

ИЗМЕНЕНИЯ МОРСКОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА И ДРУГИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В АРКТИКЕ И АНТАРКТИКЕ В СВЯЗИ С ЭВОЛЮЦИЕЙ ПОЛЯРНЫХ ВИХРЕЙ

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

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

Закономерности климатических колебаний морского ледяного покрова в Арктике и Антарктике, как и других компонент климатической системы Земли, объясняются изменениями полярных вихрей, с которыми связаны зональные потоки в атмосфере умеренных и высоких широт. В теплые климатические эпохи разных масштабов полярные вихри углубляются, зональные потоки усиливаются, в холодные эпохи отмечаются противоположные изменения. При усилении зональных потоков зимой наибольшее повышение температуры воздуха отмечается в районах, где на средних картах располагаются антициклоны. В районах, подверженных влиянию барических депрессий, отмечается ослабление потепления и даже понижение температуры. Такие изменения имеют аналогичный характер в Северном и Южном полушариях, однако они противоположны по знаку: при усилении зональных воздушных потоков в Северном полушарии они ослабевают в Южном и наоборот. Оппозиция климатических аномалий проявляется в температуре воздуха, и в ледовитости регионов. Возможной причиной отмеченных изменений состояния полярных вихрей являются колебания солнечной активности, воздействие которой «фокусируется» в атмосфере высоких широт. Межполушарная оппозиция климатических изменений находит объяснение в явлении «диссимметрии Солнца». Мнение ряда климатологов о решающей роли накопления парниковых газов в потеплении климата опровергается неадекватностью климатических моделей, которые не отражают важные реальные закономерности колебаний циркуляции атмосферы.

Морской ледяной покров Арктики и Антарктики – важная компонента глобальной климатической системы. В состоянии ледяного покрова арктических морей (его площади, толщины, сплоченности и других характеристик) выявлены относительно длительные однонаправленные изменения (линейные тренды), на фоне которых отмечаются циклические колебания разных временных масштабов. В работе [25] подробно проанализированы внутривековые (в течение XX века) изменения ледовитости арктических морей, расположенных между Гренландией и Аляской, в августе. В долгопериодных (климатических) колебаниях выделяются циклы продолжительностью около 10, 20 и 60 лет.

Тренды, как и относительно долгопериодные климатические циклические изменения ледовитости, лучше выражены в морях атлантического сектора (Гренландском, Баренцевом и Карском). Характерной особенностью отрицательного линейного тренда в этих морях является замедление (в 4,5 раза!) изменений ледовитости от первой половины XX века ко второй его половине, в течение которой оценка тренда недостоверна. В морях атлантического сектора особо выделяется цикл продолжительностью 50–60 лет, вклад которого в изменчивость ледовитости составляет около 20 % (суммарный вклад климатических циклов и линейного тренда здесь достигает 60 %). Влияние этого цикла в основном определяет чередование эпох потепления Арктики в 1920–1940-е и 1980–2000-е гг., разделенных эпохой

похолодания в 1960–1970-е гг. В тихоокеанском секторе преобладают более короткие циклы (до 10 лет), вклад которых в изменчивость превышает 70 %. Межсекторные различия обусловлены факторами, определяющими явление «ледовой оппозиции». Причина его заключается в том, что аномалии общей циркуляции атмосферы часто по-разному воздействуют на ледяной покров западных и восточных арктических морей [9].

Иначе выглядят климатические изменения ледяного покрова в Антарктике. Согласно данным, приведенным в отчете МГЭИК [17], в течение 1946–1975 гг. здесь отмечалось потепление, а в 1976–2000 гг., наоборот, похолодание. Следовательно, в Антарктике, как и в Арктике, в изменениях климата обнаруживается цикл близкий к 60-ти годам, однако его фазы противоположны: потепление в Северном полушарии практически совпало с похолоданием в Южном и наоборот. Это обстоятельство иллюстрирует рис. 1, на котором приведены изменения суммарной ледовитости арктических морей в августе и антарктических морей зимой (август–октябрь) за период 1979–2007 гг. В течение этого периода имеются наиболее достоверные непрерывные данные по ледовым условиям антарктических морей на основе информации SSMR-SSM/I, распространяемой Национальным Центром данных по снегу и льду США [28]. Показанные на рис. 1 линейные тренды (отрицательный для ледовитости арктических морей и положительный – для антарктических)

