

*И.Е. ФРОЛОВ, З.М. ГУДКОВИЧ, В.П. КАРКЛИН, Е.Г. КОВАЛЕВ,
В.М. СМОЛЯНИЦКИЙ*

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ ЕВРАЗИЙСКОГО ШЕЛЬФА

В статье выполнен анализ изменчивости температуры воздуха в Арктике и других климатических зонах Северного полушария в XX – начале XXI века. Установлено, что многолетние изменения температуры воздуха формировались линейными трендами и долговременными (климатическими) циклами продолжительностью около 10, 20 и 50–60 лет. Аналогичная цикличность выявлена в распределении атмосферного давления, она характеризуется понижением давления в эпохи потеплений в высоких широтах и указывает на усиление зональных переносов в атмосфере умеренных широт. Соответствующие изменения обнаружены также в ледовитости арктических морей, толщине, сплоченности ледяного покрова, его генеральном дрейфе, положении границ многолетних льдов, а также в характеристиках водных масс Арктического бассейна и объеме речного стока.

Выполненный анализ внутренних и внешних причин внутривековых колебаний климата позволяет утверждать, что основными причинами изменений климата Арктики и состояния ее морского ледяного покрова являются естественные факторы, которые могут во много раз превышать антропогенное воздействие на климат.

На основе выявленных трендов и циклических колебаний дана оценка возможных изменений температуры воздуха в Арктике и площади распространения ледяного покрова арктических морей в XXI веке. Согласно этой оценке, сохранится циклический характер колебаний температуры воздуха и ледяного покрова в арктических морях, а для обеспечения хозяйственной деятельности в этих морях сохранится потребность в использовании ледокольного флота.

Долговременные (климатические) изменения состояния ледяного покрова в Северном Ледовитом океане (СЛО) оказывают существенное влияние на хозяйственную деятельность государств, прилежащих к этому региону.

В последние годы в связи с происходящим потеплением климата в ряде работ отечественных и зарубежных ученых прогнозируется значительное уменьшение площади распространения морских льдов в Арктике вплоть до полного их исчезновения в летний период к концу XXI в. [15, 27, 34]. Однако исследование изменений климатической системы в арктической области, важным элементом которой является ледяной покров, в XX – начале XXI вв. не дает оснований для таких категорических выводов.

Характерной особенностью климатических колебаний температуры воздуха в Арктике в XX в. является смена периодов похолоданий и потеплений. Так, похолодание в начале века сменилось потеплением 20–40-х гг., известным в климатической литературе как «период потепления Арктики». Затем наблюдался относительно холодный период с конца 50-х до конца 70-х гг., который, в свою очередь, сменился новым потеплением в конце века, когда температура достигла максимума в конце 1990-х – начале 2000-х гг. [14]. Продолжительность данного цикла близка к 60 годам (рис. 1).

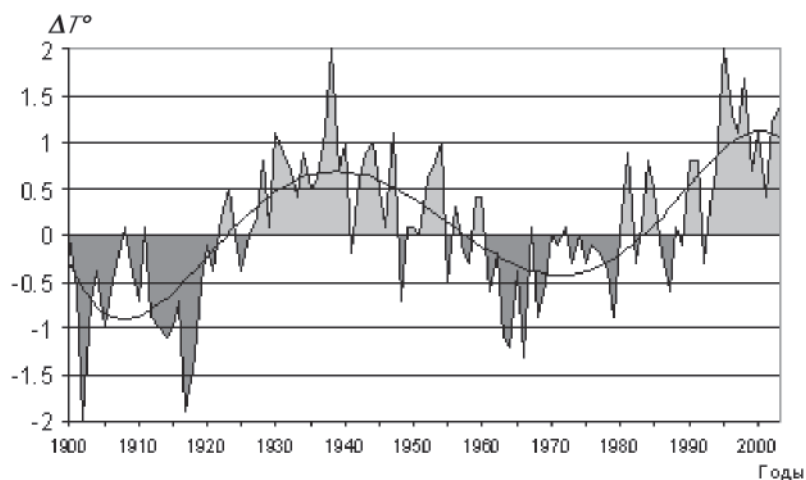


Рис. 1. Изменения аномалии среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70–85° с.ш. в XX – начале XXI века и их 60-летняя составляющая

Наличие 50–60-летнего цикла как основного климатообразующего колебания в арктической зоне в XX в. подтверждается также вейвлет-спектром аномалий среднегодовой температуры воздуха, из которых вычтен линейный тренд (рис. 2). На этом рисунке достаточно четко выражены основные черты изменчивости приземной температуры воздуха в высокоширотной зоне: чередование холодных и теплых фаз в 50–60-летнем («полувековом цикле»).

Кроме этого цикла, вклад которого в общую дисперсию составляет 39 %, в изменениях среднегодовой приповерхностной температуры воздуха в арктической зоне выявлен линейный тренд (вклад в дисперсию 14 %) и 20-летний цикл (вклад в дисперсию 5 %) [8].

