

УДК 551.465.7

РЕЖИМЫ КРУПНОМАСШТАБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА В НОРВЕЖСКОМ И БАРЕНЦЕВОМ МОРЯХ

А. А. Сизов*, Н. В. Михайлова, Т. М. Баянкина

Представлено академиком РАН В.М. Котляковым 19.09.2016 г.

Поступило 19.09.2016 г.

Проанализирован крупномасштабный процесс взаимодействия атмосферы и океана в атлантическом секторе Арктики. Показано, что режим поступления атлантических вод в моря Северо-Европейского бассейна регулируется главной модой межгодовой изменчивости в системе океан–атмосфера — Североатлантическим колебанием (САК). Предложена новая схема влияния САК на гидрофизические характеристики Норвежского, Баренцева морей.

Ключевые слова: взаимодействие атмосферы и океана, атлантический сектор Арктики, североатлантическое колебание, гидрофизические характеристики.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524845615-618>

Тепловые и динамические процессы в пограничных слоях атмосферы и океана Арктического бассейна регулируются циркуляцией атмосферы в высоких широтах Северного полушария. Индикатор циркуляции атмосферы в атлантическом секторе Арктического бассейна — Североатлантическое колебание (САК).

В настоящее время самое широкое распространение получила схема взаимодействия Северного Ледовитого океана (СЛО) и циркуляции атмосферы в Северной Атлантике. Согласно этой схеме, максимальное поступление вод Северной Атлантики в СЛО происходит в положительную фазу САК [1]. Результаты ряда работ (например, [2–4]) не противоречили данному представлению. Поскольку атлантическая вода более тёплая и солёная, то в этом случае следовало ожидать также увеличение температуры и солёности в северных морях. Однако по данным работ [5, 6] в годы с положительной фазой САК солёность и температура вод субполярного циклонического круговорота (СЦК), который занимает Лабрадорско-Исландский бассейн, были ниже, чем в годы с отрицательной фазой САК. При этом наблюдалось пространственное смещение границ СЦК: восточная граница сдвигалась к Исландии, а субполярный фронт — на юг. В [7] показано, что в зависимости

от фазы САК, действительно, субполярный фронт меняет своё положение на западе и востоке Северной Атлантики, формируя благоприятные (в отрицательную фазу САК) или неблагоприятные (в положительную фазу САК) условия для притока атлантических вод в восточную часть СЦК. Таким образом, среди исследователей не сложилось единого мнения относительно условий, при которых меняется интенсивность притока атлантических вод в моря Северо-Европейского бассейна Арктики, и этот вопрос остаётся дискуссионным.

Цель нашей работы — изучение особенностей взаимодействия атмосферы и океана, влияющих на состояние морской среды в Норвежском, Баренцевом морях.

В работе использовали зимний индекс САК (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>); среднемесячные поля касательного напряжения трения приземного ветра из массива реанализа MERRA (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/mdisc/dataholdings/merra/>); среднегодовые величины расхода течений в Фареро-Шетландском проливе за 1900–1979 гг. [8] и за 1994–2011 гг. [9]; данные о солёности на глубине 100 м на станции погоды “М” в Норвежском море (66° с.ш., 2° в.д.) за 1948–2015 гг.; данные о концентрации льда в Баренцевом море за 1870–2015 гг. из массива HadISST1 центра Гадлея, Великобритания (<http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/>); данные о среднемесячной температуре воды в слое 0–200 м

*Морской гидрофизический институт
Российской Академии наук, Севастополь*

* E-mail: sizov_anatoliy@mail.ru

в Нордкапском течении за 1951–2015 гг.; данные Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (<http://www.pinro.ru/15/index.php/ru/structure/labs/labhidro/kolasection>).

