее значение	Стандартное отклонение (СКО)	Коэффициент вариации (СКО/среднее)	Вклад в дисперсию потока тепла по МЛР
Скорость течения, см/с					
Северная	0.5	0.6	0.19	0.39	0.87
Центральная	0.9	1.9	0.33	0.17	0.95
Южная	1.3	1.1	0.44	0.30	0.93
Температура воды, °С					
Северная	2.4	3.0	0.40	0.30	0.12
Центральная	0.8	5.1	0.30	0.06	0.04
Южная	1.1	6.2	0.88	0.06	0.06

Как видно из рис.3, во внутригодовой изменчивости центральный и северный потоки находятся в противофазе: наибольшая интенсивность центрального потока в феврале сопровождается ослаблением северной струи; в августе – наоборот. Годовой ход южного потока испытывает значительные колебания и сдвинут относительно центрального на 1 месяц: сначала в январе наступает максимум интенсивности прибрежного течения, и только через месяц, в феврале, усиливается центральный поток.

Нужно отметить, что зимой южный прибрежный поток тепла является преобладающим среди трёх струй на меридиональном разрезе, а летом прибрежный поток настолько ослабевает, что приближается по величине к усилившемуся в это время северному потоку. Это еще раз подтверждает тезис о необходимости учета потоков тепла в южной и северной широтных зонах на входе в Баренцево море для правильной оценки его теплового баланса.



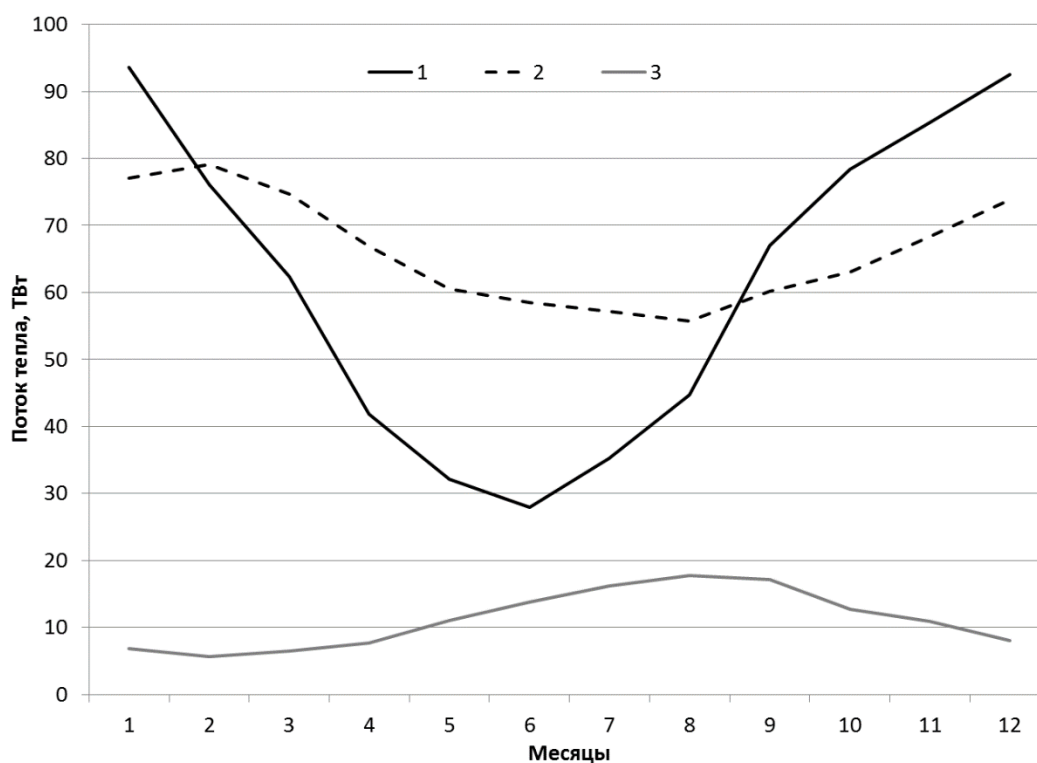


Рис. 4. Внутригодовой ход интегральных по вертикали южного (1), центрального (2), северного (3) горизонтальных потоков тепла через меридиональный разрез 16.5 в.д. в широтной зоне 69-76° с.ш. за период 1980–2015 гг.