Представляет большой интерес анализ сопряженности основных компонент изменения приповерхностной температуры воздуха в Арктике и на полушарии в целом. Характеризующие эту сопряженность коэффициенты корреляции достаточно велики: 0,59 (1900–2003 гг.) и 0,70 (1971–2003 гг.). В таблице 1 сопоставле-

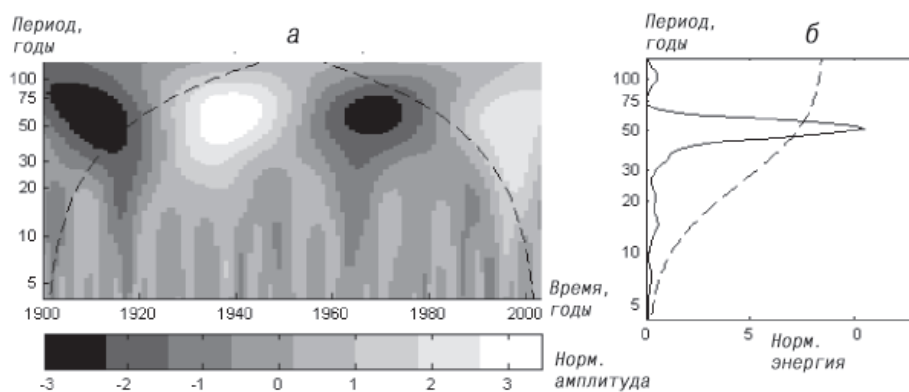


Рис. 2. Временной (а) и суммарный (б) вейвлет-спектры аномалий среднегодовой температуры воздуха в зоне 70–85° с.ш в XX в. (пунктирная линия – область 95 % статистической обеспеченности)

Таблица 1

Характеристики изменений среднегодовой температуры воздуха в широтных зонах Северного полушария в XX веке

Зона	Стандартное отклонение	Коэффициент линейного тренда (град./год)	Средняя амплитуда 60-летнего цикла	Вклад линейного тренда в дисперсию	Вклад 60-летнего цикла в дисперсию
70 – 85° с.ш.	0,78°	0,0097	0,65°	13 %	39 %
40 – 65° с.ш.	0,34°	0,0048	0,25°	17 %	27 %
17,5 – 87,5° с.ш.	0,26°	0,0069	0,17°	59 %	23 %

ны характеристики линейных трендов и 60-летних колебаний в трех широтных зонах Северного полушария в XX в.

Из этой таблицы следует, что изменчивость температуры воздуха и ее двух основных климатических компонент в арктической области заметно выше, чем в зоне умеренных широт и на большей части Северного полушария. При этом вклад линейного тренда в дисперсию среднегодовой температуры, осредненной по соответствующей области, возрастает с уменьшение широты, а вклад полувекнового цикла, наоборот, сокращается. Возможные причины таких изменений объясняются особенностями внешних воздействий, связанных с диссиметрией солнечной системы [8].

Увеличение изменчивости характеристик погоды и климата с широтой получило название «полярного усиления». В работах [1, 11] предложены модели, объясняющие это явление, хотя авторы работы [30] выражают сомнение в его существовании.

Как показал В.В.Клименко [16], изменения климата в XX в. происходили чрезвычайно неравномерно по сезонам и по поверхности земного шара. При этом пространственная неравномерность изменений температуры воздуха была связана не только с географической широтой, но еще в большей степени – с долготой региона. Построенные этим автором карты разности среднегодовой и сезонной температуры воздуха Северного полушария в наиболее теплое двадцатилетие (1986–2005 гг.) и наиболее холодное двадцатилетие (1911–1930 гг.) показали, что максимальное потепление охватило умеренные широты континентов Евразии и Северной Америки. Значения указанных разностей среднегодовой температуры в эпицентрах потепления превышают 1,5 °С, а в зимний сезон достигают 5 °С, то есть зимой произошло 10-кратное усиление среднеглобального сигнала. Это намного больше потепления в Арктическом регионе, прилежащем к Северной Атлантике.

Из данных В.В.Клименко следует, что в регионах северных частей Атлантического и Тихого океанов за тот же период потепления не происходило. На картах, приведенных в работе [22], большая часть Северной Атлантики находится в зоне понижения (на 1 °С) среднегодовой и зимней температуры воздуха в течение 1954–2003 гг. Об этом же свидетельствуют приведенные О.Г.Сорохтиным [21] данные о поверхностных температурах Саргассова моря за 3000 лет, определенных по изотопным отношениям кислорода в остатках планктонных морских организмов, погребенных в донных отложениях.

Непосредственной причиной отмеченных закономерностей, несомненно, является рассмотренное ниже усиление зональных (западно-восточных) переносов в атмосфере умеренных широт в периоды потепления климата. При этом важную роль играет не только соответствующее увеличение адвекции тепла с океанов на материк, но и адвекция влаги, сопровождающаяся повышением облачности, что приводит к росту длинноволнового противоизлучения атмосферы и температуры нижних слоев воздуха. Естественно, что верхние слои океанов при этом те-