Анализ использованных данных позволил получить следующие результаты. Основная масса атлантических вод (>90%) поступает в СЛО через Исландско-Шетландский порог и через Фареро-Шетландский пролив. При этом на долю последнего пролива приходится по оценкам разных авторов 36–52% общего объема поступления [4, 9]. Как следует из рис. 1, изменение интенсивности потока вод САТ в Фареро-Шетландском проливе находится в очень тесной связи с индексом САК и хорошо аппроксимируется линейной зависимостью с высокими коэффициентами детерминации ($R^2 = 0,822$ для данных из [8], $R^2 = 0,652$ для объединённых данных [8, 9]). Следовательно, в положительную фазу САК приток атлантических вод в моря Северо-Европейского бассейна через Фареро-Шетландский пролив уменьшается, а в отрицательную — увеличивается. Полученные выводы нашли подтверждение также в работах [10, 11].

Минуя Фареро-Шетландский пролив, атлантическая вода распространяется вдоль побережья Норвегии. Основная масса атлантической воды

поступает в Норвежское море в виде промежуточных вод [9] с глубиной залегания ядра от 50 до 250 м, в среднем — 100 м. Изменения в объеме поступления атлантических вод на входе в бассейн СЛО должны неизбежно отразиться на термохалинных характеристиках местных водных масс. Наиболее длительные океанографические наблюдения в этом районе Мирового океана проводятся на станции погоды “М” (66° с.ш., 2° в.д.). Как следует из рис. 2, повышенный приток атлантических вод в Норвежское море, который характерен для отрицательной фазы САК, увеличивает солёность вод на глубине 100 м в точке “М”. И, наоборот, в годы положительной фазы САК и пониженного притока атлантических вод солёность Норвежского моря уменьшается.

Каков же механизм воздействия САК на верхние слои океана, позволяющий регулировать режим поступления атлантических вод в высокие широты Северного полушария? На рис. 3 показаны композитные поля напряжения трения ветра у поверхности в разные фазы САК. В положительную фазу САК в широтном поясе 45°–60° с.ш. усиливается западная составляющая ветра (рис. 3а). По этой причине дрейфовый перенос вод САТ носит хорошо выраженный зональный характер. Значительная часть вод САТ уходит к побережью Европы и дальше на юг [7], СЦК расширяется, приток атлантических вод в моря СЦК сокращается [6].

При отрицательных значениях индекса САК над умеренными широтами Северной Атлантики зональная составляющая скорости ветра заметно

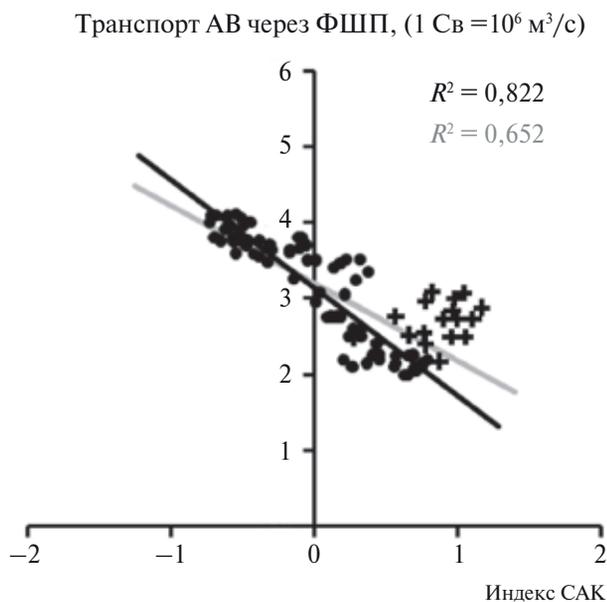


Рис. 1. Среднегодовой приток атлантических вод (АВ) в Фареро-Шетландском проливе (ФШП) в зависимости от индекса САК, сглаженного 30-летним скользящим средним. Кружки — данные из [8], крестики — данные из [9]. Графики линейной зависимости, полученные методом наименьших квадратов, — чёрная линия для данных из [8], серая линия — для объединённых данных из [8, 9].

