

УДК 551.465.7

ДВА РЕЖИМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА В АТЛАНТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

© 2021 г. **Н. В. Михайлова**¹, Т. М. Баянкина^{1, *}, А. А. Сизов^{1, **}¹Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

*e-mail: bayankina_t@mail.ru

**e-mail: sizov_anatoliy@mail.ru

Поступила в редакцию 16.06.2018 г.

После доработки 10.08.2019 г.

Принята к публикации 14.02.2021 г.

В работе рассматривается влияние главной моды межгодовой изменчивости климатической системы Северной Атлантики – Североатлантического колебания (САК) – на гидрофизические и гидрометеорологические характеристики североευропейских морей. Предложена новая схема взаимодействия океана и атмосферы в атлантическом секторе Арктического бассейна. В положительную фазу САК уменьшается объем поступления атлантических вод через Фареро-Шетландский пролив в Норвежское море, а также их удельная теплоотдача в атмосферу. Циклоническая деятельность над окраинными морями Евро-Азиатского шельфа зимой в положительную фазу САК активизируется. Траектории циклонов смещены к северу, что способствует адвекции теплого воздуха на акваторию североευропейских морей, причем в районе Баренцева моря повышается частота ветров южных направлений. Температура воды в этот период в Нордкапском течении повышается, а ледовитость Баренцева моря снижается. Процессы в системе океан–атмосфера–лед Западной Арктики в отрицательную фазу САК протекают в противоположном направлении. Эти выводы получены для временного интервала, характеризующего отрицательными значениями индекса Атлантической мультideкадной осцилляции (АМО). В положительную фазу АМО, которая стала преобладать в 2000-х гг., процессы в системе океан–атмосфера–лед Баренцева моря происходили, по-видимому, в основном под воздействием адвекции атлантических вод повышенной температуры.

Ключевые слова: Арктический бассейн, Североатлантическое колебание, Атлантическая мультideкадная осцилляция, адвекция тепла, ледовитость

DOI: 10.31857/S0030157421030096

ВВЕДЕНИЕ

Взаимодействие пограничных слоев атмосферы и океана в атлантическом секторе Арктического бассейна регулируется циркуляцией атмосферы в высоких широтах Северного полушария. Индикатором циркуляции атмосферы в атлантическом секторе Арктического бассейна является Североатлантическое колебание (САК). Сущность САК заключается в перераспределении атмосферных масс между Арктикой и субтропической Атлантикой. При этом переход из одной фазы САК в другую вызывает большие изменения в поле ветра, переносах тепла и влаги, в интенсивности, количестве и траекториях штормов и т.д. [17]. Влияние САК на атмосферные и океанические условия в Арктике является предметом многочисленных исследований [6, 11, 12, 14, 20, 23 и др.]. Наибольшее распространение получила общая схема взаимодействия Арктического океана и САК [23]. Согласно предложенной схеме, максимальное поступление вод Северной Атлантики в

бассейн Северного Ледовитого океана (СЛО) происходит в положительную фазу САК. Данное представление не противоречило результатам ряда других работ [10, 11, 14]. Поскольку атлантическая вода более теплая и более соленая, то в этом случае следовало ожидать также увеличения температуры и солености в водах Субполярного циклонического круговорота. Однако, по данным работ [6, 3], в годы с положительной фазой САК соленость и температура вод Субполярного циклонического круговорота, который занимает Лабрадорско-Исландский бассейн, ниже, чем в годы с отрицательной фазой САК. При этом наблюдается пространственное смещение границ Субполярного циклонического круговорота: восточная граница сдвигается к Исландии, а субполярный фронт – на юг. Объяснение ситуации, при которой в годы максимального переноса водных масс Северо-Атлантического течения они не поступали бы в Субполярный циклонический круговорот и наоборот, было представлено в