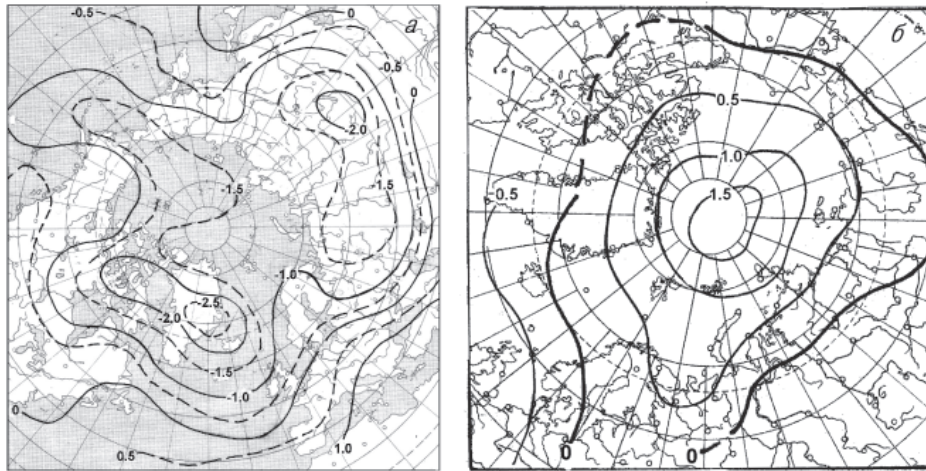


Рис. 3. Разность средних аномалий атмосферного давления: между теплой (1990–2000 гг.) и холодной (1965–1975 гг.) эпохами 60-летнего цикла (а), а также между периодами АРЦ и ЦРЦ (б)

ряют тепло. Понятно, что это явление наиболее выражено зимой, что и подтверждают данные В.В.Клименко.

Для исследования климатических изменений атмосферной циркуляции используют осреднение полей, их разложение на естественные ортогональные составляющие (ЕОС), а также различные индексы: Северо-Атлантическое колебание (САК), Арктическое колебание (АК), индекс Высокоширотной зональности (ВЗ) и другие. Основными особенностями выявленных климатических изменений барических полей являются интенсивность и меридиональные смещения зональных переносов воздуха в высоких и умеренных широтах. В них обнаружены высокочастотные (период до 10 лет) и низкочастотные (период около 20, 50–60 и более лет) колебания.

Наиболее энергоемкие низкочастотные колебания (50–60 лет) характеризуются понижением атмосферного давления в Арктике при переходе от холодных к теплым эпохам, что сопровождается усилением западно-восточных переносов воздуха в соседних зонах умеренных широт.

На рис. 3а представлены разности аномалий среднегодового атмосферного давления, осредненных за 10-летние периоды потепления и похолодания в Арктике (1990–2000 и 1965–1975 гг., соответственно). Эти 10-летия выбраны вблизи экстремумов 60-летнего цикла колебаний температуры воздуха в арктической зоне. Рисунок 3б характеризует среднюю разность атмосферного давления между годами антициклонального (АРЦ) и циклонического (ЦРЦ) циркуляционных режимов [29], продолжительность которых составляет 10–20 лет. Последние колебания захватывают, в основном, арктическую область, тогда как 60-летние распространяются на более умеренные широты.

Климатические изменения полей температуры воздуха и атмосферного давления сопряжены с изменчивостью состояния ледяного покрова арктических морей. Для изучения долговременных изменений площади ледяного покрова СЛО в регионе от восточных берегов Гренландии до Аляски использованы регулярные авиационные и спутниковые наблюдения, дополненные реконструкциями по данным судовых наблюдений в первой четверти XX в. и расчетами по физико-статистической модели [17].

В соответствии с климатическими изменениями в Арктике выделяются три периода в колебаниях ледовых условий в арктических морях. Периоды 1933–1961

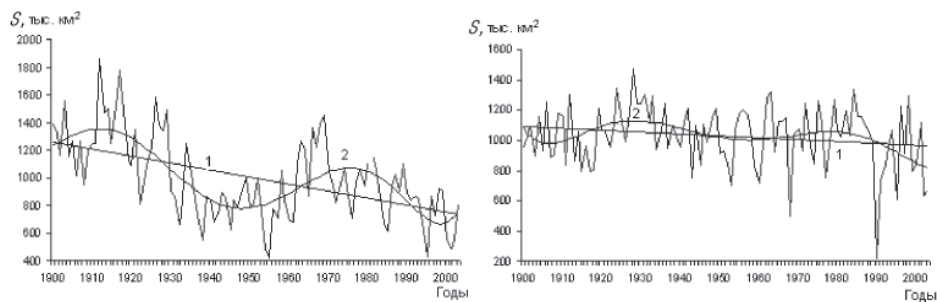


Рис. 4. Колебания суммарной площади распространения льдов в морях Гренландском, Баренцевом и Карском (а) и льдов в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском (б) в августе за период 1900–2003 гг.: 1 – линейный тренд, 2 – полиномиальный тренд

и 1984–2005 гг. («теплые годы») отличаются пониженным фоном ледовитости. Период 1962–1983 гг. («холодные годы») характеризуется повышенным фоном ледовитости.

В долговременных изменениях ледовитости арктических морей обнаруживается постепенное сокращение площади ледяного покрова от начала к концу XX в., которое может быть выражено линейным трендом (рис. 4). Наиболее значительные линейные тренды ледовитости отмечаются в приатлантическом регионе (моря Гренландское, Баренцево и Карское), где вклад таких изменений в дисперсию межгодовой изменчивости ледовитости составил 30 %. Вклад линейного тренда в дисперсию ледовитости морей, расположенных к востоку от Северной Земли, не превышает 8 % и не является значимым. Характерной особенностью линейного тренда ледовитости морей западного региона в летний период является замедление скорости уменьшения ледовитости от первой половины XX в. ко второй его половине, в течение которой величина тренда не является значимой.

