

О ХАРАКТЕРЕ И ПРИЧИНАХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМЛИ

*д-р геогр. наук З.М.ГУДКОВИЧ, канд. геогр. наук В.П.КАРКЛИН,
канд. геогр. наук В.М.СМОЛЯНИЦКИЙ, д-р геогр. наук И.Е.ФРОЛОВ*

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, e-mail: aaricoop@aari.nw.ru

Рассмотрены характерные особенности изменений климата Арктики и некоторых других регионов Земли с масштабами от десятилетий до столетий. Данные наблюдений позволили выявить полициклический характер климатических изменений, произошедших с конца XIX до начала XXI вв. В Арктике наибольшую амплитуду имели 60-летние циклы, с которыми связано чередование теплых и холодных эпох. Аналогичные циклы обнаружены и в других регионах планеты. Амплитуды этих колебаний, их вклад в общую изменчивость климата уменьшаются с широтой и различны в разных регионах. Такие колебания происходят на фоне более продолжительных изменений, которые обычно выражаются линейными трендами. Есть основание видеть в них проявление цикла продолжительностью около 200 лет. Его влияние создает межэпохальные различия в характере климатических изменений. Непосредственной их причиной является смещение пояса зонального переноса в атмосфере Северного полушария из высоких в умеренные широты. Это согласуется с климатическими вариациями состояния северного полярного вихря. Возможной их причиной являются изменения полной энергии, поступающей к Земле от Солнца, включая энергию солнечной активности. На основе выполненной учеными реконструкции изменений этой энергии, а также фактических и восстановленных данных о температуре воздуха в Арктике и в Северном полушарии показано, что климатические изменения рассмотренных масштабов вызываются естественными причинами.

Ключевые слова: изменения климата, полициклический характер, полярные вихри, пояс зональных переносов в атмосфере, солнечная активность, поток общей энергии Солнца, естественные причины.

Климат, как статистический ансамбль состояний, проходимых климатической системой за достаточно длительные промежутки времени [18], не постоянен в пространстве и времени. Изменения климата в пространстве зависят от географической широты, распределения материков и океанов, а также связанными с этими факторами средними анемобарическими полями, системами морских течений, составляющими теплового баланса поверхности и проч. Изменения во времени характеризуются циклическими колебаниями разных масштабов. В отличие от гармонических колебаний, амплитуда и период таких квазиколебаний не остаются постоянными (в определенных пределах) от одного цикла к другому. В настоящее время циклические колебания масштабов от десятилетий до столетий (в голоцене) и десятков тысячелетий (в позднем плейстоцене) выявлены в ряде показателей климата Земли [7, 13, 14, 18, 19 и др.].

Результаты исследования [19, 20] показали, что изменения среднегодовой поверхностной температуры воздуха (ПТВ) в Арктике и ледовитости арктических морей в XX в. характеризовались наличием циклических колебаний (средняя продолжительность циклов около 60, 20, 10 и менее лет), которые происходили на фоне квазилинейного тренда потепления. Вклад наиболее энергоемкого 60-летнего цикла в изменения климатической системы заметнее всего проявился в Арк-

тике, однако его присутствие обнаружено и в других регионах, включая Антарктику. С ним связана отмеченная многими учеными происходившая в XX в. смена эпох потепления и похолодания.

Наличие указанных циклов во внутривековых изменениях площади ледяного покрова и других характеристиках климатической системы Земли подтверждено исследованиями многих российских [2, 3] и зарубежных [26, 27, 29 и др.] ученых.

