

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ  
МЕХАНИЗМОВ МЕЖГОДОВОЙ  
И ВНУТРИВЕКОВОЙ  
КЛИМАТИЧЕСКОЙ  
ЦИКЛИЧНОСТИ – КЛЮЧЕВАЯ  
ЗАДАЧА СОВРЕМЕННОЙ  
КЛИМАТОЛОГИИ**

**С.Я. Сергин, С.Н. Цай, Н.К. Кононова\***

Филиал Российского государственного  
гидрометеорологического университета  
г. Туапсе, ул. Морская, 4  
E-mail: s.sergin@bk.ru  
\*Институт географии РАН  
г. Москва, Старомонетный пер., 29

*Статья посвящена вопросам изучения причин колебаний климата различной периодичности: годовых, межгодовых, внутривековых и вековых. С позиций прикладной климатологии имеются основания полагать, что первоочередного внимания заслуживают короткопериодные колебания климата.*

**Введение.** На временных спектрах колебаний климата, построенных разными авторами, выявляются глобальные климатические циклы продолжительностью 1 год, 2-3 года (2–5 лет), 20–60 лет, 100–400 лет и другие, измеряемые тысячами и миллионами лет. Генезис годового глобального климатического цикла связан с сезонными вариациями притока солнечной радиации на полушариях, но не исследован в полной мере. Механизмы межгодовых и более длительных циклов пока изучены недостаточно (за исключением результатов системного анализа причин гляциоклиматических циклов продолжительностью в десятки тысяч лет [1]). Понимание механизмов естественных колебаний климата необходимо для перехода от существующих моделей общей циркуляции атмосферы и океана (которые иногда называют моделями климата) к реальным моделям климата Земли. Последние станут основой для прогнозирования изменений климатических условий на тех или иных интервалах времени. В данной работе аргументируется важное прикладное значение прогнозирования короткопериод-

ных пульсаций климата. Представлены некоторые данные о функционировании климатической системы, полезные для изучения механизмов пульсаций.

**Актуальность прогнозирования короткопериодных колебаний климата.** Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) проводит исследование по проблеме современного (векового) потепления климата, которое проявилось в прошлом столетии и начале текущего столетия. Рассматривается антропогенная причина повышения глобальной температуры: выбросы в атмосферу углекислого газа и сопутствующее усиление парникового эффекта. На этой основе сформирован прогноз дальнейшего потепления климата Земли на перспективу десятилетий и столетий [2]. Под эгидой ООН почти всеми странами мира подписан Киотский протокол, накладывающий ограничения на выбросы парниковых газов.

В то же время МГЭИК оставила в стороне широко распространённое представление о том, что современное потепление логично считать частью естественного векового климатического цикла (100–400 лет), который последовал за «малой ледниковой эпохой». Не проведено модельное воспроизведение вековых циклов в ходе исторической эпохи и остается неизученным естественное повышение температуры на протяжении последних полутора столетий. В сущности, МГЭИК не поставила и не решила задачу комплексного анализа причин современного потепления климата [3]. Она ограничилась разработкой гипотезы влияния парниковых газов и предъявила эту гипотезу мировому сообществу в качестве теории. Академик К.Я. Кондратьев отмечал, что мнение специалистов, возражавших против такой подмены, просто игнорировалось [4].

В связи с деятельностью МГЭИК основные усилия специалистов по климату и глобальной экологии России и других стран были направлены на проблему векового потепления климата. Здесь возникает вопрос: заслуживают ли вековые колебания климата первоочередного внимания по сравнению с внутривеко-

выми (20–60 лет), межгодовыми (2–5 лет) и годовыми пульсациями климата?

Для ответа на этот вопрос нужно учитывать характерное время технологических изменений ( $\tau_t$ ) в хозяйственной деятельности. В сельском хозяйстве  $\tau_t$  составляет десятки лет. Это касается семенного генофонда, систем обработки почвы, оросительных и осушительных систем, полезащитных систем, животноводческих комплексов и т. д. Такую же продолжительность  $\tau_t$  имеет в большинстве отраслей хозяйства и транспорта, существенно связанных с условиями природной среды. Вследствие относительной стабильности природных факторов величина  $\tau_t$  зависит, в основном, от экономических, научно-технических и социальных факторов.