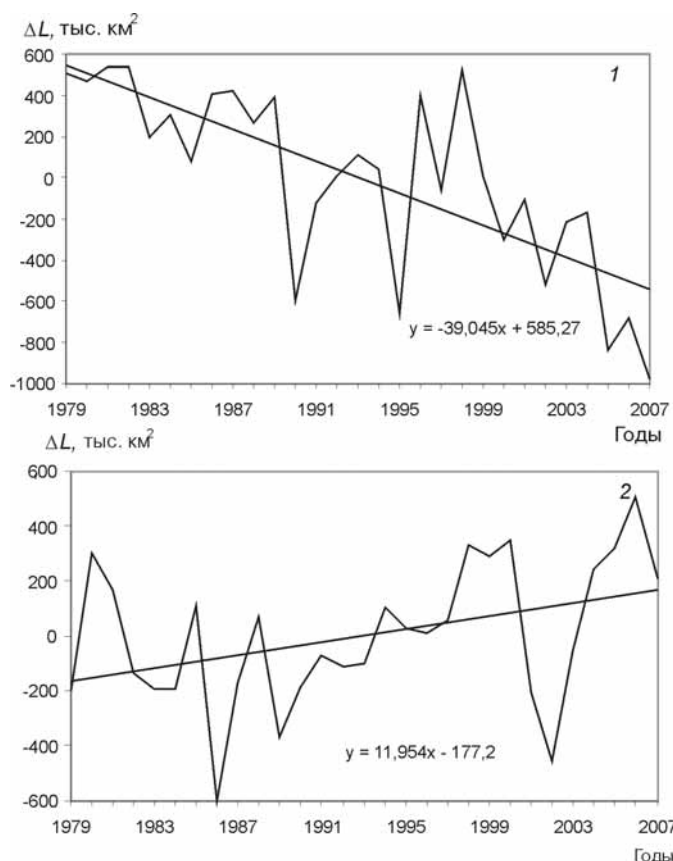


Рис. 1. Изменения суммарной ледовитости арктических морей (1) в августе и антарктических морей (2) зимой (август–октябрь) за период 1979–2007 гг.

свидетельствуют об оппозиции климатических изменений полярных регионов в течение теплой (для Арктики) фазы 60-летнего цикла. Оценка достоверности выявленных линейных трендов показала, что при 95 % уровне значимости отрицательный тренд ледовитости арктических морей достоверен, тогда как для антарктических морей положительный тренд достоверен при уровне значимости 90 %.

Анализ изменения сплоченности ледяного покрова в антарктических водах показывает, что с 1979 по 2007 г. сплоченность льда возросла в основном к северу от берегов Восточной Антарктиды (от моря Уэдделла до моря Росса), тогда как в морях Амундсена и Беллинсгаузена (к западу от Антарктического полуострова) она уменьшилась.

Активным элементом климатической системы Земли является атмосфера, с общей циркуляцией которой (ОЦА) в основном связано пространственное перераспределение тепловой энергии, поступающей от Солнца. ОЦА также определяет аномалии многих климатообразующих процессов в ледяном покрове (нарастание и таяние, динамика), в океане (адвекция тепла и солей с морскими течениями, вертикальная циркуляция и конвекция), а также процессы влагооборота, включая речной сток, формирование облачности и распространение аэрозоля.

Важным показателем состояния атмосферы является поверхностная температура воздуха (ПТВ). В Северном полушарии изменения ПТВ сопряжены с соответствующими изменениями ледовитости морей Евразийского шельфа и других гидрометеорологических характеристик: толщины и сплоченности льда, систем его генерального дрейфа, солёности верхнего слоя вод и температуры глубинных атлантических вод в Арктическом бассейне, объема речного стока в арктические моря и т.д. [25]. В климатических изменениях ПТВ обнаруживаются те же циклы, что и в ходе показателей других упомянутых элементов. В долговременных изменениях ПТВ Северного полушария выявлен цикл продолжительностью около 200 лет, с которым, возможно, частично связан характерный для XX века климатический тренд.

Параметры основных составляющих изменений температуры воздуха в нижнем слое тропосферы в Северном полушарии изменяются с географической широтой. В работе [26] приведены коэффициенты линейного тренда и амплитуды 60-летних изменений среднегодовой ПТВ в двух широтных областях и на полушарии в целом в течение XX века. Из этих данных следует, что изменчивость ПТВ и двух основных климатических ее 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 уменьшением широты, а вклад полувеккового цикла, наоборот, сокращается.

Климатические изменения ПТВ в Антарктиде соответствуют рассмотренным выше изменениям ледовитости антарктических морей. В работе [12] на основе анализа данных о температуре воздуха в этом регионе за 1961–2000 гг. сделан вывод о том, что в течение последнего десятилетия XX века на большинстве антарктических станций отмечался отрицательный тренд ПТВ. На самом деле такой тренд здесь был заметен на протяжении последних 20 лет прошедшего века, и лишь на станциях, расположенных на Антарктическом полуострове и в Западной Антарктиде, тренд имел положительный знак (рис. 2). Незначительный положительный тренд характеризует изменение среднегодовой ПТВ на антарктическом континенте за весь ряд регулярных наблюдений (с 1961 г.). Следует отметить, что в первые годы XXI века наметился возврат к постепенному росту температуры воздуха, однако достоверность трендов ПТВ здесь невелика.