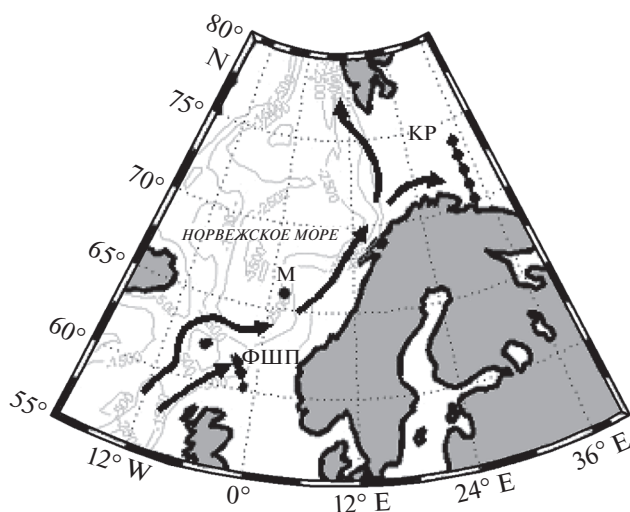


Рис. 1. Географическая карта района исследования. Серые линии – изобаты (м). Черными жирными стрелками показаны основные пути поступления атлантических вод в Арктику. Сокращения: ФШП – Фареро-Шетландский пролив, М – станция погоды “М”, КР – Кольский разрез.

работе [1]. Используя данные альтиметрии, авторы [1] показали, что в зависимости от фазы САК субполярный фронт меняет свое 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 Субполярного циклонического круговорота. Таким образом, среди исследователей не сложилось единого мнения относительно условий, при которых меняется интенсивность притока атлантических вод в моря Западной Арктики, и этот вопрос остается дискуссионным.

Цель работы состоит в выявлении особенностей процессов в верхнем слое Баренцева моря, связанных с изменчивостью притока атлантических вод через Фареро-Шетландский пролив в разные фазы САК.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В настоящей работе использовались: зимний индекс САК Харрелла (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>); среднемесячные поля касательного напряжения трения приземного ветра из массива реанализа MERRA2 с пространственным разрешением $0.50^\circ \times 0.67^\circ$; среднегодовые величины расхода течений в Фареро-Шетландском проливе за 1900–1979 гг. из [4] и за 1994–2011 гг. из [7]; данные о температуре и солености 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 HadISST центра Гадлея, Великобритания, с пространственным разрешением $1^\circ \times 1^\circ$; данные о среднемесячной температуре воды в слое 0–200 м в южной части Кольского разреза (Нордкапское течение) за 1951–2015 гг. 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>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основная масса атлантических вод (более 90%) поступает в СЛО через Фареро-Шетландский пролив в виде Норвежского течения и, перетекая через Фареро-Исландский хребет, в виде Фарерского течения (рис. 1). При этом на долю Фареро-Шетландского пролива приходится 56% общего объема поступления [7, 14, 24, 27].

Оценим характер связи потока атлантических вод через Фареро-Шетландский пролив и индекса САК. Для исключения влияния короткопериодных (межгодовых) колебаний индекса САК он сглаживался 30-летним прямоугольным фильтром (скользящее среднее). Полученные результаты представлены на рис. 2а.

Как следует из этого рисунка, изменение интенсивности потока атлантических вод через Фареро-Шетландский пролив находится в очень тесной связи с индексом САК и хорошо аппроксимируется линейной зависимостью с высокими коэффициентами детерминации ($R^2 = 0.822$ для данных из [4] и $R^2 = 0.652$ для объединенных данных [4, 7]). Следовательно, в отличие от результатов [23], в положительную фазу САК приток атлантических вод в северные моря СЛО через Фареро-Шетландский пролив уменьшается, а в отрицательную – увеличивается. Полученные выводы нашли подтверждение в работах [9, 15, 16].

Используя данные альтиметрии за 1992–2010 гг. и гидрографические данные о температуре воды, автор [9] обнаружил, что в отрицательную фазу САК в районе Фареро-Шетландского пролива аккумулируется больше теплой и соленой воды. Авторы работ [15, 16] заметили сдвиг к югу субполярного фронта и уменьшение площади поверхности океана, занимаемой атлантическими водами, особенно выраженное к северу от 55° с.ш. и в Фареро-Шетландском проливе, в годы высокого индекса САК. Минувя Фареро-Шетландский пролив, атлантическая вода распространяется вдоль побережья Норвегии. Основная масса атлантических вод поступает в Норвежское море в виде промежуточных вод [7, 19, 23] с глубиной залегания ядра от 50 до 250 м, в среднем – 100 м. Изменения объема поступления атлантических вод на