На фоне линейных трендов в изменениях площади льдов отмечаются колебания, имеющие полициклический характер. Спектры колебаний характеризуются более или менее значимыми пиками на периодах 50–60 лет, около 20, 8–12, 5–7 и 2–3 лет [24]. В западном регионе преобладают низкие частоты (50–60 и около 20 лет), в восточном – высокие частоты (от 2–3 до 8–12 лет). Климатические колебания формируются долговременными циклами продолжительностью 10 лет и более, а также линейными трендами, которые, возможно, являются частью сверхвековых колебаний [32].

В таблице 2 приведены данные о вкладе разных частот в общую дисперсию межгодовых изменений ледовитости в рассмотренных регионах. Как видно из таблицы 2, вклад наиболее энергоемкого 50–60-летнего («полувекового») цикла в суммарную дисперсию изменений ледовитости максимален в западном регионе в

Таблица 2

Вклад основных частот в дисперсию изменчивости суммарных площадей распространения льда в августе в западных (Гренландском, Баренцевом и Карском) и восточных (Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском) морях, %

Регионы	Месяц	Линейный тренд	Частота, 1/год (циклы, годы)				
			0,01–0,03 (50–60)	0,04–0,06 (20)	0,08–0,11 (9–12)	0,12–0,15 (7–8)	> 0,17 (2–5,5)
Западный	IV	43	5	4	4	–	–
Западный	VIII	24	17,5	13	6,5	7	32
Восточный	VIII	3	7	5	12,5	13,5	59

летний период, где он составляет 17,5 %. Роль 20-летних колебаний в изменчивости ледовитости уменьшается с запада на восток. В западном регионе вклад этого цикла в дисперсию ледовитости составляет в среднем 13 %, в восточном регионе — всего 5 %.

Оценивая данные о роли отдельных составляющих долгопериодных изменений ледовитости, необходимо иметь в виду, что их роль в климатических изменениях существенно выше. Если при определении дисперсий исключить не имеющие отношения к изменениям климата высокочастотные колебания, то мы получим другие оценки. Так, при скользящем 5-летнем сглаживании исходного ряда августовской ледовитости западного региона суммарный вклад «полувековых» и 20-летних циклов в долговременную изменчивость ледовитости региона возрастает почти до 50 %. При этом суммарный вклад этих циклов и линейного тренда составляет свыше 88 %.

Достоверность долговременных циклов как в изменениях ледовитости арктических морей, так и других характеристиках климата подтверждается статистическими оценками их значимости, включая результаты применения вейвлет-анализа. Для примера на рис. 5 приведены результаты вейвлет-анализа изменений августовской ледовитости Карского моря в XX в., на котором (как и в температуре воздуха) отчетливо проявляется основной 50–60-летний цикл.

Наряду с общей площадью ледяного покрова (ледовитостью) климатические изменения испытывают и другие его характеристики: толщина, сплоченность, положение границ многолетних льдов, схема генерального дрейфа льдов в Арктическом бассейне и прочие.

Данные наблюдений за толщиной льда в припае на российских полярных станциях указывают на небольшое (около 15 см) повышение толщины льда в Карском море в конце зимы в период похолодания (1960–1980 гг.) и соответствующие понижения — в предшествующий и последующий периоды потеплений. В восточном регионе эта закономерность выражена слабее [24].

Среди дрейфующих льдов заметно утоньшение недеформированного ледяного покрова (около 20 %) в периоды потепления за счет повышения температуры воздуха, роста высоты снежного покрова, увеличения температуры и уменьшения глубины залегания атлантических вод [5], а также разрежения льдов при усилении циклоничности [28].

Наиболее значительные изменения толщины дрейфующих льдов (до 40 %), обнаруженные с подводных лодок [33], вызываются не термодинамическими процессами, а сравнительно кратковременными колебаниями полей дрейфа льдов и положения границ остаточных льдов. В результате в районы, где обычно располагаются многолетний ледяной покров, попадают одно- и двухлетние льды, и наоборот [7]. В течение последующих двух-трех лет обычно восстанавливается прежнее данному району распределение толщины льда.

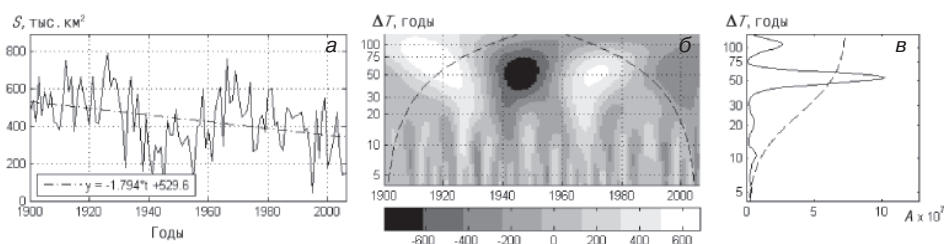


Рис. 5. Изменения ледовитости Карского моря в XX в. (а), временной (б) и суммарный (в) вейвлет-спектры этих изменений (пунктирная линия — область 95 % статистической обеспеченности)