В работах Г.В.Алексеева и его сотрудников выявлены различия в проявлении эпох потепления и похолодания, отмеченных на протяжении XX в., а также их связь с атмосферной циркуляцией. Работы [27, 29] посвящены исследованиям изменений режима Северного Ледовитого океана в связи с арктическим колебанием (АК), включающим циклы продолжительностью 10–20 лет. В статье [26] приведены результаты исследований климатических изменений температуры воздуха и воды в разных регионах Тихого океана, Северной Америки и области Индийского океана, примыкающей с юга к азиатскому матерiku. Автор приходит к выводу, что во всех упомянутых регионах характерной особенностью климатических изменений является присутствие циклических колебаний продолжительностью 50–70 лет. Характерно, что фазы колебаний в большинстве регионов практически совпадают с аналогичными циклами, выявленными в Арктике. К теплым эпохам в этих регионах отнесены периоды 1870–1889, 1925–1947 и 1977–1990 гг., к холодным – 1890–1924, 1948–1976 гг. Лишь в западной части Тихого океана (Япония) фаза колебаний противоположна, что обусловлено влиянием тыловой части Алеутской барической депрессии, атмосферное давление в которой изменяется согласованно с чередованием теплых и холодных эпох. Депрессия углубляется в теплые эпохи и частично заполняется – в холодные. Как будет показано ниже, сходные особенности имеют изменения климата в северной части Атлантического океана.

Судя по результатам анализа изотопного состава атмосферных осадков в ледяном керне за последние 200 лет на станции Восток в Антарктиде [23], колебания климата со средним периодом 50–60 лет хорошо выражены и в высоких широтах Южного полушария. Однако такие колебания в Антарктике и Арктике существенно различаются. Согласно данным, приведенным в отчете МГЭИК [14], 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 «полувековой» цикл, однако его фазы противоположны: потепление в Северном полушарии практически совпало с похолоданием в Южном и наоборот. Эту закономерность подтверждают изменения температуры воздуха и ледовитости антарктических вод за последние 20–30 лет [9].

В книге [18], помимо анализа крупномасштабных климатических циклов, с которыми связано чередование ледниковых и межледниковых эпох в истории Земли, большое внимание уделено изучению 60-летнего и 180-летнего циклов. Последний цикл, выявленный также в работах [6, 37], может отвечать за присутствие внутривековых трендов в изменениях климата.

В упомянутой работе [19] показано, что интенсивность потепления западного региона Арктики (моря Гренландское, Баренцево и Карское), описываемая параметрами линейного тренда, существенно уменьшилась от начала к концу XX в. К такому же выводу ранее пришел Т.Винье [35], который установил, что скорость понижения ледовитости приатлантических морей в апреле уменьшилась с $8 \cdot 10^3$ км²/год в 1880 г. до $3 \cdot 10^3$ км²/год в 1980 г. В восточном регионе (моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское) тренд ледовитости был гораздо меньше, а структура циклических колебаний их ледовитости заметно отличалась: если в морях западного региона доля 60-летних и 20-летних циклов в общей дисперсии ледовитости составляла свыше 30 %, то в морях восточного региона – только 12 %. Основной вклад в дисперсию его ледовитости вносят циклы средней продолжительностью от 10 лет и ниже [19].