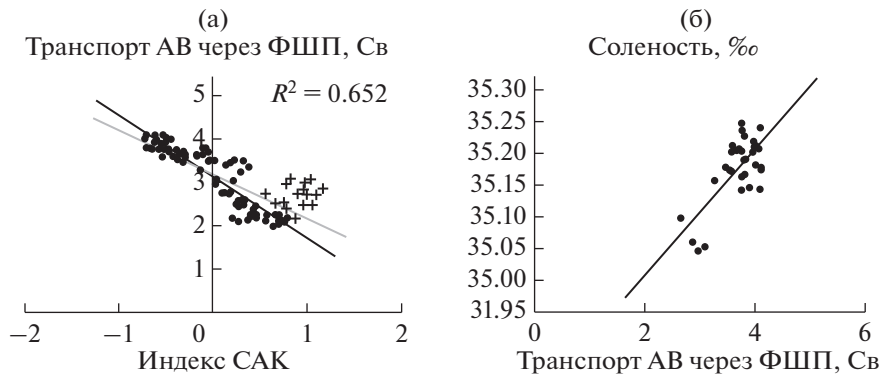


Рис. 2. Среднегодовой поток атлантических вод (АВ) через Фареро-Шетландский пролив (Св) в зависимости от индекса САК, сглаженного 30-летним скользящим средним (а), и соленость вод на глубине 100 м на станции погоды “М” в зависимости от среднегодового потока атлантических вод через Фареро-Шетландский пролив (б). Точками на рис. 2а обозначены данные из [4], крестиками – данные из [7]. График линейной зависимости расхода течений в ФШП из [4] от индекса САК, полученной по методу наименьших квадратов, показан на рис. 2а черной линией, для объединенных данных из [4] и [7] – серой линией.

входе в бассейн СЛО должно неизбежно отразиться на термохалинных характеристиках местных водных масс. Наиболее длительные океанографические наблюдения в этом районе Мирового океана проводятся на станции погоды “М” (см. рис. 1). Вследствие теплообмена с атмосферой температура атлантических вод постепенно понижается, однако их соленость является более консервативной характеристикой. Как следует из рис. 2б, повышенный приток атлантических вод в Норвежское море, который характерен для отрицательной фазы САК, увеличивает соленость вод на глубине 100 м в точке “М”. И наоборот, в годы положительной фазы САК и с пониженным притоком атлантических вод соленость 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 касательного напряжения трения ветра у поверхности в разные фазы САК. В положительную фазу САК в широтном поясе 45°–60° с.ш. усиливается западная составляющая касательного напряжения трения приземного ветра (рис. 3а). По этой причине дрейфовый перенос вод Северо-Атлантического течения носит хорошо выраженный зональный характер. Значительная часть вод Северо-Атлантического течения уходит к побережью Европы и дальше на юг [1]. Восточная граница Субполярного циклонического круговорота смещается в сторону Исландии, и приток атлантических вод в море Ирмингера и СЛО сокращается [15, 25]. При отрицательных значениях индекса САК над умеренными широтами Северной Атлантики зональная составляющая и сама величина касательного напряжения трения ветра заметно уменьшаются (рис. 3б). На фоне

ослабления атмосферного форсинга снижаются скорости Северо-Атлантического течения и интенсивность Субтропического круговорота. В этой ситуации слабая завихренность поля ветра ведет к ослаблению Субполярного циклонического круговорота, его восточная граница сдвигается в западном направлении, что позволяет соленым субтропическим водам проникать на север в большем объеме [13, 25].

Как же в этом случае объяснить наблюдающееся повышение температуры атлантических водных масс вдоль пути их распространения в положительную фазу САК? По сведениям из работы [23], положение изотермы 0.75°C в положительную фазу САК более чем на 1000 км сдвинуто на восток вдоль Сибирского континентального шельфа. Авторы работы [8] обнаружили, что в годы высокого индекса САК западная граница распространения атлантических вод в Норвежском море находится на 300 км ближе к берегу, чем в годы низкого индекса САК. Поскольку площадь поверхности атлантических вод, контактирующих с атмосферой, сокращается, то уменьшаются теплотери вдоль пути их распространения и более теплая, чем обычно, атлантическая вода должна поступать в Баренцево море. Снижению теплотери атлантических вод в положительную фазу САК также способствуют и атмосферные условия, о которых речь пойдет ниже.

