

В.И. Шишлов

Анализ и оценка ритмичных изменений климата

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 1.08.2006 г.

Обсуждается системно-эволюционный подход к описанию, анализу и оценке изменений климата по результатам обработки данных наблюдений. Предложены методики идентификации и технологии анализа ритмов многолетних изменений температурного режима по описанию последовательности состояний с экстремумами сезонных (месячных) температур, хода многолетних изменений продолжительности холодного и теплого периодов года. Приведены примеры и результаты анализа ритмичных изменений температур: циклическая ритмичность изменения экстремумов зимних температур с периодом 179 лет, равным периоду главного солнечного цикла, особенности потепления в Сибири с устойчивой тенденцией формирования регулярного ритма, интервальная оценка темпов потепления в регионах 0,6–1,4 °С за 180 лет по приращениям температур в однотипных фазах цикла.

Введение

Ритмы многопараметрических процессов отражают упорядоченную регулярную динамику сложных систем. В иерархии ритмов климатообразующих процессов выделено несколько типов ритмичных составляющих различного масштаба: синоптических, сезонных, годовых, многолетних, многодекадных, вековых. Ряд работ [1–3] посвящен проблемам нестационарности динамики климатической системы, колебаниям и флуктуациям климата, анализу периодичностей в рядах наблюдений. Из этих работ следует, что строгая периодичность климатообразующих процессов в рамках сложноорганизованной многоуровневой системы астрогеосферно-климатических отношений не реализуется. Однако нами обнаружены регулярно повторяемые через определенный период времени интервалы с особым характерным ритмом изменения сезонных метеовеличин (фазы ритма). Это удалось получить при исследованиях природы ритмичных изменений характеристик климата и биотических процессов в биосфере с единых методических позиций системно-эволюционного подхода к анализу структурных изменений, преобразования межсистемных отношений и перестройки организации цикла процессов в геосфере.

Исследования были проведены в рамках концепции энергопреобразующих систем и энергомассопереноса в геосфере [4]. В результате исследования цикла процессов энергопреобразования и погодообразования в региональной климатической системе (КС) выявлены внутрисистемные механизмы их изменений. Показано, что колебания климата северных широт в масштабе десятилетий определяются механизмом изменений цикла энергопреобразования и энергомассопереноса между энергопреобразующими системами океана и суши при преобразовании отношений в системе «океан–криосфера–

атмосфера–суша» [5, 6]. Преобразования отношений в системе «океан–криосфера–атмосфера» при опреснении океанических вод и изменении ледовитости арктических морей вызывают долгопериодные (несколько десятилетий) изменения энергомассопереноса и климата умеренных широт Евразии. На основе анализа длинных рядов сетевых инструментальных наблюдений выявлены закономерности многолетнего хода изменений экстремумов сезонных характеристик метеовеличин, формирования аритмий и последовательностей экстремумов, которые характеризуют ход трансформации энергомассопереноса.

В результате системно-эволюционного анализа вековых изменений [6] характеристик сезонных состояний климатических систем, барико-циркуляционных условий и ледовитости северных морей [7] установлены закономерные связи в наблюдаемых многолетних колебаниях. С учетом того, что изменения атмосферного давления и погодноклиматических условий формируются под влиянием изменения сил гравитационного воздействия планет на Землю [2], выдвинута гипотеза о связи ритмичных изменений температур зимнего сезона с ритмом изменения сил гравитации (при изменении расстояний между планетами в ходе их движения) и вариациями положения Земли на орбите вокруг Солнца. В работе В.В. Иванова [2] показаны существенная роль модуляции потока солнечной энергии вследствие вариаций положения Земли на орбите и прогностическая значимость астрономических факторов.

С учетом новых представлений в рамках методологии системно-эволюционного подхода развивается направление астрогеосферно-ситуационного анализа феноменов изменчивости природной среды и климата при трансформации подсистем геосферы и реорганизации цикла средообразующих и климатообразующих процессов. Развитие методов

системно-эволюционного анализа для многоуровневых систем с учетом астрогеосферных отношений, взаимодействия макромасштабных и региональных процессов при сочетании разнородных факторов требует создания качественно новых средств емкого и точного описания особенностей состояния многоуровневой природно-климатической системы, идентификации процесса трансформации ее состояний и технологии анализа изменений.