Если сопоставить  $\tau_t$  с продолжительностью периодов климатических циклов ( $\tau_k$ ), то можно выделить следующие соотношения:

$$\tau_t > \tau_{k1}, \quad (1)$$

$$\tau_t \approx \tau_{k2}, \quad (2)$$

$$\tau_t < \tau_{k3}. \quad (3)$$

Индекс  $k1$  здесь присвоен годовым и межгодовым,  $k2$  – внутривековым,  $k3$  – вековым и более продолжительным циклам.

В первом случае технологические улучшения происходят медленнее, чем изменения климата. Они не могут компенсировать негативного влияния быстрых отклонений климатических параметров от многолетней нормы. В этом случае (когда по народной поговорке «год на год не приходится») климатическое прогнозирование может принести значительный социально-экономический эффект.

При соотношении (2) негативное влияние пульсаций климата в существенной мере восполняется технологическими улучшениями. В этом случае актуальность климатического прогнозирования снижается.

При соотношении (3) технологические улучшения могут почти полностью перекрыть нежелательное влияние на хозяйственную деятельность изменений климата, растянутых во времени. Задача

климатического прогнозирования становится еще менее актуальной.

Из этого анализа следует, что целевая установка МГЭИК на изучение и прогнозирование долговременных изменений климата заведомо не может принести существенной социально-экономической пользы. Основные усилия климатологов должны быть направлены на выявление природы и прогнозирование короткопериодных пульсаций климата.

**Мощность климатических колебаний различной периодичности.** Отмеченную выше задачу могла бы успешно решить лаборатория из специалистов, исследующих механизмы изменений климата. Однако, вероятнее всего, климатология будет вынуждена пройти длительный путь незапланированного сложения усилий многих авторов. Вклад в эту работу, представленный в данной статье, заключается в оценке мощности процессов колебаний климата и рассмотрении организованности атмосферной циркуляции Северного полушария – типизации циркуляционных механизмов Б.Л. Дзердзеевского.

Согласно [3, 5], мощность ( $N$ ) процесса колебаний климата определенной частоты можно определить как отношение затрат энергии в ходе цикла ( $E$ ) к его периоду ( $\tau$ ). Энергия затрачивается сначала на увеличение теплосодержания глобальной климатической системы (ГКС), приходящееся на фазу повышения температуры системы, а потом на такое же понижение теплосодержания системы, когда ее температура возвращается в исходное состояние. Если абсолютное значение повышения и понижения теплосодержания обозначить как  $\Delta Q$ , то  $E = 2\Delta Q$ . В соответствии с этим

$$N = E/\tau = 2\Delta Q/\tau. \quad (4)$$

В историческую эпоху  $\Delta Q$  было связано главным образом с изменениями температуры в некотором слое океанских вод и континентальной земной коры (поскольку масса льдов почти не изменялась, а вариациями теплосодержания атмосферы можно пренебречь). Пусть на протяжении климатического

цикла эта температура колеблется со средней амплитудой  $A_c$  (и размахом  $2A_c$ ). Если в отмеченном слое выделить вертикальную колонну с единичной площадью поперечного сечения и высотой  $H$ , то ее объем численно равен  $H$ . Тогда

$$N = 4C_v H A_c / \tau, \quad (5)$$

где  $C_v$  – средняя объемная теплоемкость вод и горных пород, вовлеченных в теплообмен.

В соответствии с известным решением уравнения теплопроводности Фурье,

$$A_c = (1/H) \int_0^H A_0 e^{-z\sqrt{\pi/\alpha\tau}} dz = (1/H) (A_0/\sqrt{\pi/\alpha\tau}), \quad (7)$$

Подставляя  $A_c$  в (5) получаем

$$N = 4C_v A_0 / \sqrt{\pi\tau/\alpha}. \quad (8)$$

В соответствии с (8) мощность механизма, возбуждающего в ГКС климатические циклы, пропорциональна амплитуде колебаний температуры земной поверхности и обратно пропорциональна корню квадратному от периода. Для сравнения, полная мощность механических колебаний пропорциональна квадрату амплитуды смещений и обратно пропорциональна квадрату периода колебаний.

Сравним мощность  $N_1$  и  $N_2$  двух соседних (в спектре колебаний) климатических циклов, скажем, межгодовых (2–5 лет) и внутривековых (20–60 лет). В этом сравнении значения  $C_v$  и  $\alpha$  можно принять одинаковыми для обоих циклов. Тогда

$$N_1/N_2 = (A_1/A_2)(\sqrt{\tau_2}/\sqrt{\tau_1}). \quad (9)$$

Если периоды для рассматриваемых циклов принять равными 3 и 35 лет, то при различных возможных значениях  $A_1$  и  $A_2$  находим, что  $N_1/N_2 = 1,5 \div 2,5$ . Выявленная закономерность понятна: затраты энергии (в единицу времени) на сравнительно быстрые (резкие) температурные колебания больше, чем на относительно медленные (плавные).