Аномалии температуры и солености, регистрируемые в Фареро-Шетландском проливе, обнаруживаются в Баренцевом море (район Шпицбергена) через 1–2 года [12, 23]. В соответствии с этими оценками, из района станции погоды “М” в Норвежском море аномалии температуры и солености должны достичь Кольского разреза в Баренцевом море с задержкой по времени от 6 мес. до 1 года. Данные рис. 4 свидетельствуют о прак-

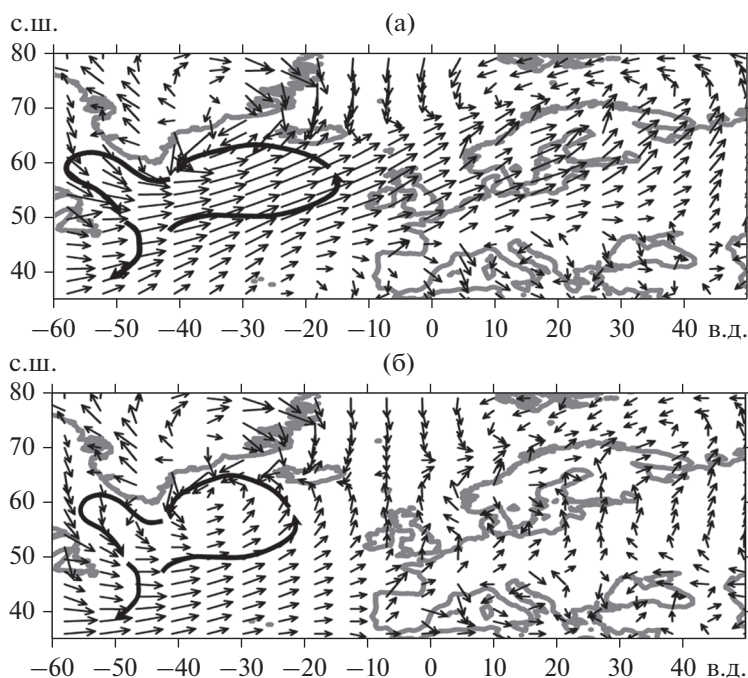


Рис. 3. Осредненное за зимний период (декабрь–март) касательное напряжение трения приземного ветра, Па/м² (тонкие стрелки), в Атлантико-Европейском регионе в годы с положительным (а) и отрицательным (б) индексом САК. Жирными стрелками показаны границы Субполярного циклонического круговорота.

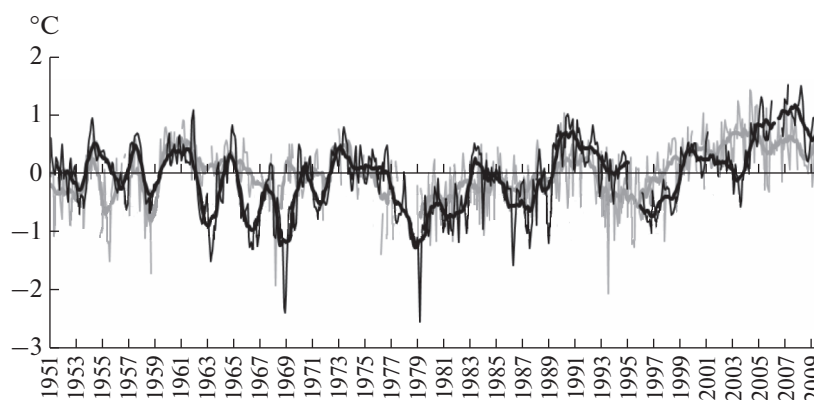


Рис. 4. Временной ход аномалий температуры воды на глубине 100 м на станции погоды “М” (тонкая серая линия), скользящих средних аномалий температуры воды на глубине 100 м на станции погоды “М”, сглаженных 13-месячным окном (жирная серая линия); аномалий температуры воды в слое 0–200 м в южной части Кольского разреза (тонкая черная линия), скользящих средних аномалий температуры воды в слое 0–200 м в южной части Кольского разреза, сглаженных 13-месячным окном (жирная черная линия).

тически синхронном временном ходе температурных аномалий на станции погоды “М” и в Нордкапском течении (южная часть Кольского разреза). Коэффициент корреляции без сдвига составил 0.56, со сдвигами “+1” год и “+2” года — соответственно 0.55 и 0.40. То есть изменения температуры в Норвежском и Баренцевом морях происходят синхронно и в одном направлении.