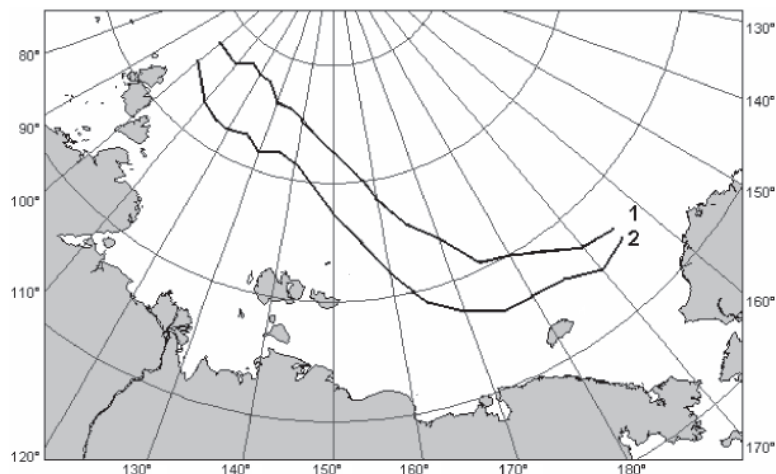


Рис. 6. Среднее положение границы старых льдов в восточных арктических морях за периоды 1960–1979 гг. (1) и 1980–2000 гг. (2)

В работе [9] на основе данных наблюдений за дрейфом льда в Арктическом бассейне за полугодовые периоды показано, что в эпохи потепления климата заметно изменяется система генерального дрейфа льдов. При этом в поле скорости дрейфа усиливается циклоническая компонента, а скорость выноса льдов в Гренландское море уменьшается. В этой же работе выявлено, что в многолетних изменениях выноса льдов из Арктического бассейна, как и в изменениях ледовитости арктических морей, присутствует полувековой цикл, причем колебания выноса льдов опережают колебания ледовитости в среднем на пять лет.

Изменения схемы генерального дрейфа льда сопровождаются смещением границы многолетних льдов в сторону окраинных морей Евразийского шельфа в эпохи потепления климата. На этот процесс оказывают влияние как ослабление выноса льдов из Арктического бассейна в Гренландское море в такие эпохи, так и некоторое разрежение многолетних льдов Арктического бассейна, обусловленное преобладанием циклонических полей атмосферного давления. За последние 40 лет это смещение составило в среднем около 300 км (рис. 6). Аналогичное смещение выявлено в западном секторе Российской Арктики [2].

Климатические изменения, происходившие в XX в., затронули и водные массы СЛО. Переход от холодной эпохи к потеплению, произошедший во второй половине века, сопровождался осолонением поверхностных вод на значительной части Арктического бассейна, что было связано с усилением циклонической деятельности в этом регионе и соответствующей дивергенцией течений в слое Экмана. При этом на периферии циркуляции происходило распреснение вод. Отмечается сопряженность процессов в Арктическом и Северо-Европейском бассейнах [26].

Обнаружены заметные низкочастотные (период около 60 лет) изменения температуры атлантических вод в СЛО [31]: температура повышается в эпохи потепления и понижается в эпохи похолодания, что может сказываться на толщине дрейфующих льдов. Хорошо выражена когерентность этих колебаний с соответствующими изменениями циркуляции атмосферы, средней температуры воздуха, площади ледяного покрова, объема речного стока в моря Евразийского шельфа.

Климатические изменения состояния ледяного покрова СЛО, включая циклические колебания, вызываются процессами в атмосфере и океане, на которые оказывают воздействие как внешние, так и внутренние факторы.

К наиболее важным внешним факторам относятся изменения коротковолнового электромагнитного излучения Солнца, поступающего на поверхность Земли, а также колебания солнечной активности (СА), связанные с процессами внутри Солнца и сопровождающиеся изменениями ультрафиолетовых, корпускулярных потоков и магнитного поля Солнца.

К внутренним факторам, с одной стороны, относятся естественные процессы гидрометеорологической, геологической и биологической природы, а также автоколебательные явления, связанные с взаимодействием в системе океан – морская лед – атмосфера. С другой стороны, к внутренним факторам, возможно, следует отнести «антропогенные» воздействия, обусловленные повышением концентрации в атмосфере парниковых газов в связи со сжиганием углеводородного топлива, вырубкой лесов и другими процессами.

Сторонники решающей роли антропогенных факторов в современных изменениях климата основывают свою концепцию на результатах расчетов по совместным моделям общей циркуляции океана, атмосферы и ледяного покрова [15, 22, 27, 34]. Эти модели не позволяют адекватно отразить основные закономерности изменений площади арктических льдов, их толщины, уровня моря, распространения многолетних льдов, географические особенности климатических изменений показателей климата и прочее. Ряд известных отечественных и зарубежных ученых отвергают представление о решающей роли парниковых газов в изменениях климата [10, 20, 18, 21, 23 и др.].

Несмотря на отсутствие общепризнанных механизмов, объясняющих влияние изменений СА на климат Земли, многочисленные факты указывают на заметную роль СА в формировании 10–20-летних циклов («Арктическое колебание»), а возможно, и сверхвековых циклов в изменениях атмосферной циркуляции и связанной с ней площади распространения льда в арктических морях [3, 12, 13].