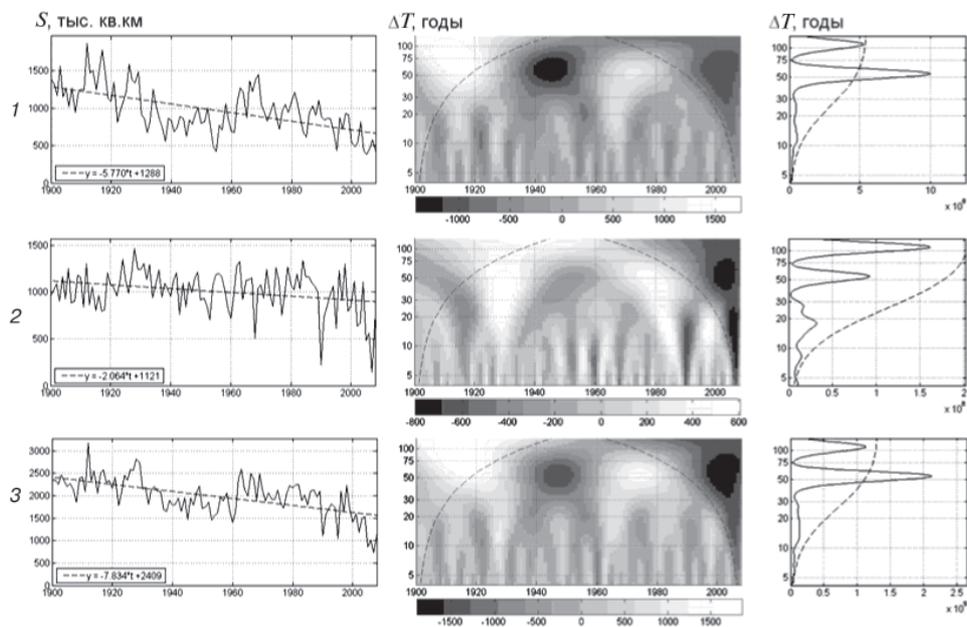


Рис. 1. Изменчивость ледовитости (слева), вейвлет-спектр (в центре) и суммарная спектральная плотность ледовитости (справа) для западных (Гренландское, Баренцево, Карское) – 1, восточных (Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) – 2 и в целом для морей Евразийской Арктики (Гренландское–Чукотское) – 3 за период 1900–2008 гг.; на вставках приведены соответствующие уравнения линейного тренда; штриховыми линиями показаны линейные тренды и области 95 % значимости

Это иллюстрирует и рис. 1, на котором приведены графики изменений ледовитости, их суммарная спектральная плотность и соответствующие вейвлет-спектры ледовитости упомянутых регионов, а также суммарной площади морского ледяного покрова морей Евразийской Арктики. Как видно, в западном регионе и в целом для всех морей четко выделяется значимый полувековой цикл, тогда как для восточного региона «пики» энергии колебаний с периодами более 5 лет не достигают уровня 95 % значимости. Следует отметить, что 100-летние циклы, выделяющиеся на всех графиках спектральной плотности, являются артефактами, вызванными краевыми искажениями из-за конечности преобразуемого ряда [18].

На рис. 2 показаны, согласно [28], изменения среднегодовой ПТВ в течение XX–начала XXI вв. в зоне 62–85° с.ш. и средней глобальной ПТВ [31]. Заметим, что коэффициент корреляции связи ПТВ в указанной зоне и в регионе Арктики (севернее 70° с.ш.) составляет 0,86. Обращает на себя внимание тот факт, что размах межгодовых изменений глобальной ПТВ был в 4 раза (для сглаженных величин – в 2,5 раза) меньше, чем в Арктике. Другое различие заключается в том, что многолетние изменения ПТВ в Арктике фиксируют примерно равновеликие значения потеплений во время первой (1930–1955 гг.) и второй (1985–2000 гг.) теплых эпох. Однако в изменениях глобальной ПТВ второй период оказывается намного теплее первого.

Чтобы выяснить причину отмеченных различий, в работе [21] было проанализировано распределение разностей ПТВ на полушарии между упомянутыми эпохами за зимнее и летнее полугодия. Как оказалось, от первой эпохи ко второй значительно (до 3 °С и более) *повысилась* ПТВ зимой в регионах, где обычно в это время располагаются антициклоны Гренландский, Сибирский, Канадский и Ар-



Рис. 2. Изменения средних годовых аномалий температуры воздуха в зоне севернее 62° с.ш. и в Северном полушарии (показаны также соответствующие аппроксимации полиномом 6-й степени)

ктический. При этом ПТВ существенно *понижилась* в Северной Атлантике и на значительной части Северного Ледовитого океана, включая области, прилежащие к морю Баффина, и арктические моря евразийского шельфа от Баренцева до Восточно-Сибирского моря. *Понижение* ПТВ сопровождалось *увеличением* ледовитости Баренцева моря зимой, которое составило (в среднем за октябрь–февраль) около 130 тыс. км² за 50 лет.

Непосредственная причина таких изменений состояла в усилении зональных потоков в атмосфере, переносящих тепло и влагу с океанов на материк, и смещении этих потоков из высоких в умеренные широты [1, 4, 16, 36]. Немаловажное значение при этом имело увеличение облачности, зависящей от типа барических систем. Зимой это воздействие особенно велико в областях, где обычно располагаются антициклоны. Ослабление антициклонов приводит к увеличению облачности и повышению ПТВ. В регионах, где термические условия находились под влиянием тыла барических депрессий (море Баффина, Северная Атлантика, Баренцево море), ПТВ понижилась.