Важно осознать, что ПТВ в умеренных и высоких широтах зависит в первую очередь от динамических процессов в атмосфере [2, 8, 24]. Именно эти процессы

определяют адвекцию тепла и влаги, а также характер вертикальной циркуляции, с которой связана облачность. Поэтому все упомянутые изменения находят объяснение в соответствующих вариациях полей атмосферного давления, неотъемлемой особенностью которых является *состояние полярных (циркумполярных) вихрей* [14]. Как известно, с полярными вихрями связано циклоническое вращение воздуха тропосферы и нижней стратосферы вокруг полюсов с запада на восток. В нижних слоях тропосферы над Арктическим бассейном зимой циклоническая завихренность меняет знак: здесь формируется Арктический антициклон. Летом циклоническое поле обычно сохраняется и у поверхности [4, 15]. Примерно такая же картина ОЦА наблюдается в Антарктике, хотя другое распределение суши и моря, а также наличие мощного антарктического ледника вносят определенные коррективы [5].

Интенсивность циркумполярных вихрей изменяется в течение года. В зимнее полугодие обоих полушарий циркуляция атмосферы усиливается, в летнее — ослабевает, что определяется сезонными изменениями градиента температуры воздуха между низкими и высокими широтами.

Совсем иначе проявляется связь между состоянием полярных вихрей и температурой воздуха в климатической изменчивости. В эпохи *потепления* атмосферное давление и значения геопотенциала в пределах тропосферы и нижней стратосферы в области полярных вихрей *понижаются*. Это приводит к усилению зональных потоков в атмосфере умеренных широт, что выражается величиной известных индексов общей циркуляции атмосферы, таких как индексы Североатлантического колебания, Арктического колебания, Высокоширотной зональности и других — в Северном полушарии, индекс Южнополярного колебания — в Антарктике. В эпохи похолодания зональные потоки ослабевают.

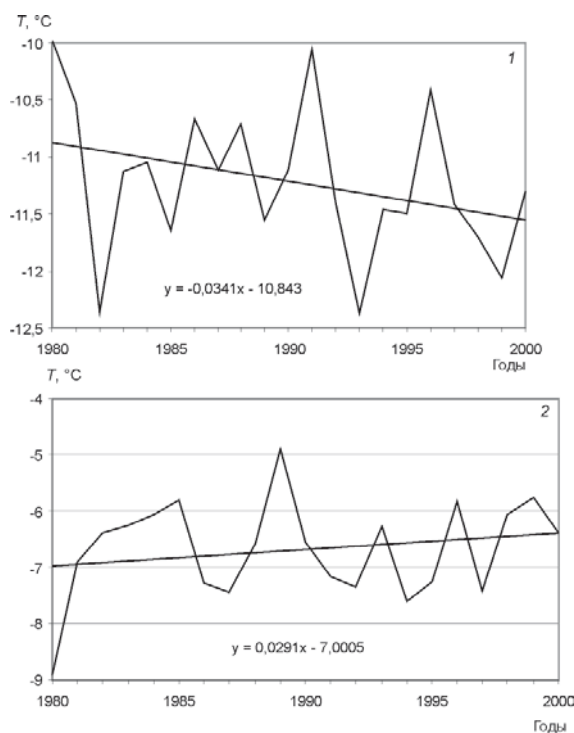


Рис. 2. Изменения среднегодовой температуры воздуха в восточной (1) и западной (2) Антарктиде за период 1980–2000 гг.

Как показано в работе [25], чем крупнее масштаб климатических колебаний, тем на более низкие широты распространяется его влияние. Важно отметить, что с интенсификацией северного полярного вихря ослабевает Арктический антициклон, с ослаблением вихря Арктический антициклон усиливается [14]. Роль Арктического антициклона в климатических изменениях, включая ледовитость арктических морей, впервые была выявлена В.Ю.Визе [7]. От степени развития Арктического антициклона зависит положение траекторий циклонов, распространяющихся на восток из Северной Атлантики. В соответствии с законами гидродинамики, циклоны, переносимые зональным потоком, в Северном полушарии отклоняются к северу, а в Южном — к югу, что играет роль положительной обратной связи в рассматриваемой закономерности ОЦА.