Более высокие температуры в Баренцевом море наблюдаются в положительную фазу САК (см.,

например, [11]). По нашим расчетам, коэффициенты корреляции аномалий температуры воды слоя 0–200 м в Нордкапском течении (как в отдельные зимние месяцы, так и осредненные за зимний период) и индекса САК варьируются в пределах 0.3–0.4. Однако, как показывает рис. 5, эта связь по времени нестационарна, хотя изменения индекса САК и аномалий температуры воды всегда происходят в одной фазе. Наиболее тесная связь ($R = 0.58$) относится к периоду 1965–

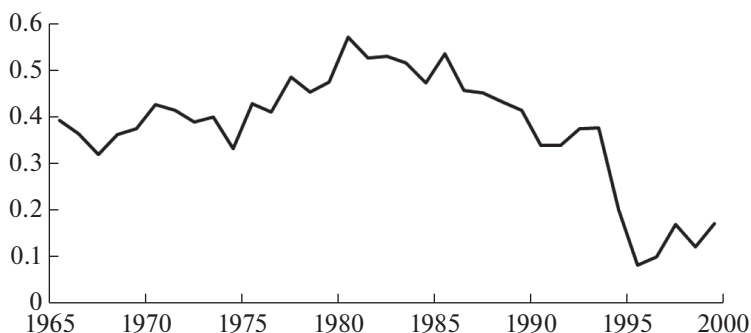


Рис. 5. 30-летняя скользящая корреляция между зимним индексом САК и осредненными за зимний период аномалиями температуры воды в слое 0–200 м в южной части Кольского разреза (Нордкапское течение). Значения коэффициентов корреляции соотнесены с центральным годом 30-летнего периода расчета.

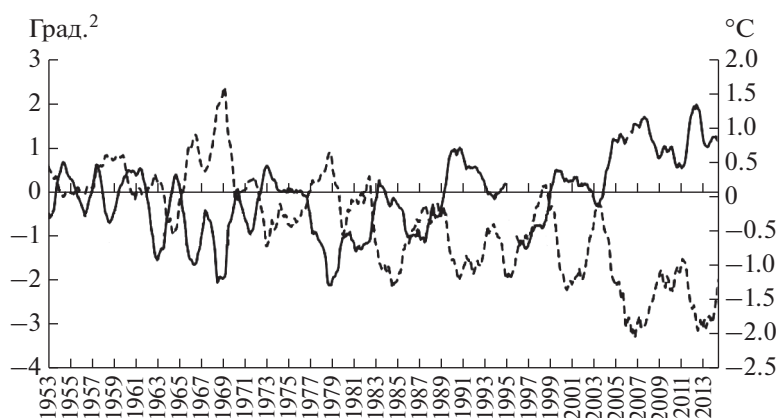


Рис. 6. Многолетний ход аномалий ледовитости Баренцева моря (пунктирная линия) и аномалий температуры воды в слое 0–200 м в Нордкапском течении (сплошная линия).

1990 гг., наиболее слабая ($R < 0.10$) – к современному климатическому периоду 1995–2009 гг. Объяснить это можно, если учитывать, что тепловые процессы в Баренцевом море управляются не только короткопериодными колебаниями притока атлантических вод, связанными с изменчивостью САК, но и с десятилетними колебаниями температуры поверхности (ТПО) Северной Атлантики, характеризуемыми индексом Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО). Как показано в [26, 30], в период 1965–1990 гг. аномалия ТПО Северной Атлантики была отрицательной (индекс АМО отрицательный). В СЛО поступали атлантические воды пониженной температуры, и приток этих вод регулировался процессами, связанными с индексом САК. В период 1995–2009 гг. стала быстро расти ТПО Северной Атлантики (индекс АМО перешел в положительную фазу и стал заметно увеличиваться). В СЛО в этот период стали поступать более теплые воды Атлантики. По-видимому, этот процесс стал преобладающим в формировании теплосодержания верхнего слоя Баренцева моря.

Режим поступления атлантических вод в бассейн СЛО оказывает влияние на границы распространения и площадь морского льда в Баренцевом море (см., например, [5]).

На рис. 6 представлен многолетний ход аномалий ледовитости¹ Баренцева моря и аномалий температуры воды в Нордкапском течении, сглаженных 13-месячным скользящим средним. Коэффициент корреляции между указанными рядами составил $R = -0.75$.

Учитывая, что в характер временной изменчивости обоих параметров значительный вклад может вносить тренд, очевидно связанный с глобальным потеплением, мы вычли тренды из рядов температуры и ледовитости, но и в этом случае корреляция сохранилась на высоком уровне $R = -0.68$. Близкие оценки связи (от -0.65 до -0.77) получены в работе [22] для границы распространения льда в Баренцевом море и темпера-

¹ Здесь и далее под ледовитостью понимается суммарная концентрация льда в Баренцевом море, которая соответствует площади льда в град.².