Другим внешним по отношению к нашей планете фактором, оказывающим существенное влияние на климат Земли, является изменение солнечной постоянной, характеризующей внеатмосферную интенсивность солнечной радиации при действительном расстоянии Земли от Солнца. В работе [8, 19] показано, что под влиянием наиболее крупных планет Солнечной системы (Юпитер, Сатурн) изменяется расстояние между центром массы системы и центром Солнца. В результате изменяется расстояние между Землей и Солнцем, следовательно, и величина внеатмосферной интенсивности солнечной радиации. Период этих изменений составляет около 60 лет, а размах изменений радиации – свыше 30 Вт/м². Размах аномалий поглощенного атмосферой и поверхностью Земли тепла за счет диссиметрии солнечной системы в 60-летнем ритме составляет около 6 Вт/м², что примерно вдвое больше имеющихся оценок воздействия парниковых газов при удвоении их концентрации в XXI в. Рассмотренный механизм служит основной причиной наиболее энергоемкого 60-летнего цикла изменений климата, проявляющихся в колебаниях разных гидрометеорологических явлений.

Важным внутренним фактором, оказывающим влияние на климатические изменения состояния ледяного покрова и других упомянутых явлений, являются автоколебания в системе океан – ледяной покров – атмосфера. Рассмотренный в работе [6] механизм автоколебаний с периодом примерно 20 лет, действующий в Норвежской энергоактивной зоне океана, является генератором соответствующих изменений в Арктике, а возможно, и в прилежащих к ней других обширных регионах.

Выявленные закономерности в изменениях температуры воздуха и ледовитости в XX в. позволили разработать фоновые прогнозы на XXI в. Согласно этим прогнозам, ожидается продолжение заметного влияния естественных циклических изменений, в процессе которых будут отмечаться периоды как уменьшения, так и увеличения температуры воздуха и ледовитости окраинных морей СЛО.

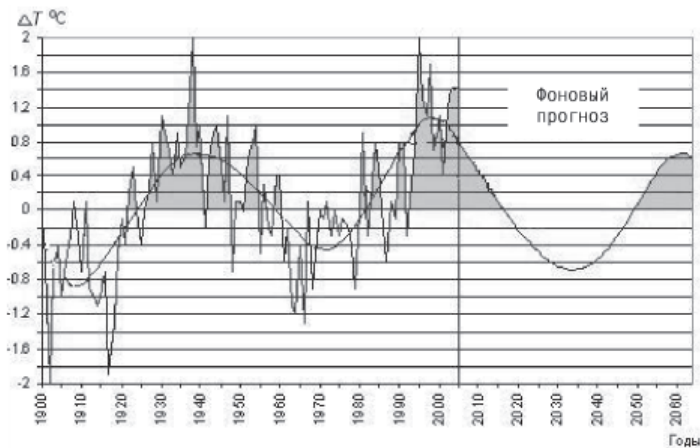


Рис. 7. Изменения аномалий среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70–85° с.ш. и их фоновый прогноз на период до 2060 г. Серым цветом обозначены периоды положительных аномалий температуры

Устойчивый характер проявления 60-летнего цикла может быть реальной основой для долговременного прогноза климатических изменений в Арктике. Для прогноза температуры воздуха в высокоширотной зоне 70–85° с.ш. использована средняя за XX в. амплитуда 60-летнего цикла, равная 0,6° (рис. 5).

Как можно видеть на рисунке 7, последний период потепления, начавшийся устойчиво с середины 1980-х гг. и продолжающийся в настоящее время, полностью не завершился. Его пик в арктической зоне пришелся на середину 1990-х гг., и, с большой степенью вероятности, теплый период завершится около 2015–2020 гг. Таким образом, в ближайшие 10–15 лет гидрометеорологические и ледовые условия в Арктике будут происходить на фоне повышенной температуры воздуха с постепенным ее понижением к середине 30-х гг. XXI в.

В основу прогноза возможных изменений ледовитости арктических регионов в XXI в. заложены те три составляющие, которые вносят основной вклад в долговременную изменчивость площади льдов. Это – 50–60-летний («полувековой») цикл, линейный тренд во второй половине века и 20-летний цикл [25].

На рис. 8 представлен сценарий тенденций в климатических изменениях площади распространения льда в западных и в восточных морях Евразийского шельфа в августе в течение XXI в. при условии сохранения в XXI в. линейного тренда, характерного для второй половины XX в. Из анализа графиков на рис. 6 следует, что

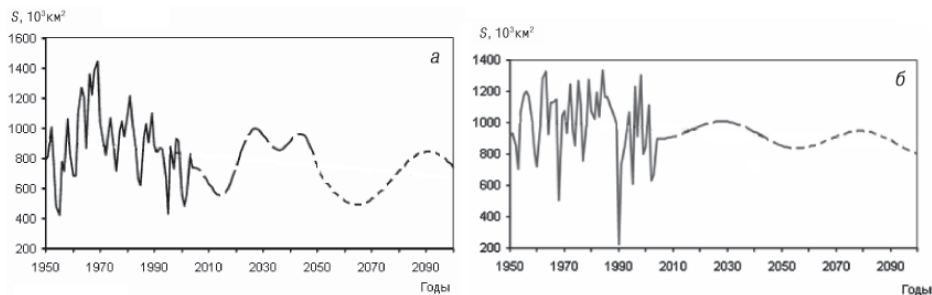


Рис. 8. Прогноз климатической составляющей суммарной площади распространения льда в западных (а) и восточных (б) арктических морях Евразийского шельфа на XXI век

в XXI в. ожидается сохранение колебательного (а не однонаправленного) фона изменений площади льдов в арктических морях. В период 20–40-е гг. XXI в. ожидается увеличение площади льдов с максимум около 2030 г. в восточных морях и около 2035 г. в западных морях. Второй максимум приходится приблизительно на 2090–2095 гг. Размах колебаний в западном регионе достигает $0,5 \cdot 10^6$ км². В восточном регионе будут по-прежнему преобладать межгодовые колебания.