Более полное представление о мощности колебаний климата в ГКС дает

если температура земной поверхности испытывает гармонические колебания с амплитудой  $A_0$ , то (при схематизации процесса теплообмена) колебания экспоненциально затухают с глубиной:

$$A(z) = A_0 e^{-z\sqrt{\pi/\alpha\tau}}, \quad (6)$$

где  $z$  – глубина и  $\alpha$  – коэффициент температуропроводности в рассматриваемом слое ГКС.

Осредняя  $A(z)$ , находим  $A_c$ :

табл. 1. Значения мощности вычислены с помощью (8) при различных периодах и амплитудах климатических циклов. Кроме того, варьируются значения коэффициента температуропроводности. Наименьшее из них,  $0,14 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, соответствует теплопроводности в неподвижной морской воде. Следующие два значения, увеличенные в 10 и 100 раз, иллюстрируют переход к сильно выраженному турбулентному и конвективному теплообмену. Используя эти значения  $\alpha$ , мы исключаем из рассмотрения сравнительно слабый теплообмен в континентальной земной коре и преувеличиваем термическую ёмкость ГКС.

Т а б л и ц а 1

Мощность (Вт/м<sup>2</sup>) глобальных климатических колебаний с различными периодами ( $\tau$ ) и амплитудами изменений приземной температуры ( $A_0$ ) при трех значениях температуропроводности морских вод ( $\alpha$ )

$\alpha$ , 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с	$\tau = 1$ год $A_0 =$ =0,4 К	$\tau = 3$ года $A_0 =$ =0,7 К	$\tau = 35$ лет $A_0 =$ =1К	$\tau = 250$ лет $A_0 =$ =1,3 К
0,14	0,26	0,26	0,11	0,05
1,4	0,82	0,83	0,36	0,17
14	2,60	2,63	1,33	0,53

Данные таблицы в свою очередь подтверждают, что мощность колебаний климата уменьшается от быстрых его пульсаций к сравнительно медленным.

Имеются основания полагать, что главным вынуждающим фактором годовых и межгодовых глобальных пульсаций являются большие по величине сезонные изменения инсоляции на полушариях. Последние обуславливают в ГКС активную изменчивость теплообмена, атмосферной и океанической циркуляции, глобального влагооборота, снежного покрова и морских льдов. В их системной взаимосвязи появляются «биения». Что касается происхождения внутривековых и вековых пульсаций, то главное значение может иметь более сложная автоколебательная организация собственных им механизмов. Суммарная мощность колебаний климата Земли сравнительно невелика. Она не превышает 1% от поглощаемой в климатической системе солнечной радиации (240 Вт/м<sup>2</sup>). Нижняя строка таблицы не входит в эту оценку, поскольку значение  $\alpha = 14 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с – заведомо нереальное.

В настоящее время наиболее энергоёмкие циклы (годовые и 2–5-летние) продолжают с теми же амплитудами, которые наблюдались 50, 100 и 150 лет назад. Это означает, что антропогенные факторы не изменили работы ГКС и она обладает естественными функциональными возможностями для генерации всех циклов. Суперпозиция климатических циклов усложняет динамику глобального климата.

**Организованность атмосферной циркуляции Северного полушария.** В функциональной структуре ГКС принципиальное значение имеет циркуляция атмосферы, поскольку она находится в тесной связи с преобразованиями энергии и другими процессами, протекающими в системе. Существует несколько типизаций циркуляционных процессов в умеренных и высоких широтах Северного полушария, предложенных разными авторами. Наиболее полное модельное воспроизведение структуры циркуляции атмосферы внетропических широт Северного полушария разработано профессором Б.Л. Дзердзеевским и его сотрудниками [6]. Мы полагаем, что эта типизация циркуляционных структур атмосферы и дополняющие материалы по её анализу представляет особый интерес в задаче изучения механизмов колебаний климата.

Главным признаком, по которому проведена типизация, является наличие или отсутствие блокирующих процессов на полушарии, их направление и количество. Основной единицей типизации является элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ). На основе сборно-кинематических карт траекторий циклонов и антициклонов на каждый ЭЦМ составлена динамическая схема географического их положения. Всего выделено 4 группы, 13 типов и 41 подтип циркуляции (табл. 2).