туры поверхности моря в регионах, наиболее подверженных влиянию атлантических вод. Таким образом, адвекция тепла с течениями, по-видимому, является основным фактором изменения ледовитости Баренцева моря.

С другой стороны, как показано в [2], вклад атмосферы в суммарную адвекцию тепла в Арктический регион может быть очень высоким (до 95%). Авторы работы [18] по данным 465-летнего численного эксперимента сделали вывод о том, что межгодовая изменчивость площади льда Баренцева моря обусловлена, главным образом, импортом или экспортом льда под воздействием локального ветра, а перенос тепла течениями играет заметно меньшую роль. В работах [21, 28] указывается на важную роль интенсивных ветров северных или южных направлений в смещении границы льда в Баренцевом море.

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 [11]. Поступление теплого воздуха с циклонами ведет к уменьшению потоков тепла из океана в атмосферу из-за уменьшения разности температуры вода – воздух. Это еще одна причина того, что атлантические воды теряют меньше тепла именно в положительную фазу САК. Принципиально важной остается и траектория движения циклонов. В положительную фазу САК траектории циклонов смещены к северу [17, 29], при этом большая часть Баренцева моря попадает в область теплового 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 уменьшаются количество и интенсивность циклонов, а их траектории проходят к югу от Баренцева моря, 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.

Непосредственно рассчитанный коэффициент корреляции аномалий ледовитости Баренцева моря, из которых был выведен тренд, и зимнего индекса САК невелик ($R = -0.31$). По-видимому, это вызвано тем, что океан еще находится под воздействием атмосферных условий предыдущего года (причем уже частично модифицированных), а состояние атмосферы соответствует усло-

виям текущего года. Наложение двух сигналов от предыдущего и настоящего САК осложняет анализ взаимосвязи океанических и атмосферных характеристик в районе Баренцева моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогноз будущих климатических изменений в Арктике невозможен без понимания физических механизмов климатических колебаний, оценки роли множества обратных связей в климатической системе полярных широт Северного полушария. Североатлантическое колебание – это 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 штормов, их количества 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 из-за адвекции тепла с циклонами и уменьшения разности температуры вода – воздух. Поступление, хотя и в меньшем объеме, теплых 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 это время увеличивается поступление атлантических вод в моря СЛО через Фареро-Шетландский пролив и возрастает ледовитость Баренцева моря.

Эти выводы сделаны по результатам анализа процессов, наблюдавшихся со второй половины 1960-х до начала 2000-х гг., когда в Северной Атлантике наблюдалась пониженная ТПО (отрицательная фаза индекса АМО) и межгодовые колебания температуры атлантических вод в Баренцевом море были связаны с изменчивостью процессов, определяемых индексом САК. С начала 2000-х гг. индекс АМО перешел в положительную фазу и стал заметно увеличиваться. По-видимому, с этого момента в Баренцево море стала поступать более теплая атлантическая вода, которая явилась главным фактором, определяющим тепловые процессы и ледовитость в этом регионе в 2000-е гг. Безусловно, эта упрощенная схема взаимодействия пограничных слоев атмосферы и океана в СЛО в зависимости от фазы индексов САК и АМО требует дальнейшего уточнения.

Благодарности. Авторы считают своим долгом выразить благодарность рецензентам за ценные замечания, учет которых позволил улучшить изложение материала статьи.