Сторонники антропогенного влияния на климатические колебания приписывают исключительно парниковому эффекту происходящее последние 25–30 лет потепление, хотя очевидно, что оно является в основном очередной фазой в ходе 60-летнего цикла колебания температуры. Следовательно, для валидации климатических моделей их авторы используют данные, характеризующие, в основном, естественные изменения за короткий период, величина которых в несколько раз превышает влияние парниковых газов. В результате этого полученные с помощью моделей прогнозы указывают на значительное уменьшение площади льда к середине и к концу XXI в. [27, 34]. Так, согласно [34] в летний период 2081–2090 гг. в Арктическом бассейне останется небольшое пятно льда сплоченностью 1–5 баллов. Такие прогнозы дезориентируют субъектов хозяйственной деятельности в Арктике.

В соответствии с представленным выше прогнозом, в XXI в. необходимость ледокольного обеспечения судоходства и работ на шельфе в Арктике сохранится, учитывая, что даже в «теплые» эпохи в отдельные годы возникают препятствия для сквозного безледокольного плавания по Северному морскому пути [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г.В., Священников П.Н. Естественная изменчивость характеристик климата северной полярной области и Северного полушария. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 160 с.
2. Асмус В.В., Кровотынцев В.А., Милехин О.Е., Тренина И.С. Исследование многолетней динамики морского льда в Арктике по спутниковым радиолокационным данным // Вопросы обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли. Труды НИЦ «Планета». СПб.: Гидрометеиздат, 2005. № 1 (46). С. 155–172.
3. Башкирцев В.С., Машич Г.П. Переменность Солнца и климат Земли // Солнечно-земная физика. Вып. 6 (2004). С. 135–137.
4. Бузуев А.Я. Анализ многолетних данных о продолжительности безледокольного плавания для характеристики климатических изменений в условиях плавания по Северному морскому пути в летний период // Доклады научно-практического совещания «Гидрометеорологическое обеспечение хозяйственной деятельности в Арктике и замерзающих морях». Санкт-Петербург 27–29 марта 2002 г. СПб.: ААНИИ, 2002. С. 258–267.
5. Визе В.Ю. Результаты метеорологических наблюдений // Труды дрейфующей экспедиции Главсевморпути на ледокольном пароходе «Г.Седов» 1937–1940 гг. 1951. Т. 2. С. 7–393.
6. Гудкович З.М., Ковалев Е.Г. О некоторых механизмах циклических изменений климата в Арктике и Антарктике // Океанология. 2002. Т. 42. № 6. С. 1–7.
7. Гудкович З.М., Ковалев Е.Г. Колебания ледовитости российских арктических морей в XX в. и оценка ее возможных изменений в XXI в. // Доклады научно-практического совещания «Гидрометеорологическое обеспечение хозяйственной деятельности в Арктике и замерзающих морях». Санкт-Петербург 27–29 марта 2002 г. СПб.: ААНИИ, 2002. С. 36–45.
8. Гудкович З.М., Карклин В.П., Фролов И.Е. Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины // Метеорология и гидрология. 2005. № 6. С. 5–14.
9. Гудкович З.М., Гузенко Р.Б., Карклин В.П., Клячкин С.В. О климатической изменчивости генерального дрейфа льда в Арктическом бассейне // Материалы гляциологических исследований, 2007. Т. 102 (в печати).