Именно изменениями интенсивности зональных потоков в Северном полушарии объясняется положение максимумов климатических вариаций температуры воздуха на континентах Евразии и Северной Америки, противоположные знаки соответствующих аномалий над океанами и континентами [2, 18, 24, 30]. В работе В.В.Клименко [18] приведены карты разностей среднегодовых и сезонных температур Северного полушария между наиболее теплым двадцатилетием (1986–2005 гг.) и наиболее холодным двадцатилетием XX века (1911–1930 гг.). Из карт видно, что максимальное потепление охватило умеренные широты Евразии и Северной Америки. Наибольшее значение указанных разностей зимой достигало 5 °С, что в 10 раз превышает среднеглобальный сигнал. Это опровергает распространенное среди климатологов мнение о «полярном усилении» в изменчивости характеристик погоды и климата с широтой [1, 16]. Сомнение в справедливости такого мнения ранее было высказано в работе [29].

Карты В.В.Клименко [18] отражают совместный эффект векового тренда ПТВ и циклических ее колебаний (согласно [25], в начале XX века отмечался минимум 60-летнего цикла температуры воздуха, а в конце века — максимум). Чтобы выявить величину и характер проявления этой волны, на рис. 3 приведена карта разностей средних ПТВ зимой в умеренных и высоких широтах Северного полушария за годы 1980–2000 и 1960–1979, соответствующие эпохам потепления и похолодания, обусловленным 60-летним циклом, поскольку трендовая составляющая потепления за указанные годы была статистически незначима.

Из рис. 3 следует, что потепление относительно предшествовавшей холодной эпохи было наиболее заметным на континентах Евразии и Северной Америки, где оно местами превысило 3 °С. Характерно, что потепление охватило те районы, где на климатических картах зимой располагаются *антициклоны*: Сибирский, Канадский, Арктический и Гренландский. Наоборот, в регионах, подверженных влиянию барических депрессий (Исландской и Алеутской), отмечалось ослабление потепления и даже понижение температуры. Несомненно, что такая закономерность связана с увеличением облачности при уменьшении антициклональной завихренности поля скоростей в атмосфере, воздействии этого процесса на температуру подстилающей поверхности и прилегающих к ней слоев воздуха. Летом из-за сезонности большинства упомянутых барических образований рассмотренная закономерность выражена гораздо слабее.

Несомненно, что понижение температуры воздуха при усилении циркуляции атмосферы в морях, окружающих Гренландию, объясняется и тем, что углубление Исландской депрессии вызывает адвекцию холода в ее тылу и тепла — в ее передней части. Это сопровождается выносом льдов и распресненных вод в море Баффина, Северную Атлантику и атлантических вод — в Арктику [3]. Отрицательные значения тренда ПТВ в районе Баренцева моря объясняют на первый взгляд парадоксальную зависимость от времени года линейных трендов ледовитости этого региона во второй половине XX века. Зимой (с октября по февраль) тренд оказался положительным при наличии отрицательного тренда летом (с марта по сентябрь)

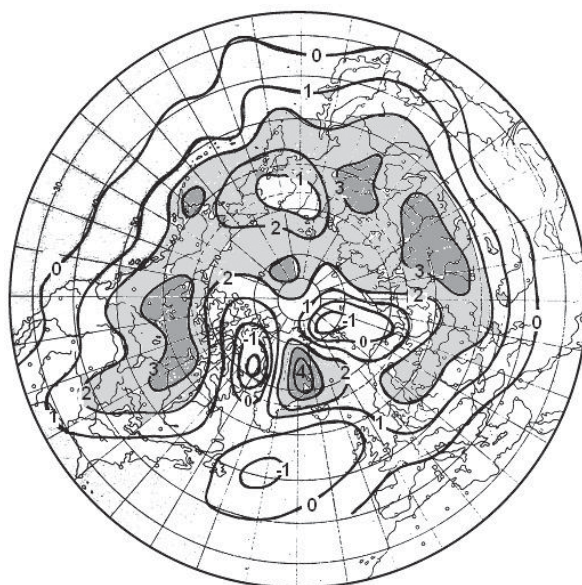


Рис. 3. Распределение разностей зимней температуры воздуха (январь–март) между периодами 1980–2000 и 1960–1979 гг.

[25, 27]. Осреднение аномалий ПТВ по разнородным участкам пояса умеренных широт занижает среднюю величину аномалий в этом поясе.

Важно отметить, что связь между изменениями климата и состоянием полярных вихрей (а следовательно, и с интенсивностью зональных потоков) имеет одинаковый характер в Арктике и Антарктике. Углубление вихрей сопровождается потеплением, а заполнение — похолоданием на большей площади обоих регионов. Однако эти изменения в Арктике и Антарктике противоположны по знаку: при усилении зональных потоков в Арктике происходит их ослабление в Антарктике и наоборот. На это обстоятельство впервые обратили внимание авторы работы [23], сопоставляя изменения индексов Северо-Атлантического колебания ($NAO_{об}$) и Южно-полярного колебания (SPO). Коэффициенты корреляции между ними имеют значимые отрицательные величины. Эту закономерность подтвердили авторы работы [14], выявившие оппозицию в многолетних изменениях повторяемости числа элементарных синоптических процессов в Северном и Южном полушариях Земли, а также довольно тесную связь между индексом SPO и годовой повторяемостью Арктического антициклона [13].