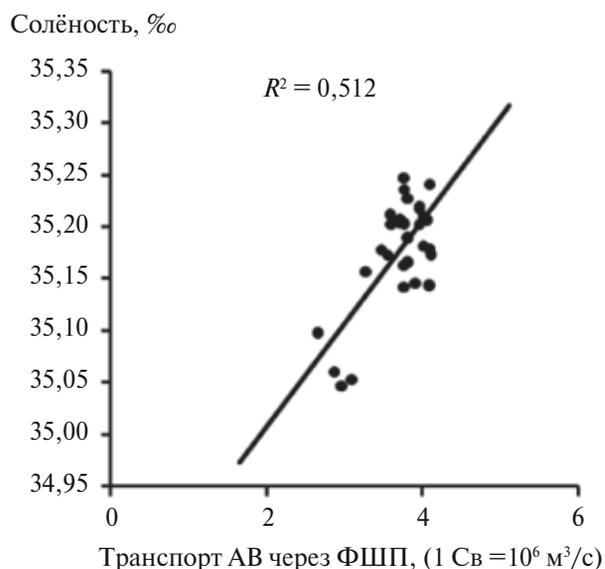


Рис. 2. Солёность на глубине 100 м на станции погоды “М” в зависимости от среднегодового притока в ФШП.

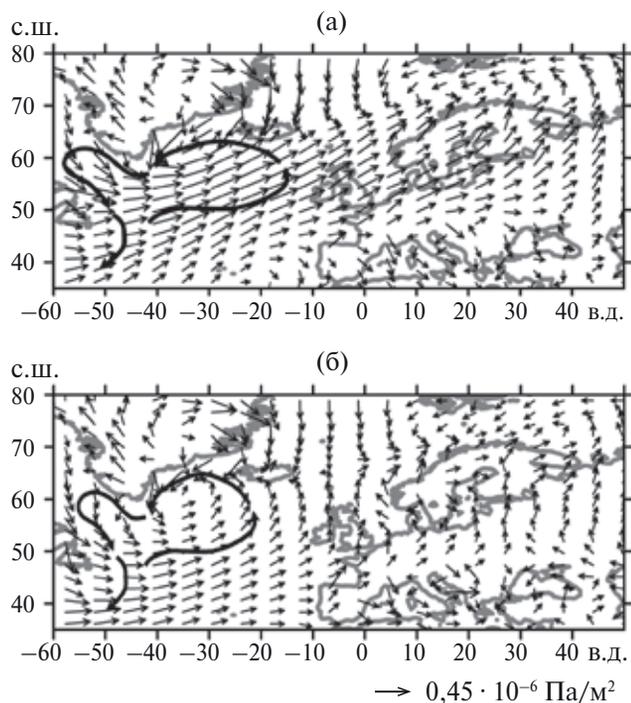


Рис. 3. Осреднённое за зимний период (декабрь–март) касательное напряжение трения приземного ветра, Па/м² (тонкие стрелки) в Атлантико-Европейском регионе в годы с положительным (а) и отрицательным (б) индексом САК. Схема субполярного циклонического круговорота — жирные стрелки.

ослабевает и сама скорость ветра уменьшается (рис. 3б). На фоне ослабления атмосферного форсинга снижаются скорости САТ и интенсивность субтропического круговорота. В этой ситуации слабая завихренность поля ветра ведёт к ослаблению СЦК и сокращению его площади, что позволяет тёплым и солёным субтропическим водам проникать на север в большем объёме [6].

Режим поступления атлантических вод в бассейн СЛО оказывает влияние на границы распространения и площадь морского льда в Баренцевом море. На рис. 4 представлен многолетний ход аномалий ледовитости Баренцева моря и аномалий температуры воды в Нордкапском течении, сглаженных 13-месячным скользящим средним. Коэффициент корреляции между указанными рядами $R = -0,75$ и между этими же рядами после удаления линейного тренда $R = -0,68$. Таким образом, адвекция тепла с течениями, по-видимому, является важным фактором изменения ледовитости Баренцева моря.