В настоящей статье представлены научно-методические основы информационной технологии анализа ритмичных изменений характеристик климата и оценивания климатических изменений с учетом ритмичной составляющей.

1. Методические и физические основы анализа ритмичных изменений климата

Методы системно-эволюционного анализа изменений окружающей среды и климата [4, 5], информационные технологии оценки и интерпретации наблюдаемых изменений [6] реализуются с использованием алгоритмов и технологий обработки разнородных данных сетевых и специальных наблюдений, средств интегрированного представления ансамбля состояний КС и построения моделей. Климатическая система рассматривается как многоуровневое системно-организованное образование энергопреобразующих систем (ЭПС), связанных циклами процессов энергомассопереноса, энергомасообмена, влагооборота в конкретных географических районах. Цикл энергопреобразования и энергообмена в рамках системы отношений ЭПС реализует в конкретной региональной КС определенный режим погодообразования с соответствующей организацией процессов в приземном слое атмосферы. В рамках системно-эволюционного подхода [3] динамика изменения состояний региональной КС описывается моделями нестационарных многошаговых процессов. Процесс преобразования состояния X при изменении сочетания факторов $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_j, \Phi_k$ описывается соотношением

$$X^{(p+1)} = X^{(p)} + L^{(p+1)}(\Phi_1, \Phi_2, \Phi_j, \Phi_k, X^{(p)}),$$

где $X^{(p)}$ – матрица характеристик состояния системы на стадии $p, p = 0, 1, 2, 3, \dots$; $L^{(p+1)}$ – оператор преобразования режима погодообразования и характеристик X на стадии $(p + 1)$.

При анализе динамики многостадийного процесса используется интегральная оценочная функция Z метеовеличины X (дискретный аналог $Z(k, n)$):

$$Z(t_1, t) = \int_{t_1}^t X(t) dt, \quad Z(k, n) = \sum_{p=k}^{k+n} X(p), \quad n = 1, 2, 3, \dots,$$

свойства которой позволяют проводить анализ изменчивости колебаний знакопеременных величин, характеризующих процесс.

Нами обоснован набор биосферно значимых оценочных характеристик климата: продолжительность вегетационного периода τ_v , периода τ_d с де-

фицитом тепла (средняя суточная температура $t_c < 10^\circ\text{C}$), сумма (активных) температур вегетационного периода Z_v , сумма температур за период t_d с дефицитом тепла Z_d , амплитуда годового хода A , экстремумы месячных температур, ритм внутрисезонных изменений температур, годовой ритм изменения сезонных (месячных) температур, ритм многолетних изменений оценочных характеристик ($Z_v, \tau_v, Z_d, \tau_d, T_y$).

Информационная модель процесса погодообразования содержит последовательность операторов климатических режимов и сопряженные с ними информационные элементы многоуровневой базы данных. Информационная модель реального климатического процесса описывает ансамбль состояний КС за многолетний интервал времени и изменения климата географического района.

В результате анализа реальных процессов с использованием этих моделей установлено, что цикл климатообразующих процессов формирует ритмы метеовеличин, которые изменяются вследствие реорганизации процессов погодообразования под влиянием множества факторов.

Детальный анализ динамики многорежимных процессов погодообразования и ритма изменения метеовеличин показал, что преобразования режимов погодообразования приводят к формированию ансамбля физических состояний КС, годовой ход которых отражается в ритме месячных температур.