10. Добровольский С.Г. Климатические изменения в системе «гидросфера–атмосфера». М.: ГЕОС, 2002. 232 с.
11. Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеоздат, 1996. 213 с.
12. Карклин В.П. Изменения поля атмосферного давления в высоких и умеренных широтах северного полушария в 11-летних циклах солнечной активности // Проблемы Арктики и Антарктики. 1978. Вып. 54. С. 62–68.
13. Карклин В.П., Ковалев Е.Г. Влияние солнечной активности на формирование крупных аномалий ледовитости арктических морей // Тр. ААНИИ. 1994. Т. 432. С. 28–35.
14. Карклин В.П., Юлин А.В., Карелин И.Д., Иванов В.В. Климатические колебания ледовитости арктических морей сибирского шельфа // Тр. ААНИИ. 2001. Т. 443. С. 5–11.
15. Катцов В.М. Сценарии изменений климата Арктики в XXI веке // Метеорология и гидрология. 2003. № 10. С. 5–19.
16. Клименко В.В. Климатическая сенсация. Что нас ожидает в ближайшем и отдаленном будущем? Публичные лекции «Полит.ру». Интернет-ресурс: www.polit.ru/lectures/2007/02/15/klimenko.html.
17. Ковалев Е.Г., Юлин А.В. Автоматизированная прогностическая система для научно-оперативного обеспечения навигации в Арктике // Тр. ААНИИ. 1998. Т. 438. С. 73–82.
18. Кондратьев К.Я. Изменения глобального климата: нерешенные проблемы // Метеорология и гидрология. 2004. № 6. С. 118–127.
19. Монин А.С. Влияние планет на климат Земли // Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим). М.: Научный мир, 2000. С. 122–128.
20. Монин А.С., Шишков Ю.А. Дилеммы потепления в XX в. // Человек и стихия. 1992. С. 47–50.
21. Сорохтин О.Г. Парниковый эффект: миф и реальность // Вестник РАЕН. 2001. Т. 1. № 1. С. 8–21.
22. Хассел С.Дж. Воздействие потепления в Арктике. Кембридж: Изд-во Кембриджского университета, 2004. 140 с.
23. Divine D.V., Dick C. Historical variability of sea ice edge position in the Nordic Seas // J. Geophys. Res. 2006. Vol. 111, C01001. P. 1–14.
24. Frolov I.Ye., Gudkovich Z.M., Karklin V.P. Long-Term variability of Sea Ice in the Eurasian Arctic // Remote Sensing of Sea Ice in the Northern Sea Route. Sec. 7.1. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 2007. P. 398–409.
25. Frolov I.Ye., Gudkovich Z.M., Karklin V.P. 21-st Century Sea Ice Scenarios: Statistical Modeling. // Remote Sensing of Sea Ice in the Northern Sea Route. Sec. 7.1. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 2007. P. 418–420.
26. Gudkovich Z.M., Proshutinsky A.Y., Timokhov L.A., Koltyshev A.E., Garmanov A.L. Climatic Changes of the Upper Layer Salinity of Arctic Ocean // World climate research programme (WCRP), Arctic Climate System Study (ACSYS). Final Science Conference, St. Petersburg, Russia, 11–14 November 2003. WCRP-118 (CD), WMO/TD № 1232. P. 1–3.
27. Johannessen O.M., Bengtsson L., Miles M.W., Kuzmina S.I., Semenov V.A., Alekseev G.V., Nagurnyi A.P., Zakharov V.F., Bobylev L.P., Pettersson L.H., Hasselmann K., Cattle H.P. Arctic climate change – observed and modeled temperature and sea ice variability // Tellus. 2004. Vol. 56A. P. 1–18.
28. Makshtas A.P., Andreas E.L., Shutilin S.V. Possible dynamic and thermal causes for the recent decrease in sea ice in the Arctic Basin // Sixth Conference on Polar Meteorology and Oceanography, San Diego, USA, 14–18 May 2001. P. 17–20.
29. Polyakov I.V., Proshutinsky A.Y., Johnson M.A. Seasonal cycles in two regimes of Arctic climate // J. Geophys. Res. 1999. Vol. 104. № C11. P. 25761–25788.
30. Polyakov I.V., Alekseev G.V., Bekryaev R.V., Bhatt U., Colony R.L., Johnson M.A., Karklin V.P., Makshtas A.P., Walsh D., Yulin A.V. Observationally based assessment of polar amplification of global warming // Geophysical Research Letters. 2002. Vol. 29. № 18, 1878. P. 1–4.
31. Polyakov I.V., Alekseev G.V., Timokhov L.A., Bhatt U.S., Colony R.L., Simmons H.L., Walsh D., Walsh J.E. and Zakharov V.F. Variability of the Intermediate Atlantic Water of the Arctic Ocean over the last 100 Years // Journal of Climate. 2004. Vol. 17. № 23. P. 4485–4497.

32. Raspopov O.M., Dergachev V.A., Kolstrom T. Hale. Cyclicity of Polar Activity and its relation to climate variability // Solar Physics. 2004. Vol. 224. P. 455–463.
33. Rothrock D.A., Yu Y., Maykut G.A. Thinning of the Arctic Sea-Ice Cover // Geophysical Research Letters. 1999. Vol. 26. № 23. P. 3469–3472.
34. Vinnikov K.Y., Robock A., Stouffer R.J., Walsh J.E., Parkinson C.L., Cavalieri D.J., Mitchell F.B., Garrett D., Zacharov V.F. Global Warming and Northern Hemisphere Sea Ice Extent // Science. 1999. Vol. 286. P. 1934–1937.
35. Wadhams P. Sea ice thickness changes and their relation to climate // The polar oceans and their role in shaping the Global environment. American Geophysical Union, Washington, 1994. P. 337–361.

I.E.FROLOV, Z.M.GUDKOVICH, V.P.KARKLIN, YE.G.KOVALEV, V.M.SMOLYANITSKY

CLIMATIC CHANGES OF ICE CONDITIONS IN THE ARCTIC SEAS OF THE EUROASIAN SHELF

Paper presents analysis of the air temperature variability in the Arctic region and other climatic zones of the Northern hemisphere during the 20th – beginning of 21st centuries. It is shown that perennial changes in air temperature were formed by linear trends as well as long-term (climatic) oscillations with periods about 10, 20 and 50–60 years. Similar cyclicity was revealed in the patterns of air pressure which is characterized by decrease of air pressure during the epochs of warming in high latitudes and points out to increase of zonal transfer in the atmosphere of mid-latitudes. Corresponding variations in the Arctic ice cover extent, thickness, total concentration, general drift patterns and position of old ice boundaries as well as properties of the Arctic Basin water masses and volume of Arctic river discharge were also found out.

Analysis carried out by the authors allows to state that the basic causes of the Arctic climate change have the natural origin and potential magnitude of several orders more than that for the level of anthropogenic impact on the climate.

Estimates of possible changes of Arctic air temperature and ice cover propagation area for the 21st century is given on a basis of the revealed stable cyclic oscillations. According to that estimate the cyclic form of variations in air temperature and ice cover extent will be preserved and necessity to maintain the icebreaker fleet to support human activities within the Arctic seas will remain correspondingly.