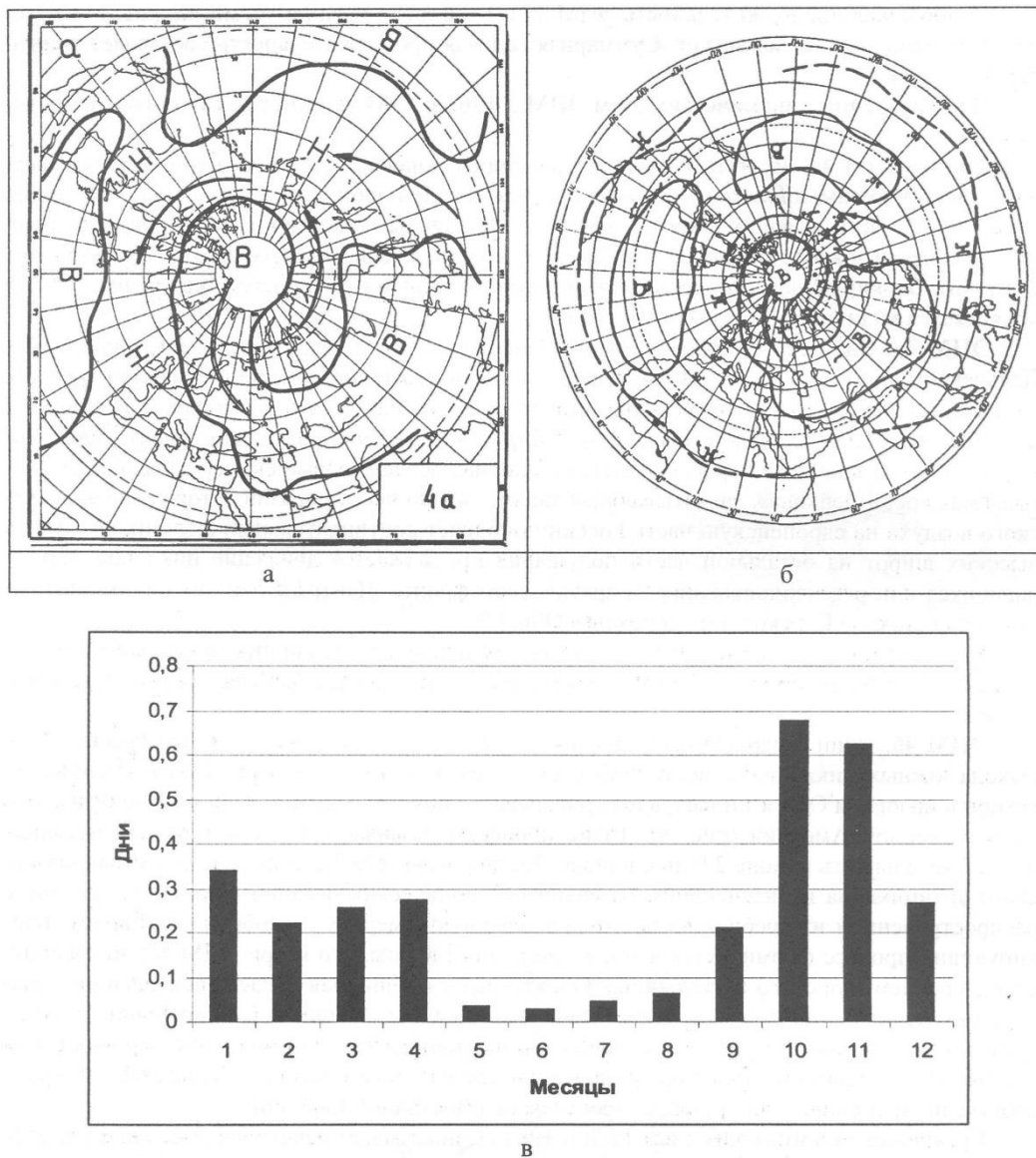
Т а б л и ц а 2

Характеристика групп циркуляции атмосферы Северного полушария в типизации Б.Л. Дзердзеевского [7]

Группа циркуляции	Типы ЭЦМ, входящие в группу	Атмосферное давление в Арктике	Количество одноврем. блокирующих процессов на полушарии	Количество одноврем. выходов южных циклонов на полушарии
Зональная	1 и 2	высокое	0	2-3
Нарушения зональности	3-7	высокое	1	1-3
Меридиональная северная	8-12	высокое	2-4	2-4
Меридиональная южная	13	низкое	0	3-4

В качестве иллюстрации данных, имеющихся по каждому ЭЦМ, ниже представлены материалы по ЭЦМ 4а (рис. 1). Этот циркуляционный механизм проявляется главным образом в октябре

и ноябре, когда над Сибирью устанавливается устойчивый снежный покров и континентальный антициклон. Последний может охватывать большую часть Евразии – в виде «оси Воейкова».