На рис. 1 представлены ритмы среднемесячных и сезонных температур в г. De Bilt для различных климатических периодов: малого ледникового периода (1810–1811 гг.), периода потепления с регулярным ритмом (1871–1872 гг.) и современного 1990–1991 гг. Годовые ритмы отличаются амплитудой и частотой повторяемости экстремумов первого (\max^1, \min^1), второго (\max^2, \min^2) и третьего (\max^3, \min^3) рангов в сезонах, а также амплитудой сезонных температур. Климатологическая оценка изменчивости частоты повторяемости месячных температур для летних и зимних сезонов показала, что при потеплении возрастают частоты повторения максимумов 2-го и 3-го рангов и снижаются частоты повторения минимумов. Ритмы межгодовых изменений оценочных характеристик (в месяцах) по продолжительности ($\tau_v \rightarrow \tau_d \rightarrow \tau_v \rightarrow \tau_d$) изменяются в первом периоде (5 → 7 → 6 → 5), во втором периоде (6 → 6 → 7 → 5) и в третьем периоде (6 → 7 → 5 → 6). Для ритма на этапе 1842–1847 гг. характерны регулярность, более высокая многолетняя температура, малая амплитуда межгодовых и многолетних изменений оценочных характеристик температуры. Таким образом, из эмпирических данных следует, что чередование теплых фаз с регулярным ритмом и более холодных фаз с нерегулярным ритмом – характерная закономерность климатических изменений. Она проявляется во все времена как в периоды потепления, так и в ледниковые периоды. Обнаруженные эмпирические факты и выявленная закономерность послужили основой для разработки методик, алгоритмической и информационной технологии анализа ритмичных изменений климата.

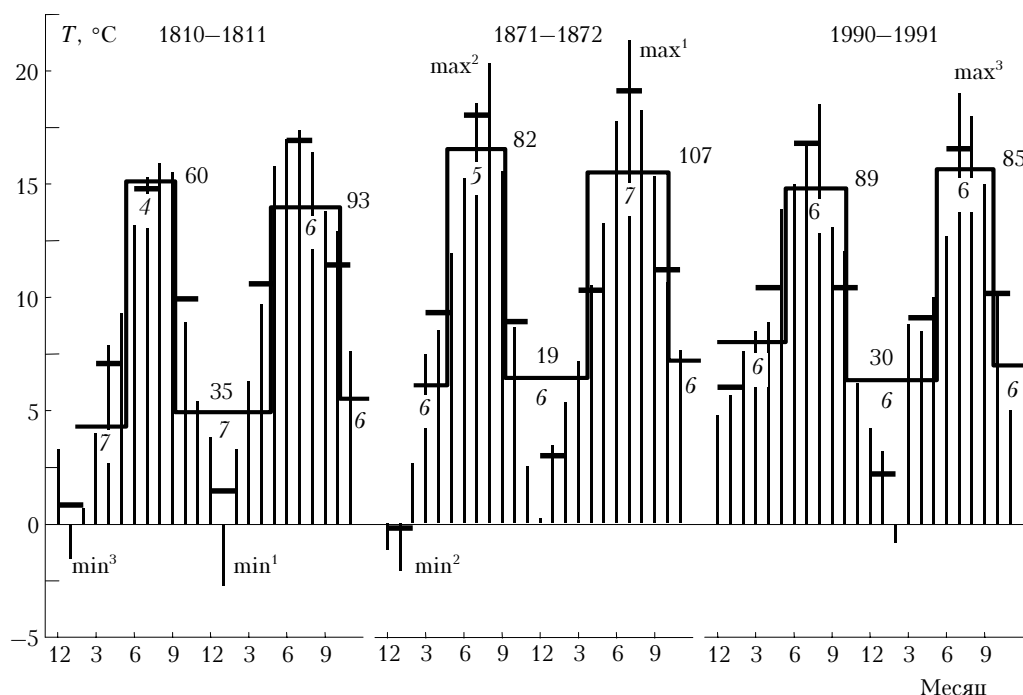


Рис. 1. Ритмы месячных, сезонных и оценочных характеристик годового цикла. Продолжительности холодного и теплового периодов года (в месяцах) указаны внутри столбцов, величины оценочных характеристик (суммы месячных температур) указаны над столбцами