С другой стороны, поскольку площадь Арктики намного меньше площади пояса умеренных широт, где в течение второй эпохи отмечалось потепление, вклад последнего в глобальную ПТВ был более значительным. Этим, на наш взгляд, в основном объясняется упомянутое выше отличие в ходе температуры воздуха в Арктике от изменений глобальной температуры.

Зависимость величины и характера изменений климата от широты представляет большой научный и практический интерес. Несмотря на выявленные отличия в ходе ПТВ полярных регионов, полушарий и Земли в целом, между ними существует определенная сопряженность. Как показано в работе [19], значения коэффициентов корреляции между среднегодовыми величинами ПТВ в Арктике и в

Таблица 1

Характеристики изменений среднегодовой температуры воздуха в трех зонах Северного полушария Земли в XX в.

Область	СКО	Коэфф. тренда (°/год)	Средняя амплитуда 60-летнего цикла	Вклад 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 %
20–35° с.ш.	0,26°	0,0064	0,15°	59 %	17 %

Северном полушарии достаточно высоки: 0,59 (1900–2003 гг.) и 0,70 (1971–2003 гг.). В табл. 1 сопоставлены характеристики линейных трендов и 60-летних циклов в трех широтных поясах Северного полушария в XX в. Из этой таблицы следует, что изменчивость ПТВ и двух основных климатических ее компонент в арктической области заметно выше, чем в зонах умеренных и низких широт. При этом вклад линейного тренда в дисперсию среднегодовой температуры, осредненной по соответствующей области, возрастает с уменьшением широты, а вклад 60-летнего цикла, наоборот, сокращается. Следовательно, 60-летний цикл климатических колебаний – явление преимущественно *высокоширотное*.

Отмеченные изменения циркуляции атмосферы соответствуют климатическим вариациям состояния северного полярного вихря [9]. Этот вихрь углубляется в теплые эпохи и частично заполняется в холодные. В масштабе 200-летнего цикла, помимо углубления (заполнения) этого вихря, происходит его расширение (сокращение). Углубление и расширение полярного вихря сопровождается понижением поверхностного атмосферного давления в Арктике и в соседних с ней регионах, ослаблением Арктического антициклона и усилением зонального потока в атмосфере умеренных широт. Это находит отражение в ходе известных индексов – Североатлантического колебания – САК, Арктического колебания, Высокоширотной зональности. Им соответствуют изменения индекса зональности (средняя разность атмосферного давления между параллелями 40 и 65° с.ш.), рассмотренные в работе [19].

Возможными причинами изменений состояния циркуляционных вихрей могут служить как внешние, так и внутренние факторы. Из внутренних факторов большинство климатологов до последнего времени основное значение придавали эффекту накопления в атмосфере Земли парниковых газов (главным образом CO₂) антропогенного происхождения. Мы не будем останавливаться на критических высказываниях видных отечественных и зарубежных климатологов относительно «парниковой теории». Их краткий обзор дан в книге [19]. Заметим, что за последние годы количество ученых, отвергающих решающее значение «парниковой теории» в климатических изменениях, заметно увеличилось [31 и др.].

В качестве альтернативы «парниковой теории» в понимании основных причин климатических изменений XX–начала XXI вв. наибольшее внимание привлекает воздействие на атмосферу Земли изменений общей лучистой энергии Солнца (Total Solar Irradiance – TSI). Это понятие включает электромагнитные волны разной длины, солнечную активность (СА), формирующую корпускулярные потоки (солнечный ветер), и космические лучи, регулируемые межпланетными магнитными полями. Обзоры исследований по этой проблеме имеются в книге [19] и статье [17]. Косвенно воздействие СА на климат выражается в совпадении средней продолжительности циклов, выявленных в ходе температуры воздуха, ледовитости и СА: цикл Швабе (11 лет), Хейла (22 года) и Фритца (около 60 лет), а также «200-летний» цикл [6, 30].