Таким образом, связь рассмотренных выше климатических изменений ПТВ в Антарктике с ОЦА имеет те же черты, что и в Арктике. Зимой на побережье и внутриматериковых станциях Восточной Антарктиды, где велико влияние континентального антициклона, на фоне ослабления зонального воздушного потока в течение двух последних десятилетий XX века температура воздуха постепенно снижалась (рис. 2). Наоборот, на берегах Западной Антарктиды, которая окружена стационарными депрессиями, распространяющимися далеко на юг в районе морей Росса и Уэдделла, температура воздуха в это время повышалась. Следовательно, изменения температуры воздуха соответствовали характеру барических полей и трендам ледовитости в этом регионе.

В чем же причина рассмотренных изменений состояния циркумполярных вихрей? Как известно, процессы в атмосфере Земли зависят как от внешних, так и

от внутренних факторов. Среди внешних факторов наибольшее внимание привлекает солнечная активность (СА), включающая комплекс физических явлений на Солнце, приводящих к вариациям интенсивности корпускулярного, ультрафиолетового излучения и магнитных полей в межпланетном пространстве. В активности Солнца выявлены те же периоды, что и в климатических колебаниях: циклы Швабе (около 11 лет), Хейла (22 года) и Фритца (60 лет), а также цикл продолжительностью примерно 200 лет, который может объяснить внутривековые тренды, присутствующие в изменениях многих составляющих климатической системы [6]. Иллюстрацией значения этого цикла может служить связь средних десятилетних значений ледовитости морей сибирского шельфа в августе с осредненными за такие же интервалы аномалиями чисел Вольфа 200 лет назад (рис. 4).

В монографии [25] дан обзор исследований связей СА с изменениями различных составляющих климатической системы Земли. Возражения, касающиеся достоверности таких связей, основаны на малой изменчивости потока солнечной энергии, обусловленной СА. Так, по данным спутниковых измерений, проводимых с 1978 г., изменение потока солнечной радиации от минимума до максимума 11-летнего цикла составляет всего 2 Вт/м^2 (0,15 % от средней внеатмосферной величины солнечной постоянной). Однако, как показано в работе [19], солнечный ветер при взаимодействии его с магнитными полями и галактическими космическими лучами создает электрическое поле, приводящее к нагреванию верхних слоев атмосферы (на уровне 20–30 км). Повышение температуры в периоды усиления солнечного ветра, как показывают данные ракетного зондирования, может достигать нескольких градусов. Нагревание бывает заметно вплоть до высоты поверхности 850 ГПа, хотя в нижних слоях тропосферы оно выражено гораздо слабее, чем в средней стратосфере.

По нашему мнению, из-за неравномерности нагревания (оно концентрируется в областях полярных вихрей) в верхних слоях атмосферы возникают горизонтальные градиенты давления, вызывающие перераспределение масс воздуха. Это изменяет атмосферное давление у поверхности Земли, в результате чего в процесс подключается мощный источник внутренней энергии атмосферы. Данный механизм, объясняя влияние полярных вихрей на изменения климата, не выявляет причины отмеченной выше оппозиции колебаний ОЦА в Арктике и Антарктике, хотя авторы упомянутой работы [19] считают возможной причиной различие в состоянии подстилающей поверхности, от которого зависит электропроводность разных звеньев глобальной электрической цепи.

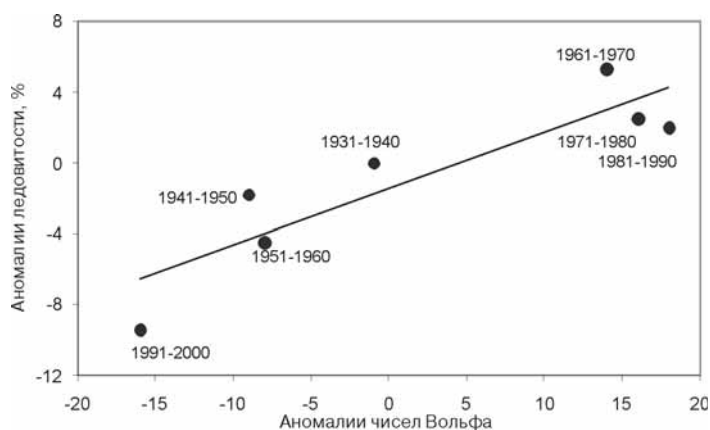


Рис. 4. Связь средних за 10-летия аномалий суммарной ледовитости арктических морей со средними за 10-летия аномалиями чисел Вольфа 200 лет назад