С другой стороны, как показано в [12], вклад океана в суммарную адвекцию тепла в Арктический регион весьма мал (доля океана 0,05, а доля атмосферы 0,95). Известно, что изменчивость поля ветра в Атлантико-Европейском регионе также

регулируется САК через изменение циклонической активности. В положительную фазу САК циклоническая активность над окраинными морями Евро-Азиатского шельфа заметно повышается [2]. Поступление тёплого воздуха с циклонами ведёт к уменьшению потоков тепла из океана в атмосферу вследствие уменьшения разности температур вода—воздух. Это ещё одна причина того, что атлантические воды теряют меньше тепла именно в положительную фазу САК. Принципиально важной остаётся и траектория движения циклонов. В положительную фазу САК траектории циклонов смещены к северу [13], при этом большая часть Баренцева моря попадает в область тёплого сектора циклонов. Над Баренцевым морем наблюдается усиление ветра южных направлений, что способствует дрейфу ледяных полей на север и уменьшению концентрации льда на юге Баренцева моря.

В отрицательную фазу САК уменьшается количество и интенсивность циклонов, а их траектории проходят над северными районами европейской территории России. Через акваторию Баренцева моря чаще всего проходит тыловая часть циклонов, где преобладающее направление ветра — северное. Дрейф ледяных полей Баренцева моря под действием северного ветра происходит в южном направлении. Концентрация льда увеличивается, в том числе и по причине низкой температуры воздуха. Таким образом, в годы положительного индекса САК, по-видимому, следует ожидать высоких температур верхнего слоя воды, воздуха и снижение ледовитости Баренцева моря. Противоположная ситуация будет наблюдаться в годы отрицательного индекса САК.

Непосредственно рассчитанная корреляция детрендрованных аномалий ледовитости Баренцева моря и зимнего индекса САК невелика ($-0,31$). Это вызвано тем, что океан ещё находится под воздействием атмосферных условий предыдущего года, причём уже модифицированных, а

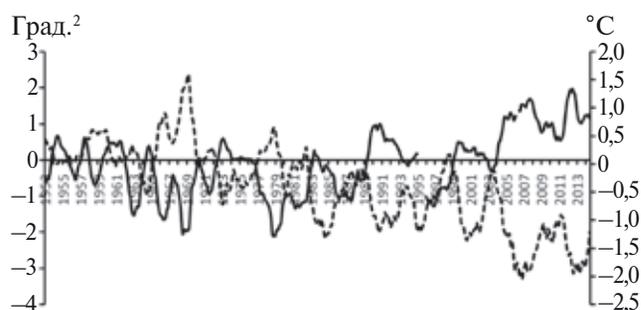


Рис. 4. Многолетний ход аномалий ледовитости Баренцева моря (штриховая линия) и аномалий температуры воды в слое 0–200 м в Нордкапском течении (сплошная линия).

состояние атмосферы соответствует условиям текущего года. Наложение двух сигналов от предыдущего и настоящего САК осложняет анализ связей океанических и атмосферных характеристик в районе Баренцева моря.

В заключение отметим следующее. Североатлантическое колебание — главная мода межгодовой изменчивости в системе океан—атмосфера Атлантико-Европейского региона. Смена фаз САК приводит к существенным изменениям поля ветра над Северной Атлантикой, потоков тепла и влаги, интенсивности, количества и траекторий циклонов и т.д.

Годы с положительной фазой САК характеризуются интенсификацией западного переноса в нижней тропосфере атлантического сектора СЛО и высокой циклонической активностью над окраинными морями Евразийского шельфа СЛО. В СЛО через Фареро-Шетландский пролив уменьшается поступление атлантической воды, но она меньше отдает тепла по пути своего распространения вследствие адвекции тепла с циклонами и уменьшения разности температур вода—воздух. Поступление, хотя и в меньшем объёме, но более тёплых атлантических вод способствует уменьшению ледовитости Баренцева моря.