На рис. 3 изменения годовых аномалий ПТВ в зоне севернее 62° с.ш. сопоставлены с величинами TSI, полученными в результате композиции наблюдений за солнечными пятнами и общей радиацией Солнца [22], а также содержанием CO₂ в атмосфере (1875–2000 гг.) [33]. Графики хода температуры и TSI довольно согласованно подтверждают как наличие векового положительного тренда, так и присутствие квазишестидесятилетних циклических колебаний на его фоне, чего нельзя сказать о ходе содержания CO₂. Из рисунка следует, что размах изменений полной энергии Солнца достигает 4,0 ватт/м², (0,3 % от величины солнечной постоянной). Корреляционный анализ связей аномалий ПТВ в Арктике (ΔT_a), сглаженных по 11-летиям с величинами TSI и CO₂, позволил получить уравнение регрессии:

$$\Delta T_a = 0,431(TSI) - 0,0038(CO_2) - 589,5 \text{ (общий коэффициент корреляции } R = 0,87),$$

а по нему рассчитать долю соответствующих дисперсий в общей изменчивости T_a : 83,5 % и 2,4 % соответственно. Следовательно, не углекислый газ, а приходящая к

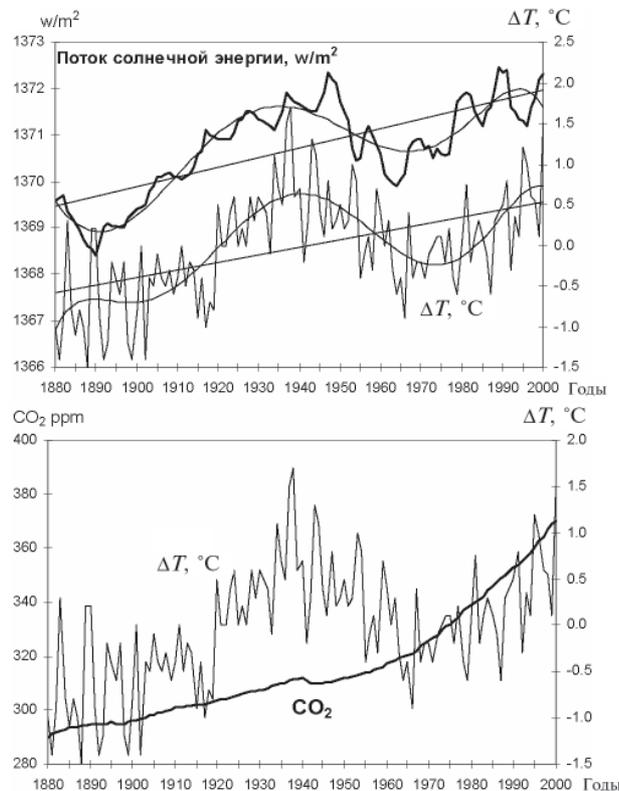


Рис. 3. Сопоставление (вверху) изменений потоков солнечной энергии (TSI) и средних годовых аномалий температуры воздуха (ΔT_a) в зоне севернее 62° с.ш. (показаны соответствующие линейные тренды и аппроксимации полиномом 6-й степени); изменения содержания в атмосфере углекислого газа (CO_2) и температуры воздуха (внизу) [33]

Земле солнечная энергия, включающая энергию солнечной активности, должна рассматриваться как основная причина климатических изменений в Арктике.

Использование изотопных анализов радионуклидов космического происхождения (^{14}C и ^{10}Be) в кернах льда из ледников Антарктиды и Гренландии позволило реконструировать числа Вольфа с достаточно высокой точностью вплоть до середины IX в. н. э. [32, 34]. Графики разных вариантов такой реконструкции, различаясь количественно, показывают аналогичное изменение во времени реконструированных величин. Они удивительно напоминают реконструкции температурных аномалий земного климата, получивших название «хоккейной клюшки» [24].