К внешним факторам относятся и явления, связанные с «диссимметрией Солнца». Этим термином называется вектор, связывающий центры масс Солнечной системы и Солнца. Под влиянием планет (главным образом, Юпитера и Сатурна) этот вектор изменяется во времени. При этом Солнце вращается вокруг центра масс по орбите, период движения по которой составляет около 60 лет [21]. В работе [11] приведены результаты расчета изменения солнечной постоянной, зависящей от расстояния между Землей и Солнцем, изменяющимся в связи с «диссимметрией Солнца». Они показали существенные колебания в поступлении солнечной энергии с периодичностью около 60 лет, причем вблизи перигелия и афелия знаки аномалий оказались противоположны, тогда как в среднем за год эти аномалии близки к нулю.

Последнее обстоятельство приводит к тому, что влияние этого фактора наиболее заметно в умеренных и высоких широтах, где обостряется влияние аномалий воздушных переносов на температуру воздуха и ледяной покров в определенных сезоны. Из вышеизложенного следует, что именно внутригодовая изменчивость интенсивности зональных потоков умеренных широт при сезонном характере континентальных антициклонов обостряет климатическую изменчивость ПТВ. Поскольку зима в Арктике и Антарктике приходится на противоположные участки орбиты Земли (соответственно, перигелий и афелий), знак аномалий в этих регионах должен быть противоположным. Отсутствие в области зональных потоков Антарктики стационарных антициклонов ослабляет здесь влияние этого фактора.

В работе [11] приведены графики расчетного изменения внеатмосферной величины солнечной постоянной в 60-летнем цикле в июле и январе. Графики не привязаны к конкретным годам и лишь иллюстрируют наличие указанного цикла. Учет фактических углов положения Юпитера и Сатурна, моментов их соединения и противостояния (в эклиптической системе координат), а также положения оси апсид позволило привязать эти графики к реальному времени. Как оказалось, наибольшие отрицательные аномалии солнечной постоянной в январе (перигелий) должны были отмечаться в 1900 и 1960 гг. Известно, что вблизи этих лет климат Арктики характеризовался холодными эпохами.

Конечно, примененный способ вычисления «диссимметрии Солнца» и соответствующих изменений солнечной постоянной [11] недостаточно строг, так как основан на статических расчетах, не учитывающих изменений во времени ускорений силы тяжести, связанных с изменениями расстояния до центра масс и центростремительными ускорениями. Однако строгая задача движения даже трех тел чрезвычайно сложна [22]. Поэтому основное значение здесь имеют качественные результаты – противоположный знак аномалий приходящей солнечной радиации в 60-летнем цикле в январе и июле, которым соответствует середина зимы в Северном и Южном полушариях Земли. К сожалению, еще не разработано теории, способной убедительно описать зависимость ОЦА от климатических аномалий приходящей энергии Солнца, как и от всего теплового баланса атмосферы.

Другим фактором, создающим предпосылки для формирования оппозиции климатических изменений в двух регионах, является сезонный характер воздействия атмосферы на морской ледяной покров. Как показано в работе [9], в морях, где толщина льда в конце периода его нарастания сравнительно невелика, аномалии ПТВ и воздушных переносов зимой заметно сказываются на последующих ледовых условиях. Атмосферные воздействия весной и в начале лета оказывают существенное влияние на состояние ледяного покрова во всех морях, так как от них зависит величина такой важной для ледового баланса характеристики, как альбедо. В конце лета и осенью ПТВ в значительной степени зависит от ледовитости моря. С уменьшением широты роль сезонного фактора ослабевает, что находит подтверждение в приведенных выше результатах анализа материалов наблюдений.