2. Описание ритмичных изменений характеристик регионального климата

Ритмы сезонных характеристик климата на различных фазах векового цикла климатических изменений давления и температуры описываются набором моделей. Предложено их описание в виде последовательности экстремумов сезонных (месячных) температур. Экстремумы сезонных температур ранжируются по амплитуде. Все состояния, обозначенные в соответствии с их номерами цифрами (в рамках единого 180-летнего цикла), помещают в зависимости от ранга экстремума сезонной температуры соответствующими значками N^* — состояние N с вековым экстремумом сезонной (ме-

сячной) температуры, K' — состояние K с экстремумом температуры 1-го ранга, M'' — состояние M с экстремумом температуры 2-го ранга. Последовательность состояний N, K, M, P с экстремумами высокого ранга описывает ритм $N^* \rightarrow K' \rightarrow M'' \rightarrow P'$.

В таблице приведено описание ансамбля зимних состояний (с использованием экстремальных характеристик сезонных и месячных температур) для Санкт-Петербурга.

В соответствии с информационной моделью ритм изменений температуры на этапе 1810–1829 гг. в начале нового цикла можно описать моделью ритма типа A1: $03^* \rightarrow 04^* \rightarrow 10^* \rightarrow 13' \rightarrow 19'$, ритм изменений сезонной температуры на этапе с 1786 по 1799 г. в $N-1$ цикле моделью ритма типа

Информационная модель ансамбля экстремальных зимних состояний Санкт-Петербурга

Год	1754	1758	1760	1762	1768	1772	1776	1780	1783	1786	1787
Состояние	124 ^{''}	128 [*]	130 [*]	132 [']	138 [']	142 [']	146 [*]	150 ^{''}	153 [']	156 ^{''}	157 ^{''}
T_1	-12,9	-15,9	-17,8	-13,0	-14,4	-15,9	-19,6	-12,7	-19	-10,2	-9,4
T_w	-11,5	-12,3	-13,3	-7,0	-11,3	-11,0	-16,8	-10,3	-12,5	-10,2	-9,4
Особенности	12 [']		B'12 [*]	12 [']							
Год	1788	1789	1792	1799	1800	1805	1807	1809	1810	1813	1814
Состояние	158 ^{''}	159 [']	162 [']	169 [*]	170 ^{''}	175 ^{''}	177 ^{''}	179 [']	180 ^{''}	03 [*]	04 [*]
T_1	-10,8	-12,4	-15,5	-19,7	-13,5	-12	-10,8	-18,8	-10,9	-16,1	-21,6
T_w	-10,1	-13,9	-10,6	-13,4	-11,7	-9,8	—	-15,1	-8,3	-13,8	-8,2
Особенности				B ^{''}	B [']		B [']	B [*]	B [*]	12 [']	
Год	1816	1817	1820	1821	1823	1826	1828	1829	1834		
Состояние	06 ^{''}	07 [']	10 [*]	11 ^{''}	13 [']	16 ^{''}	18 ^{''}	19 [']	24 [']		
T_1	-14,4	-17,6	-17,4	-10,8	-13	-11,5	-12,6	-13,6	-14,4		
T_w	—	-9,6	-15,2	-9	-8,6	-8,0	-9,7	-12,1	-10		
Особенности		12 [*]	12 [*]								

С4: 156'' → 159'' → 162'' → 169'', ритм последней фазы изменений сезонной температуры на 4-м этапе в $N - 1$ цикле моделью ритма типа D4:

$$170'' \rightarrow 175'' \rightarrow 177'' \rightarrow 179''.$$

Для детального анализа особенностей изменчивости используются более полные модели, описывающие ход межгодовых изменений состояний КС, продолжительность холодного τ_d и теплого τ_v периодов года, амплитуду годового хода температуры и особенности состояний (весенние экстремумы (B^*) температур, континентальность (K), засушливость (3)). В общем виде ходы изменения состояний и продолжительности холодного и теплого периодов года описываются в виде

$$N-1^* \rightarrow N^* \rightarrow N+1''$$

$$\tau_d(N-1) - \tau_v(N-1) \bullet \tau_d(N) - \tau_v(N) \bullet \tau_d(N+1) - \tau_v(N+1).$$