На рис. 4 приведены графики осредненных (по разным реконструкциям) величин аномалий среднегодовой ПТВ Северного полушария и чисел Вольфа за последние 1100–1200 лет, а также их многолетние изменения, аппроксимированные многочленом третьей степени. Коэффициент корреляции связи между последними находится в пределах от 0,84 до 0,95 (при сдвигах «температура после СА» на 0–60 лет). Оба рисунка не только указывают на исключительно интенсивный рост ПТВ и СА в XX в., подобного которому не обнаружено за два предшествующих тысячелетия, но и на характерные особенности изменений климата в историческое время – от теплой «эпохи викингов» в X–XII вв. до «малой ледниковой эпохи» XV–XIX вв.

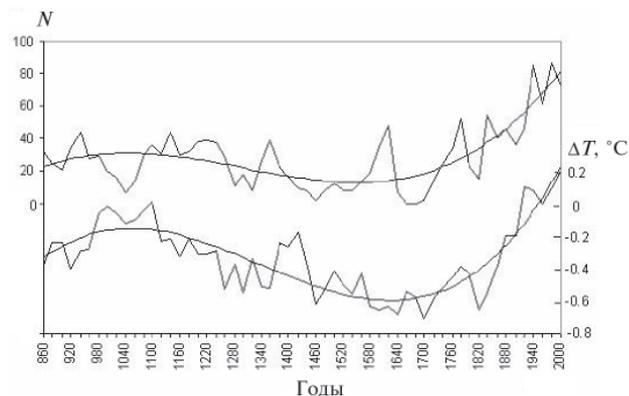


Рис. 4. Осредненные (по разным реконструкциям [24, 32, 34]) величины аномалий среднегодовой температуры воздуха Северного полушария (внизу) и чисел Вольфа (N) за последние 1100–1200 лет (вверху); сглаженные линии – линии, соответствующие аппроксимации многочленом 3-й степени

Заметим, что в статье [8] для объяснения линейного тренда изменений климата Арктики в XX в. приведен соответствующий положительный линейный тренд СА (чисел Вольфа), возможно связанный с наличием 200-летнего цикла. Предполагается, что причина этого «тройственного» периода связана с особенностями движения Солнца вокруг центра масс [18]. Что касается 60-летнего цикла, то его существование, по всей вероятности, обусловлено влиянием «диссимметрии солнечной системы». Это понятие обозначает смещение центра Солнца относительно центра масс солнечной системы под влиянием планет (главным образом, Юпитера и Сатурна) [5, 10, 12, 16]. Ее воздействие на земную атмосферу может осуществляться как через СА, так и вследствие изменений расстояния между Землей и Солнцем, связанных с явлением «диссимметрии» [8]. Обнаружение 60-летнего цикла в изменениях общей энергии Солнца может свидетельствовать в пользу этой теории, которая к тому же дает основание для объяснения обнаруженного увеличения роли 60-летних циклов с широтой и оппозиции их влияния на климатические изменения в Арктике и Антарктике (из-за противоположных знаков соответствующих аномалий в моменты перигелия и афелия).

В заключение приведем краткие выводы настоящего исследования.

Климат Земли изменяется во времени и пространстве. Изменения во времени носят полициклический характер и имеют определенные региональные особенности. Наиболее энергоемкими в масштабе десятилетий являются циклы средней продолжительностью около 60 и около 200 лет. Их относительная роль изменяется в пространстве в зависимости от широты и особенностей общей циркуляции атмосферы (ОЦА), связанных с распределением океанов и морей и поступающей солнечной энергией. Особенности ОЦА проявляются в эволюции состояния полярных вихрей (в их глубине и горизонтальных размерах). Основными причинами климатических изменений являются естественные внешние факторы – колебания общего количества энергии Солнца, вследствие изменений расстояния до него от Земли, а также солнечной активности. Повышение концентрации в атмосфере парниковых газов антропогенного происхождения в изменениях климата Земли играет второстепенную роль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г.В. Современные изменения климата в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. 2000. Вып. 72. С. 42–71.