Источники финансирования. Работа выполнена по теме № 0827-2020-0001 “Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан–атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата” (Шифр “Взаимодействие океана и атмосферы”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дворянинов Г.С., Кубряков А.А., Сизов А.А. и др.* Североатлантическое колебание – доминирующий фактор изменчивости циркуляционных океанических систем Северной Атлантики // Докл. АН. 2016. Т. 466. № 3. С. 345–349. <https://doi.org/10.7868/S0869565216030208>
2. Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI вв. / Под ред. Алексеева Г.В. и др. СПб: Гидрометеоздат, 1991. 200 с.
3. *Сарафанов А.А., Соков А.В., Фалина А.С.* Потепление и осолонение Лабрадорской водной массы и глубинных вод в субполярной Северной Атлантике на 60° с.ш. в 1997–2006 гг. // Океанология. 2009. Т. 49. № 2. С. 209–221.
4. Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в Норвежской энергоактивной зоне / Под ред. Николаева Ю.В., Алексеева Г.В. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 128 с.
5. *Årthun M., Eldevik T., Smedsrud L.H. et al.* Quantifying the influence of Atlantic Heat on Barents Sea ice variability and retreat // J. Clim. 2012. V. 25. P. 4736–4743. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00466.1>
6. *Bersh M., Yashayaev I., Koltermann K.P.* Resent changes of the thermohaline circulation in the subpolar North Atlantic // Ocean Dynamics. № 57. P. 223–237. <https://doi.org/10.1007/s10236-007-0104-7>
7. *Berx B., Hansen B., Østerhus S. et al.* Is the Transport of the Atlantic Water in the Faroe Shetland Channel changing? – A summary of 20 years of observations // Ocean Sci. 2013. V. 9. P. 639–654.
8. *Blindheim J., Borovkov V., Hansen B. et al.* Upper layer cooling and freshening in the Norwegian Sea in relation to atmospheric forcing // Deep Sea Res., Part I. 2000. V. 47. Iss. 4. P. 655–680. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(99\)00070-9](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(99)00070-9)
9. *Chafik L.* The response of the circulation in the Faroe-Shetland Channel to the North Atlantic Oscillation // Tellus: Series A, Dynamic Meteorology and Oceanography. 2012. V. 64. P. 18423. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v64i0.18423>
10. *Curry R.G., Mc Cartney M.S.* Ocean Gyre Circulation Changes Associated with the North Atlantic Oscillation // J. Phys. Oceanogr. 2001. V. 31. № 12. P. 3374–3400. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(2001\)031<3374:OGCCAW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(2001)031<3374:OGCCAW>2.0.CO;2)
11. *Dickson R.R., Osborn T.J., Hurrell J.W. et al.* The Arctic Ocean response to the North Atlantic Oscillation // J. Clim. 2000. V. 13. P. 2671–2696. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2671:TAORTT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2671:TAORTT>2.0.CO;2)
12. *Furevik T.* Annual and interannual variability of Atlantic Water temperatures in the Norwegian and Barents Seas: 1980–1996 // Deep Sea Res., Part I. 2001. V. 48. № 2. P. 383–404. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(00\)00050-9](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(00)00050-9)
13. *Häkkinen S., Rhines P.B., Worthen D.L.* Warm and saline events embedded in the meridional circulation of the northern North Atlantic // J. Geophys. Res.: Oceans. 2011. V. 116(C3). C03. 006. <https://doi.org/10.1029/2010JC006275>
14. *Hansen B., Osterhus S., Turrell W.R. et al.* The inflow of Atlantic Water, heat, and salt to the Nordic Seas across the Greenland–Scotland Ridge // In: Arctic-Subarctic ocean fluxes / Eds. Dickson R.R. et al. Springer Netherlands, 2008. P. 15–43. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6774-7_2
15. *Hátún H., Sandø A.B., Drange H. et al.* Influence of the Atlantic subpolar gyre on the thermohaline circulation // Science. 2005. V. 309. P. 1841–1844. <https://doi.org/10.1126/science.1114777>
16. *Hughes S., Holliday N.P., Gaillard F., the ICES Working Group on Oceanic Hydrography.* Variability in the ICES/NAFO region between 1950 and 2009: observations from the ICES Report on Ocean Climate // ICES Journal of Mar. Sci. 2012. V. 69 (5). P. 706–719. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss044>
17. *Hurrell J.W., Deser C.* North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation // J. Mar. Syst. 2009. V. 78. P. 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2009.11.002>
18. *Koenigk T., Mikolajewicz U., Jungclaus J.H., Kroll A.* Sea ice in the Barents Sea: seasonal to interannual variability and climate feedbacks in a global coupled model // Climate Dynamics. 2009. V. 32. № 7. P. 1119–1138. <https://doi.org/10.1007/s00382-008-0450-2>
19. *Larsen K.M.H., Hátún H., Hansen B., Kristensen R.* Atlantic water in the Faroe area: Sources and Variability // ICES Journal of Mar. Sci. 2012. V. 69 (5). P. 802–808. <https://doi.org/10.1093/ICESJMS/FSS028>
20. *Marshall J., Johnson H., Goodman J.* A study of the interaction of the North Atlantic Oscillation with ocean circulation // J. Clim. 2001. V. 14. P. 1399–1421. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1399:0142.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1399:0142.0.CO;2)
21. *Mikhailova N.V., Yurovsky A.V.* Analysis of Principal Components of the Sea Ice Concentration Fields in the Barents Sea // Physical Oceanography. 2017. V. 2. P. 11–18. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2017-2-11-18>
22. *Pavlova O., Pavlov V., Gerland S.* The impact of winds and sea surface temperatures on the Barents Sea ice extent, a statistical approach // J. Mar. Syst. 2014. V. 130. P. 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.02.011>
23. *Polyakov I.V., Alekseev G.V., Timokhov L.A. et al.* Variability of the Intermediate Atlantic water of Arctic Ocean over the Last 100 Years // J. Clim. 2004. V. 17. № 23. P. 4485–4496. <https://doi.org/10.1175/JCLI-3224.1>