**Заключение.** При оценке адвективного потока тепла, поступающего через меридиональный разрез по 16.5о в.д. в бассейн Баренцева моря, выявлено, что он распространяется тремя основными струями (южной, центральной и северной), располагающимися в углублениях рельефа дна на входе в Баренцево море. Преобладающим потоком воды, проходящим через меридиональный разрез в Баренцево море, является струя в центральной части разреза, поток воды в которой в среднем составляет 2.1 Св. Тем не менее, за счет повышенных значений температуры воды в прибрежной зоне Норвегии мощным потоком тепла является южный поток (62 ТВт). Средний многолетний поток тепла через меридиональный разрез в бассейн Баренцева моря составляет 139 ТВт. и имеет значимый положительный тренд с величиной 0.80 ТВт/год.

Тепловые потоки в северной и южной частях разреза испытывают значительную внутригодовую

изменчивость, практически полностью определяемую скоростями течений, и летом становятся сравнимы. Всё это свидетельствует о том, что для правильной оценки теплового баланса Баренцева моря необходимо принимать во внимание динамику вод как в южной, прилегающей к Норвегии, так и в северной, прилегающей к Шпицбергену, границам моря.

В межгодовой изменчивости потоков тепла центральной и северной струй выявляются значительные положительные тренды, обусловленные как усилением течений, так и потеплением воды. По оценкам тренда оказалось, что за исследуемый период центральный поток тепла увеличился на 31%. а северный – на 42%. Таким образом, акцент в переносе тепла в Баренцево море значительно смещается к северу, с чем может быть связано уменьшение площади ледяного покрова в Баренцевом море.

Список литературы:

1. Семенов В.А. Влияние океанологического притока в Баренцево море на изменчивость климата в Арктике // Доклады академии наук. 2008. Том 418. № 1. С. 106 – 109.
  2. McBride M.M., Fauchald P., Filin A., Høines A., Johannesen E., Korneev O., Makarevich P., Mauritzen M., Stiansen J.E., Storeng A.B. Океанографические условия [Электронный ресурс]. URL: <http://www.barentsportal.com> (дата обращения: 08.01.2019).
  3. Иванов В.В., Алексеев В.А., Алексеева Т.А., Колдунов Н.В., Репина И.А., Смирнов А.В. Арктический ледяной покров становится сезонным? // Исследование Земли из космоса. 2013. №4. С. 50 – 65.
  4. Смирнов А.В. Эволюция верхнего слоя океана в Северо – Евразийском бассейне: диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук, специальность 25.0.0.28 – океанология.– Санкт-Петербург. 2011 г.
  5. Балкин А.А., Алексеев Г.В., Богородский П.В., Харитонов В.В., Соколов В.Т. Вертикальные потоки тепла в верхнем 400 – метровом слое Арктического бассейна по данным наблюдений на дрейфующей станции «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-38» // Проблема Арктики и Антарктики. 2014. №2. С. 41 – 56
  6. Trenberth K.E., Carton J. M. Estimates of Meridional Atmosphere and Ocean Heat Transports // J. Clim. 2001. V. 14. № 16. P. 3433 – 3443.
  7. Farneti R., Vallis G.K. Meridional Energy Transport in the Coupled Atmosphere – Ocean System: Compensation and Partitioning // J. Clim. 2013. V. 26. № 18. P. 7151 – 7166.
  8. Skagseth O., Furevik T., Ingvaldsen R. Volume and Heat Transport to the Arctic Ocean Via the Norwegian and Barents Seas // Arctic-Subarctic Ocean Fluxes. Dordrecht: Springer Netherlands. 2008. P. 45- 64.
  9. Amedsrud L.H., Esau I., Ingvaldsen R.B. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system // Rev. Geophys. 2013. V. 51. №3. P. 515 – 449.
  10. Smedsrud L.H., Ingvaldsen R., J.E.O Nilson and Skagseth O. Heat in the Barents Sea: transport, storage, and surface fluxes // Ocean Sci.. 2010. №6. P.219-234.
  11. Башмачников И.Л., Юрова А.Ю., Бобылева Л.П., Весман А.В. Сезонная и межгодовая изменчивость потоков тепла в районе Баренцева моря // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Том 54. №2. С. 239 – 249.
  12. Рожков В.А. Статистическая гидрометеорология. Часть 1. Термодинамика: учебное пособие. СПб.: Изд-во С.–Петербур. ун–та. 2013. – 188 с.
  13. Исследование по проблеме Океана – Атмосфера / Под ред. В.В. Тимонова и др. – Л.:Гидрометеиздат. 1969. – 86 с.
  14. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации.– СПб, Изд. РГТМУ, 2008.
- References:
1. Semenov V.A. Vliyanie okeanologicheskogo pritoka v Barentsevo more na izmenchivost' klimata v Arktike // Doklady akademii nauk. 2008. Tom 418. № 1. S. 106 – 109.
  2. McBride M.M., Fauchald P., Filin A., Høines A., Johannesen E., Korneev O., Makarevich P., Mauritzen M., Stiansen J.E., Storeng A.B. Okeanograficheskiye usloviya [Электронный ресурс]. URL: <http://www.barentsportal.com> (08.01.2019).
  3. Ivanov V.V., Alekseev V.A., Alekseeva T.A., Koldunov N.V., Repina I.A., Smirnov A.V. Arkticheskij ledyanoy pokrov stanovitsya sezonnym? // Issledovanie Zemli iz kosmosa. 2013. №4. S. 50 – 65.
  4. Smirnov A.V. Evolyuciya verhnego sloya okeana v Severo – Evrazijskom bassejne: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata geograficheskikh nauk. special'nost' 25.0.0.28 – okeanologiya. Sankt-Peterburg. 2011.
  5. Balkin A.A., Alekseev G.V., Bogorodskij P.V., Haritonov V.V., Sokolov V.T. Vertikal'nye potoki tepla v verhnem 400 – metrovom slove Arkticheskogo bassejna po dannym nablyudenij na drejfuyushchej stancii «SEVERNYJ