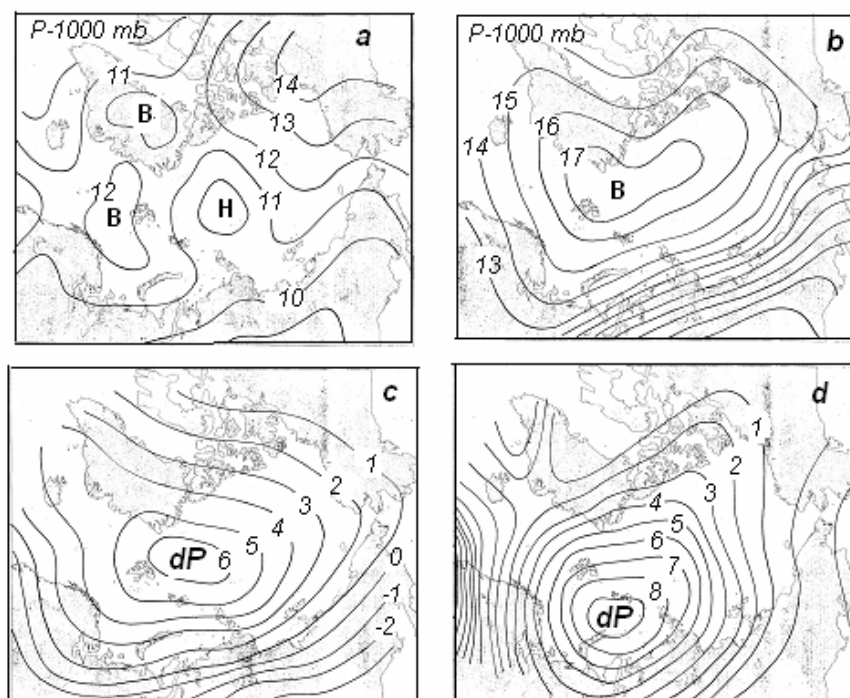


Рис. 5. Сопоставление среднего атмосферного давления на уровне моря в июле ($P-1000$ ГПа) за годы 1990–2000 (*a*) с результатами осредненных расчетов по моделям (HAD, CNRN, ENAM, GFDL, INM) за тот же период (*b*) и разности между ними в июле (*c*) и январе (*d*)

Помимо тепловых факторов, к внешним относятся и рассматриваемые в разных работах факторы, связанные с влиянием долгопериодных приливов в атмосфере и океане, а также с «полюсным приливом», вызванным нутацией полюсов Земли [20]. Достоверная оценка роли девятнадцатилетнего лунного деклинационного прилива затруднена из-за близости его периода и некоторых других космических факторов к автоколебательным циклам в системе океан–морской лед–атмосфера [10].

Внутренними факторами, оказывающими влияние на изменения климатической системы, с одной стороны, являются естественные процессы гидрометеорологической, геологической и биологической природы, а также автоколебания, связанные с взаимодействием в системе океан–ледяной покров–атмосфера. С другой стороны, определенную роль, по-видимому, играют и антропогенные факторы, связанные с выделением в атмосферу парниковых газов, образованием некоторых видов аэрозолей и формированием озонового слоя.

Использование совместных моделей атмосферы и океана сторонниками концепции о решающей роли накопления парниковых газов в изменениях климата не обнаружило отмеченных выше закономерностей в эволюции полярного вихря. На рис. 5 приведены среднее распределение атмосферного давления на уровне моря в июле за 1990–2000 гг., снятое с карт, построенных в ААНИИ по данным метеорологических станций и дрейфующих буев, и карты распределения давления за тот же период, осредненные по пяти моделям (HAD, CNRN, ENAM, GFDL, INM), любезно предоставленные нам А.П.Макшасом и С.В.Шутилиным. На этом же рисунке приведены средние величины погрешностей расчетов в июле и январе.

Как видно из рис. 5, расчеты по моделям весьма существенно завышают значение атмосферного давления над Арктическим бассейном в годы потепления климата, что противоречит выявленной В.Ю.Визе фундаментальной зависимости температуры воздуха и ледовитости арктических морей от степени развития Арктического антициклона. Это не соответствует и тому факту, что, как показано выше, аномалии ПТВ зависят в первую очередь от динамических процессов в атмосфере. Неадекватный учет последних в совместных моделях приводит к ошибкам в расчетной температуре воздуха, что не может не привести к существенным погрешностям модельных расчетов состояния ледяного покрова и других характеристик климата, а также их прогнозов на XXI век.