Например, ритм многолетних изменений состояний климата Санкт-Петербурга по температурному режиму с учетом продолжительности сезонов на этапе 1813–1818 гг. описывается в виде

$$03^* \rightarrow 04^* \rightarrow 05 \rightarrow 06'' \rightarrow 07' \rightarrow 08$$

$$8-4 \bullet 8-4 \bullet 8-4 \bullet 8-4 \bullet 7-4 \bullet 9-4.$$

3. Методики идентификации и технология анализа ритмических изменений климата

С учетом полученных результатов проведены классификация ритмов зимних температур и их описание для регионов, обеспеченных информацией по длинным (более 180 лет) рядам наблюдений. С использованием полученных моделей проводят идентификацию ритмических изменений реальных процессов по результатам мониторинга. Для регионов Западной Сибири при наличии рядов (с пропусками) продолжительностью 120–160 лет идентификация типа ритма проводится с использованием процедур оценки подобия на основе сопоставления описания ансамбля экстремальных состояний для определенного этапа с известными (типовыми) описаниями ритмов изменений сезонной температуры. При наличии особенностей в описании ритма изменений температур новому ритму присваивается знак модификации, например ритм $B1(K)$ – модифицированный ритм $B1$ для Казани. При наличии рядов наблюдений продолжительностью менее двух этапов цикла (менее 120 лет) идентификация проводится поэтапно методом последовательных приближений. На первом этапе проводится оценка подобия экстремальных температур исследуемого региона и соседних регионов, на основе чего выбирается аналог с рядом наблюдений более 120 лет и проводится идентификация по описаниям ансамблей состояний региона аналога. Далее устанавливается по особенностям аналога модификация типа ритма у исследуемого региона путем более полного анализа характеристик всего ансамбля состояний исследуемого региона и их сопоставления с характеристиками состояний региона-аналога.

На основе разработанных моделей и методических средств развиты научно-методические основы информационной технологии анализа и оценивания ритмических процессов. Основные этапы технологии: обработка рядов данных [8], идентификация особых состояний, определение характеристик состояний, вычисление характеристик ритма, оценивание ритмических изменений характеристик, выделение этапов с определенным ритмом, определение продолжительности цикла ритмических изменений характеристик и периодичности изменений, установление закономерностей ритмических изменений и выявление особенностей их проявления в зависимости от сочетания условий и факторов. Определены требования по мониторингу ритмических изменений характеристик состояния системы для обеспечения разрешимости задач оценивания ритмических составляющих долгопериодных изменений процесса. Важнейшим является требование по продолжительности мониторинга – не менее двух периодов циклического процесса.

4. Результаты и обсуждение

В результате исследования длинных рядов метеонаблюдений, описания и анализа выявленных ритмов нами обнаружены циклы изменения сезонных температур с периодами 60, 120 и 180 лет. Установлено, что ритм формирует последовательность экстремальных состояний зимнего сезона. Определены характеристики ритмов экстремумов средней температуры зимнего сезона и месячных температур для ряда метеостанций. В результате системно-эволюционного анализа сопряженных многолетних изменений характеристик сезонных состояний региональных климатов Сибири, барико-циркуляционных условий и ледового покрова северных морей установлено, что экстремальные зимние и весенние состояния обусловлены антициклоническими режимами циркуляции в Арктике.

На формирование этих состояний определенное влияние оказывают процессы трансформации компонентов в Северном Ледовитом океане и формирования осенью барических систем при перестройках циркуляции атмосферы. Существенное значение имеет пространственная структура барического поля. Так, при дислокации антициклонического вихря вблизи морей Сибирского шельфа дрейф льдов и макродеформации ледового покрова поддерживают условия формирования устойчивого покрова в Карском море и развития антициклонической циркуляции на севере Сибири в зимний сезон [7] с выносом холодных воздушных масс далеко в глубь континента (до 50° с.ш.).