Р и с. 1. Элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ) 4а

Обозначения: а – динамическая схема по данным за первую половину XX века; б – динамическая схема, построенная на основе средних карт атмосферного давления за период 1970–1978 гг.; в – внутригодовой ход средней за 1899–2008 гг. суммарной месячной продолжительности ЭЦМ

Для каждого из 41 подтипов циркуляции и соответствующих ЭЦМ имеется календарь последовательной их смены, начиная с 01 января 1899 г. Рассчитана их повторяемость по месяцам каждого года, а также в ежегодном и многолет-

нем осреднении. Выделены циркуляционные сезоны года со свойственными им схемами атмосферной циркуляции [6]. Установлен факт сопряженности циркуляционной динамики на Северном и Южном полушариях [9].

Эти и другие данные по типизации Б.Л. Дзердзеевского полезны, во-первых, как эмпирическая основа для выявления механизмов климатических циклов с периодами 1 год, 2–5 и 20–60 лет, во-вторых, как материал для ретроспективной проверки способности моделей ГКС описывать известные климатические циклы.

В докладах МГЭИК предпринимаются попытки доказать способность моделей общей циркуляции атмосферы и океана воспроизводить глобальные климатические события за последние 100–150 лет. При этом, как ни странно, не принимается во внимание фактическая повторяемость различных ЭЦМ в вековых вариациях циркуляционных условий. Мы полагаем, что этот пробел целесообразно восполнить. Вместе с тем, перед МГЭИК возникает вопрос об интерпретации данных табл. 1. Теоретическая оценка суммарного радиационного воздействия антропогенных факторов в ходе современного потепления климата ( $1,6 \text{ Вт/м}^2$ ) в несколько раз превышает мощность рассчитанного нами медленного колебания климата. Это расхождение легко объяснимо. В моделях общей циркуляции описываются быстрые энергоемкие внутригодовые процессы в системе океан-атмосфера. Для изменения динамики этой системы необходимо прилагать большую внешнюю мощность, что и делается в расчетных экспериментах МГЭИК.

**Выводы.** 1. В прикладном отношении наиболее актуальна задача изучения механизмов и прогнозирования короткопериодных флуктуаций климата (с периодами 1 год и 2–5 лет). Значение этой задачи снижается для циклов 20–60 лет и, тем более, для вековых циклов (100–400 лет).

2. Мощность колебаний климата пропорциональна амплитуде изменений температуры земной поверхности и обратно пропорциональна корню квадратному от периода колебаний. Она уменьшается от годового и межгодового циклов к внутривековым и вековым. Эта закономерность представляет интерес в

выявлении механизмов колебаний климата.

3. Типизация атмосферных циркуляционных процессов Б.Л. Дзердзеевского обладает неиспользованным потенциалом для изучения механизмов климатических циклов с периодами 1 год, 2–5 лет, 20–60 лет. Кроме того, она дает эмпирическую основу для проверки моделей климата Земли по «циркуляционной логике». Но таких моделей пока не существует.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *В.Я. Сергин, С.Я. Сергин.* Системный анализ проблемы больших колебаний климата и оледенения Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 279 с.
2. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change 2007. Summary for Policymakers.* <http://www.ipcc.ch>
3. *Сергин С.Я.* Угрожает ли человечеству климатическая катастрофа? Saarbrücken, Deutschland. Palmarium Academic Publishing. – 2012. – 65 с.
4. *Кондратьев К.Я.* Изменения глобального климата: нерешенные проблемы // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 6. – С. 118–128.
5. *Сергин С.Я.* Естественная изменчивость климата как главная причина современного колебательного его потепления // Матер. междунар. научно-практич. конфер. – Туапсе, 2010. – С. 109–117.
6. *Кононова Н.К.* Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. – М.: Воентехиниздат, 2009. – 372 с.
7. *Кононова Н.К.* Изменения циркуляции атмосферы Северного полушария в XX–XXI столетиях и их последствия для климата // Фундаментальная и прикладная климатология, 2015. – № 1. – С. 127–156.
8. *Кононова Н.К.* Флуктуации глобальной циркуляции атмосферы в XX–XXI вв. М., IGU Regional Conference, 2015.