2. *Алексеев Г.В.* Исследование изменений климата Арктики в XX столетии // Труды ААНИИ. 2003. Т. 446. С. 6–21.
3. *Алексеев Г.В., Кузьмина С.И., Анискина О.Г., Харланенкова Н.Е.* Естественные и антропогенные составляющие изменений приповерхностной температуры воздуха в Арктике в XX веке по данным наблюдений и моделирования // Труды ААНИИ. 2003. Т. 446. С. 22–30.
4. *Алексеев Г.В.* Формирование и динамика современного климата. СПб.: Гидрометеоздат, 2004. 266 с.
5. *Байдал М.Х.* О временной сопряженности некоторых климатических характеристик с внешними факторами // Тр. ВНИИГМИ МЦД. 1987. Вып. 141. С. 23–28.
6. *Баширцев В.С., Машнич Г.П.* Переменность Солнца и климат Земли // Солнечно-земная физика. 2004. Вып. 6. С. 135–137.
7. *Гриббин Дж., Лэм Г.Г.* Изменение климата за исторический период // Изменения климата. Л.: Гидрометеоздат, 1980. С. 102–121.
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., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е.* Изменения морского ледяного покрова и других составляющих климатической системы в Арктике и Антарктике в связи с эволюцией полярных вихрей // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 78. С. 48–57.
10. *Дмитриев А.А.* Изменчивость атмосферных процессов Арктики и ее учет в долгосрочных прогнозах. Л.: Гидрометеоздат, 1994. 207 с.
11. *Екайкин А.А., Липенков В.Я., Пети Ж.Р., Массон-Дельмотт В.* Пятидесятилетний цикл в изменениях аккумуляции и изотопного состава снега на станции Восток // Мат-лы гляциол. исследований. 2003. Вып. 94. С. 163–173.
12. *Завалишин Н.Н., Виноградова Г.М.* О связи аномалий месячных температур воздуха с циклом Хейла и динамикой расстояния Солнце-Земля // Тр. СибНИГМИ. 1990. Вып. 93. С. 25–32.
13. *Захаров В.Ф.* Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеоздат, 1996. 213 с.
14. *Карклин В.П., Юлин А.В., Карелин И.Д., Иванов В.В.* Климатические колебания ледовитости арктических морей сибирского шельфа // Труды ААНИИ. 2001. Т. 443. С. 5–11.
15. *Клименко В.В.* Климатическая сенсация. Что нас ожидает в ближайшем и отдаленном будущем? (Лекция проекта «Публичные лекции «Полит.ру».) URL: www.polit.ru/lectures/2007/02/15/klimenko.html (дата обращения 15.02.2009)
16. *Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Пашестюк А.М.* Анализ вариаций погоды и климата: Сб. научн. тр. СО ВАСХНИЛ. Новосибирск, 1987. 103 с.
17. *Лукьянова Р.Ю.* Современные исследования по проблеме влияния солнечной активности на изменчивость климата // Труды ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 210–226.
18. *Монин А.С., Сонечкин Д.М.* Колебания климата по данным наблюдений. М.: Наука. 2005. 192 с.
19. *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.
20. *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.
21. *Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М.* 60-летняя цикличность в изменениях климата полярных регионов // Материалы гляциологических исследований, 2009 (в печати).
22. *Hoyle D.V., Schatten K.H.* A discussion of plausible solar irradiance variations, 1700–1992 // J. Geophys. Res. 98. 1993. P. 18895–18906.
23. IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. J.T.Houghton, Y.Ding, D.J.Griggs, M.Noguer, P.J. van der Linden, X.Dai, K.Maskell, C.A.Johnson, eds. Cambridge, UK, and New York: Cambridge University Press, 881 p.
24. *Mann M.E., Zhang Z, Hughes M.K., Bradley R.S., Miller S.K., Rutherford S, Ni F.* Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two