В умеренных широтах при адвекции холодных воздушных масс создаются условия формирования продолжительных устойчивых состояний с режимом трансформации выхолаживания. Глубокое промерзание грунтов влияет на составляющие теплового баланса в весенний сезон и приводит к сокращению продолжительности теплого периода года. Регулярные повторения экстремальных состояний зимнего

сезона оказывают преобладающее влияние на ход вековых изменений климата холодных регионов, теплового баланса территории и трансформации биоценозов.

Из результатов анализа длинных рядов сезонных температур следует, что в умеренных широтах Европы и Западной Сибири циклы ритмичных изменений температур повторяются. Так, экстремумы средней месячной температуры января в De Bilt (Нидерланды) наблюдались в 1716 г. — 5,1 °С, 1776 г. — 5,3, 1838 г. — 6,7, 1895 г. — 3,1 (в Туруханске —33,7, Омске — 22,1 °С). Период повторения экстремумов — 179 лет (между 1716 и 1895 гг.) точно соответствует периоду главного цикла Солнечной системы (тройного цикла движения тел вокруг центра инерции по траектории трилистника, описанного в работе А.С. Монины, Д.М. Сонечкина [3]). Это свидетельствует о реальном проявлении астрогеосферно-климатических отношений. Обнаружено типовое разнообразие проявлений ритмических вариаций. Каждый цикл содержит повторяемые через 60 лет многолетние фазы продолжительностью 6–14 лет с определенным ритмом следования экстремальных зимних и месячных состояний весенних сезонов.

Итак, установлена закономерная периодичность вековых ритмичных изменений экстремумов температур зимнего сезона и повторения этапов с характерным ритмом с периодом 60 лет.

Отдельные фазы ритма повторяются через 60 лет с небольшой модификацией. Ритм фазы многолетних изменений температурного режима и продолжительности холодного и теплого периодов года в Казани описывается моделью типа *B* на этапе 1831–1838 гг.:

31" → 32 → 33' → 34* → 35" → 36* → 37" → 38*
4–8 • 4–9 • 4–7 • 5–8 • 3–9 • 3–8 • 4–8 • 5;

моделью типа *B1* (*K*) на этапе 1891–1897 гг.:

91* → 92' → 93* → 94" → 95" → 96* → 37"
4–8 • 5–7 • 5–8 • 4–8 • 5–7 • 5–7 • 5;

моделью типа *B2* (*K*) на этапе 1950–1957 гг.:

50* → 51' → 52" → 53' → 54* → 55 → 56* → 57'
5–6 • 6–7 • 5–7 • 5–7 • 5–7 • 5–7 • 4–8 • 5.

Для каждого этапа характерно наличие трех главных экстремумов зимних месячных температур. На

последнем этапе появились дополнительно два экстремума 1-го ранга. Основные особенности модифицированных ритмов заключаются в изменении продолжительности холодного и теплого периодов года. Потепление непосредственно связано с уменьшением продолжительности холодного периода года. Таким образом, выявлена связь продолжительности холодного периода года и частоты повторения экстремумов в ритме температур и соответствующей направленности изменений средних сезонных и годовых температур, что дает основы количественной оценки направленности изменения экстремальных характеристик климата и тенденций климатических изменений.

Циклическая структура ритмичных изменений региональных климатов и их подобие тесно связаны с 180-летним циклом обращения планет Солнечной системы вокруг общего центра масс. Наибольшее подобие фаз ритма цикличности прослеживается на периодических изменениях ритма характеристик зимнего сезона, продолжительности холодного периода года, амплитуды годового хода, особенностях ритма изменения месячных (декадных) температур.

На рис. 2 приведен ход изменения средних зимних температур Санкт-Петербурга за период 1770–2005 гг. Кроме базового цикла ритмичных изменений 1810–1990 гг. представлены последние фазы предыдущего цикла и первая фаза нового цикла.