- POLYUS-38» // Problema Arktiki i Antarktiki. 2014. №2. S. 41 – 56.
6. Trenberth K.E., Carton J. M. Estimates of Meridional Atmosphere and Ocean Heat Transports // J. Clim. 2001. V. 14. № 16. P. 3433 – 3443.
  7. . Farneti R., Vallis G.K. Meridional Energy Transport in the Coupled Atmosphere – Ocean System: Compensation and Partitioning // J. Clim. 2013. V. 26, № 18. P. 7151 – 7166.
  8. Skagseth O., Furevik T., Ingvaldsen R. et al Volume and Heat Transport to the Arctic Ocean Via the Norwegian and Barents Seas // Arctic-Subarctic Ocean Fluxes. Dordrecht: Springer Netherlands. 2008. P. 45- 64.
  9. Amedsrud L.H., Esau I., Ingvaldsen R.B. et. Al. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system // Rev. Geophys. 2013. V. 51. №3. P. 515 – 449.
  10. Smedsrud L.H., Ingvaldsen R., J.E.O Nilson and Skagseth O. et al Heat in the Barents Sea: transport, storage, and surface fluxes // Ocean Sci. 2010. №6. P.219-234.
  11. Bashmachnikov I.L., Yurova A.Yu., Bobyleva L.P., Vesman A.V. Sezonnaya i mezhgodovaya izmenchivost' potokov tepla v rajone Barenceva morya // Izvestiya RAN fizika atmosfery i okeana. 2018. V 54. №2. P. 239 – 249.
  12. Rozhkov V.A. Statisticheskaya gidrometeorologiya. Chast' 1. Termodinamika: uchebnoye posobie. SPb.: Izd-vo S. – Peterb. un-ta. 2013. – 188 s.
  13. Issledovanie po probleme Okeana – Atmosfera/ pod red. V.V. Timonova – L.:Gidrometeoizdat, 1969. – 86 s.
  14. Malinin V.N. Statisticheskiye metody analiza gidrometeorologicheskoy informacii.– SPb, Izd. RSHU, 2008.