В монографии [25] перечислен ряд других обстоятельств, свидетельствующих о неадекватности используемых моделей для описания изменений климата. Вышеизложенное свидетельствует о том, что антропогенные факторы играют в процессах изменения климата высоких и умеренных широт Земли второстепенную роль.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев Г.В., Священников П.Н.* Естественная изменчивость характеристик климата северной полярной области и Северного полушария. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 160 с.
2. *Алексеев Г.В.* Современные изменения климата в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. 2000. Вып. 72. С. 42–71.
3. *Алексеев Г.В., Булатов Л.В., Захаров В.Ф., Иванов В.В.* Тепловая экспансия атлантических вод в Арктическом бассейне // Метеорология и гидрология. 1998. № 7. С. 69–78.
4. Атлас Арктики. М.: Изд.-во ГУ ГиК СМ СССР, 1985.
5. Атлас Антарктики. М.: Изд.-во ГУ ГиК МГ СССР, 1966.
6. *Баширицев В.С., Машнич Г.П.* Переменность Солнца и климат Земли // Солнечно-земная физика. 2004. Вып. 6. С. 135–137.
7. *Визе В.Ю.* Основы долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей // Тр. АНИИ. 1944. Т. 184. С. 125–151.
8. *Воробьев В.Н., Смирнов Н.П.* Арктический антициклон и динамика климата северной полярной области. СПб.: Изд.-во РГГМУ, 2003. 82 с.
9. *Гудкович З.М., Кириллов А.А., Ковалев Е.Г., Сметанникова А.В., Спичкин В.А.* Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 348 с.
10. *Гудкович З.М., Ковалев Е.Г.* О некоторых механизмах циклических изменений климата в Арктике и Антарктике // Океанология. 2002. Т. 42. № 6. С. 1–7.
11. *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.
12. *Данилов А.И., Клепиков А.В., Радионов В.Ф.* Мониторинг современных климатических изменений в Антарктике // Проблемы Арктики и Антарктики. 2000. Вып. 72. С. 174–196.
13. *Дмитриев А.А.* Изменчивость атмосферных процессов в Арктике и ее учет в долгосрочных прогнозах. Л.: Гидрометеоздат, 1994. 207 с.
14. *Дмитриев А.А., Белязо В.А.* Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. СПб.: Гидрометеоздат, 2006. 358 с.
15. *Долгин И.М.* Климат свободной атмосферы Советской Арктики. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 398 с.
16. *Захаров В.Ф.* Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеоздат, 1996. 213 с.
17. Изменение климата, 2001: Научные аспекты – Вклад рабочей группы I в Третий доклад об оценках МГЭИК. 2001, 101 с.
18. *Клименко В.В.* Климатическая сенсация. Что нас ожидает в ближайшем и отдаленном будущем? «Публичные лекции «Полит.ру» // www.polit.ru/lectures/2007/02/15/klimenko.html. 21 р.

19. Макарова Л.Н., Широков А.В., Нагурный А.П., Зубов В.А., Розанов Е.В., Егорова Т. Экспериментальное и модельное обоснование влияния энергии солнечного ветра на околоземное пространство // Тр. ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 227–240.
20. Максимов И.В. Геофизические силы и воды океана. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1970. 448 с.
21. Монин А.С. Влияние планет на климат Земли // Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим). М.: Научный мир, 2000. С. 122–128.
22. Рябов Ю.А. Движения небесных тел. М.: Наука, 1988. 240 с.
23. Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Розанова И.В. Циклонические центры действия атмосферы Южного полушария и изменения климата. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2004. 218 с.
24. Формирование и динамика современного климата Арктики. СПб.: Гидрометеоздат, 2004. 266 с.
25. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М. Научные исследования в Арктике. Т. 2. Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа. СПб.: Наука, 2007. 136 с.
26. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М. Климатические изменения ледовых условий в арктических морях Евразийского шельфа // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 75. С. 149–160.
27. Vuzin I.V. Estimations of some components of ice conditions in northeastern Barents sea // International Journal of Offshore and Polar Engineering. 2006. Vol. 16. № 4. P. 274–282.
28. Fetterer F., Knowles K., Meier W., Savoie M. 2002, updated 2007. *Sea ice index*. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. Digital media
29. Polakov I.V., Alekseev G.V., Bekryaev R.V., Bhatt U., Colony R.L., Johnson M.A., Karklin V.P., Makhtas A.P., Walsh D., Yulin A.V. Observationally based assessment of polar amplification of global warming // Geophys. Res. Lett. 2002. Vol. 29. № 18. P. 1878. P. 1–4.
30. Wallace J.M., Yuan Zhang, Renwick J.A. Dynamic contribution to hemispheric mean temperature trends // Scitnce. 1995. Vol. 270. P. 780–783.

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

CHANGES OF SEA ICE COVER AND OTHER CLIMATIC SYSTEM COMPONENTS IN THE ARCTIC AND THE ANTARCTIC RELATED TO EVOLUTION OF POLAR EDDIES

Special features of the Arctic and Antarctic sea ice cover climatic fluctuations, as well as other components of the Earth climatic system, are explained by changes in polar whirlwinds with which zonal streams in atmosphere of the moderate and high latitudes are connected. During the warm climatic epochs of different scales deepening of the polar whirlwinds and amplification of zone streams are observed with opposite changes during the cold epochs. At strengthening of zonal air streams during the winter period the greatest rise in air temperature is observed for areas where anticyclones are positioned at average. In the areas subject to the influence of baric depressions, diminishing of warming effect and even decrease in temperature are observed. Such changes have similar character both in northern and southern hemispheres, however they are opposite on a sign: at strengthening of zonal air streams in northern hemisphere they weaken in southern and on the contrary. The opposition of climatic anomalies is shown both in air temperature and in ice extent. The possible reasons of noted changes in the state of polar whirlwinds are fluctuations of solar activity which influence «is focused» in an atmosphere of high latitudes. Interhemispheric opposition of climatic changes may be explained by the phenomenon of “Sun dissymmetry”. The opinion of some climatologists on the main role of greenhouse gases accumulation in climate warming is denied by inadequacy of climatic models which do not reflect the important natural special features of atmosphere circulation.