- millennia // The National Academy of Sciences of the USA. Sept. 9, 2008. Vol. 105. № 36. P. 13252–13257.
25. *McIntyre S., McKittrick R.* Corrections to the Mann et al. Proxy Data Base and Northern Hemispheric Average Temperature Series // *Energy and Environment*. 2003. Vol. 14, № 6. P. 751–771.
26. *Minobe S.A.* 50–70 year climatic oscillation over the North Pacific and North America // *Geophys. Res. Lett.*, 1997. № 24. P. 683–686.
27. *Polyakov I.V., Johnson M.A.* Arctic decadal and interdecadal variability // *Geophys. Res. Lett.* 2000. № 24. P. 4097–4100.
28. *Polyakov I.V. et al.* Variability and trends of air temperature and pressure in the maritime Arctic, 1875–2000 // *J. of Climate*. 2003. Vol. 16. P. 2067–2077.
29. *Proshutinsky A.Y., Johnson M.A.* Two circulation regimes of the wind-driven Arctic Ocean // *J. Geophys. Res.* 1997. № 102. P. 12,493–12,514.
30. *Raspopov O.M., Dergachev V.A., Kolstrom T.* Hale Cyclicity of Solar Activity and its relation to climate variability // *Solar Physics*. 2004. Vol. 224. P. 455–463.
31. *Singer S.F. et al.* Nature, Not Human Activity, Rules the Climate: Summary for Policymakers of the Report of Nongovernmental International Panel on Climate Change, Chicago, IL; The Heartland Institute. 2008. 40 p.
32. *Solanki S.K., Usoskin I.G., Kromer B., Schussler M., Beer J.* Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years // *Nature*. 28 Oct. 2004. Vol. 431. P. 1084–1087.
33. *Soon W.W.-H.* Variable solar irradiance as a plausible agent for multidecadal variations in the Arctic-wide surface air temperature record of the past 130 years // *Geophys. Res. Lett.* 2005. Vol. 32. P. L16712–L16712–5. doi:10.1029/2005GL023429
34. *Usoskin I.G., Solanki S.K., Schussler M., Mursula K., Alanko K.* Millennium-Scale Sunspot Number Reconstruction: Evidence for an Unusually Active Sun since the 1940s // *Physical Review Letters*, 21 Nov. 2003. Vol. 91. № 21. P. 211101–211101–4.
35. *Vinje T.* Anomalies and trends of sea ice extends and atmospheric circulation in the Nordic Seas during the period 1864–1998 // *Journal of Climate*. December 2000. 21 p.
36. *Westbrook G.* After Kyoto. Science still probes global warming causes // *Oil and Gas J.* 1998. Vol. 96. № 3. P. 40–42.
37. *Wallace J.M., Zhang Y., Renwick J.A.* Dynamic contribution to hemispheric mean temperature trends // *Science*. 1995. Vol. 270. P.780–783.

*Z.M.GUDKOVICH, V.P.KARKLIN,
V.M.SMOLYANITSKY, I.E.FROLOV*

ON THE CHARACTER AND CAUSES OF THE EARTH'S CLIMATE CHANGES

Typical peculiarities of climate changes of the Arctic and some other Earth's regions with scales ranging from decades to centuries are considered. Data of observations allowed revealing a polycyclic character of climatic changes that have occurred from the end of the 19th to the beginning of the 21st centuries. The 60-year cycles to which alternation of warm and cold epochs is related, had the largest amplitude in the Arctic. Similar cycles were also revealed in the other regions of the planet. The amplitudes of such oscillations and their contribution to the total climate variability decrease with latitude and are different in different regions. Such oscillations occur at the background of longer changes, which are usually expressed by linear trends. There is ground to believe that they manifest a cycle with duration of about 200 years. Its influence creates inter-epochal differences in the character of climatic changes. Their direct cause is displacement of the zonal transport belt in the atmosphere of the northern hemisphere from high to temperate latitudes. This is in agreement with climatic variations of the state of the northern polar vortex. Their possible cause is changes of full energy coming to the Earth from the Sun including solar activity energy. On the basis of reconstructed changes of this energy made by scientists and the actual and reconstructed data on the air temperature in the Arctic and in the northern hemisphere, it is shown that the climatic changes at the scales under consideration are created by natural causes.

Keywords: Climate changes, polycyclic character, polar vortex, zonal transport belt in the atmosphere, Solar Activity, Total Solar Irradiance, natural causes