24. *Rosby T., Flagg C.N.* Direct measurement of volume flux in the Faroe-Shetland Channel and over the Iceland-Faroe Ridge // *Geophys. Res. Lett.* 2012. V. 39 (7). L07602.
<https://doi.org/10.1029/2012GL051269>
25. *Sarafanov A.* On the effect of the North Atlantic Oscillation on temperature and salinity of the subpolar North Atlantic intermediate and deep waters // *ICES Journal of Mar. Sci.* 2009. V. 66. P. 1448–1454.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp094>
26. *Serykh I.V.* Influence of the North Atlantic dipole on climate changes over Eurasia // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 2016. 48(1):012004 P. 1–10.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/48/1/012004>.
27. *Shervin T., Hughes, Turrell W.R. et al.* Wind-driven monthly variations in transport and the flow field in the Faroe-Shetland Channel // *Polar Res.* 2008. V. 27. P. 7–22.
<https://doi.org/10.3402/polar.v27i1.615>
28. *Sorteberg A., Kvingedal B.* Atmospheric Forcing on the Barents Sea Winter Ice Extent // *J. Clim.* 2006. V. 19. P. 4772–4787.
<https://doi.org/10.1175/JCLI3885.1>
29. *Sorteberg A., Kvamstø N.G., Byrkjedal Ø.* Wintertime Nordic Seas cyclone variability and its impact on oceanic volume transports into the Nordic Seas // In: *The Nordic Seas: An Integrated Perspective*, *Geophys. Monogr.* V. 158. Amer. Geophys. Union. 2005. P. 137–156.
30. *Yashayaev I, Seidov D.* The role of the Atlantic Water in multidecadal ocean variability in the Nordic and Barents Seas // *Progress in Oceanography.* 2015. V. 132. P. 68–127.
<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.11.009>

Two Modes of Interaction of the Atmosphere and the Ocean in the Atlantic Sector of the Arctic Basin

N. V. Mikhailova^a, T. M. Bayankina^{a, #}, A. A. Sizov^{a, ##}

^a*Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol, Russia*

[#]*e-mail: bayankina_ta@mail.ru*

^{##}*e-mail: sizov_anatoliy@mail.mail.ru*

The paper examines the influence of the main mode of interannual variability of the North Atlantic climate system – the North Atlantic Oscillation (NAO) – on the hydrophysical and hydrometeorological characteristics of the Nordic Seas. A new scheme of the ocean–atmosphere interaction in the Atlantic sector of the Arctic basin is proposed. In the positive phase of the NAO, the volume of Atlantic water inflow through the Faroe-Shetland Canal into the Norwegian Sea decreases, as well as their specific heat transfer to the atmosphere. Cyclonic activity over the marginal seas of the Euro-Asian shelf in winter in the positive phase of the NAO becomes more active. Cyclone trajectories are displaced to the north, which contributes to the advection of warm air to the water area of the Nordic Seas, and in the Barents Sea region, the frequency of southerly winds increases. The water temperature in this period in the Nordcape Current rises, and the ice extent of the Barents Sea decreases. The processes in the ocean–atmosphere–ice system of the Western Arctic in the negative phase of the NAO proceed in the opposite direction. These conclusions were obtained for a time interval characterized by negative values of the Atlantic Multi-Decade Oscillation (AMO index). During the positive phase of AMO, which began to prevail in the 2000s, the processes in the ocean–atmosphere–ice system of the Barents Sea occurred, apparently, mainly under the influence of the advection of Atlantic waters of elevated temperature.

Keywords: Arctic Ocean, North Atlantic Oscillation, Atlantic Multidecadal Oscillation, heat advection, Sea ice extent