Годы с отрицательной фазой САК характеризуются ослаблением западного переноса над атлантическим сектором СЛО и низкой циклонической активностью над морями Евразийского шельфа СЛО. В эти годы увеличивается поступление атлантических вод в моря Западно-Европейского бассейна через Фареро-Шетландский пролив и возрастает ледовитость Баренцева моря.

Безусловно, эта упрощённая схема взаимодействия пограничных слоев атмосферы и океана в СЛО в зависимости от фазы САК требует дальнейшего уточнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Polyakov I.V., Alekseev G.V., Timokhov L.A., Bhatt U.S., Colony R.L., Simmons H.L., Walsh D., Walsh J.E., Zakharov N.F. // *J. Climate*. 2004. V. 17. № 23. P. 4485–4496.
2. Dickson R.R., Osborn T.J., Hurrell J.W., Meincke J., Blindheim J., Adlandsvik B., Vinje T., Alekseev G., Maslowski W. // *J. Climate*. 2000. V. 13. P. 2671–2696.
3. Curry R.G., Mc Cartney M.S. // *J. Phys. Oceanogr.* 2001. V. 31. № 12. P. 3374–3400.
4. Hansen B., Østerhus S., Turrell W.R., Jonsson S., Valdimarsson H., Hátún H., Olsen S.M. In: *Arctic-Subarctic Ocean Fluxes*. Amsterdam: Springer, 2008. P. 15–43.
5. Bersh M., Yashayaev I., Koltermann K.P. // *Ocean Dyn.* 2007. № 57. P. 223–237.
6. Сарафанов А.А., Соков А.В., Фалина А.С. // *Океанология*. 2009. Т. 49. № 2. С. 209–221.
7. Дворянинов Г.С., Кубряков А.А., Сизов А.А., Станичный С.В., Шапиро Н.Б. // *ДАН*. 2016. Т. 466. № 3. С. 345–349.
8. Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в Норвежской энергоактивной зоне / Под ред. Ю. В. Николаева, Г.В. Алексеева. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 128 с.
9. Bersh B., Hansen B., Østerhus S., Larsen K.M., Shervin T., Jochumsen K. // *Ocean Sci.* 2013. V. 9. P. 639–654.
10. Hughes S., Holliday N.P., Gaillard F. ICES Working Group on Oceanic Hydrography // *ICES J. Mar. Sci.* 2012. V. 69. № 5. P. 706–719.
11. Chafik L. // *Tellus A.* 2012. V. 64. 18423.
12. Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI вв. / Под ред. Г. В. Алексеева и др. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. 200 с.
13. Hurrell J.W., Deser C. // *J. Mar. Syst.* 2009. V. 78. P. 28–41.

LARGE-SCALE ATMOSPHERIC—OCEANIC INTERACTION REGIMES IN THE NORWEGIAN AND BARENTS SEAS

A. A. Sizov, N. V. Mikhailova[†], T. M. Bayankina

Federal State Budget Scientific Institution Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russian Federation

Presented by Academician of the RAS V. M. Kotlyakov September 19, 2016

Received September 19, 2016

Large-scale atmosphere—ocean interaction in the Atlantic sector of the Arctic Ocean is analyzed. New studies demonstrate that the variability of Atlantic water inflow into Nordic seas is driven largely by the leading mode of year-to-year variations in the ocean—atmosphere system—the North Atlantic Oscillation (NAO). A new vision of the effect of the NAO on the hydrophysical characteristics of the Norwegian and Barents seas is offered.

Keywords: Atmosphere—ocean interaction, Atlantic sector of the Arctic Ocean, North Atlantic oscillation, hydrophysical characteristics.