Ритмичность биосферных процессов и климата предопределена ритмичным характером регулярно изменяемых хронологических отношений планет и других тел в Солнечной системе. Под воздействием на оболочки геосферы сил гравитации, солнечного ветра, потоков излучения и космических частиц происходят вариации (всплески) геофизических полей [2, 3], изменения процессов энергопреобразования в компонентах геосферы и энергообмена между их элементами, что приводит к реорганизации циклов энергомассопереноса в атмосфере, океане, геосистемах, к изменению круговоротов воды и химических элементов. Под влиянием вынуждающих сил, а также изменений характера процессов взаимодействия потоков и геофизических полей в условиях изменяющихся внутрисистемных отношений формируются градиенты поля давления [2], что влияет на энергетику движущихся воздушных и водных масс.

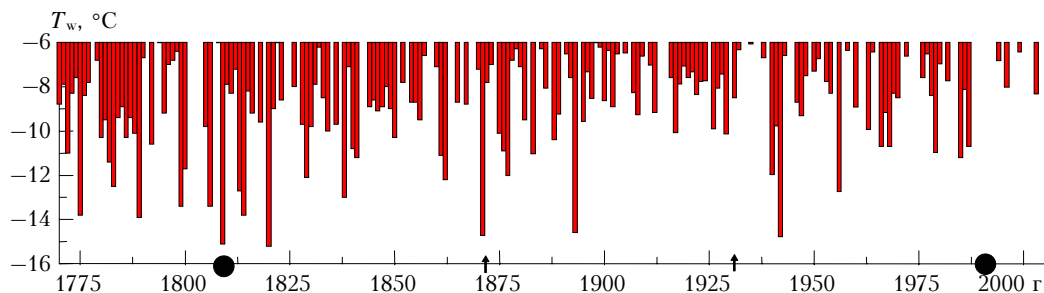


Рис. 2. Ритмы средних температур зимнего сезона г. Санкт-Петербурга. ● — начало главного солнечного цикла

Известно, что кинетическая энергия общей циркуляции атмосферы и океана зависит от градиента давления [1] и малые вариации давления за счет пространственной неоднородности термодинамических параметров могут изменять энергетику движущихся воздушных масс и барических систем. В высоких широтах, особенно в Арктике, доля приходящей радиации в энергетическом балансе мала по сравнению с кинетической энергией движения воздушных и водных масс, которая в значительной мере определяет энергомассоперенос и вынос холодных воздушных масс в глубь континента. Кроме того, под действием механизма трансформации антропогенно загрязненных сред происходит изменение физических свойств верхних слоев атмосферы (например, при воздействии протонов и нейтронов на аэрозоли антропогенного происхождения) и термодинамических характеристик отдельных слоев. Формирование пространственной неоднородности термодинамических характеристик приводит к изменению направлений движения воздушных масс и характера циркуляции [1], что вызывает дезорганизацию цикла климатообразующих процессов и нарушение ритма.

Климатическая система изменяется по законам эволюционной трансформации многосвязных систем с взаимодействующими компонентами. Изменения пространственной структуры компонентов, их позиционных, функциональных отношений приводят к преобразованиям процессов энергомассообмена и реорганизации как общего цикла процессов энергомассопереноса, реализуемого в рамках глобальных круговоротов, так и процессов циркуляции вод в океане, воздушных масс в атмосфере, местного теплооборота. При незначительных изменениях цикла энергомассопереноса мезомасштабные циркуляционные процессы и теплооборота порождают нестационарные многофазные ритмичные процессы погодообразования разного типа в региональных КС и многообразие климатических условий.

На этапах нестационарной динамики [3] слабо согласованного движения тел Солнечной системы их возмущающие воздействия нарушают организацию цикла и регулярность ритма климатообразующих процессов. При этом происходит похолодание (увеличение продолжительности холодного периода года и повышение частоты состояний с отрицательными экстремумами температур зимних месяцев) при преобладании роли климатообразующих факторов Арктики.

При значительных многолетних изменениях энергомассопереноса, сопряженного с изменениями ледяного покрова морей Северо-Западного сектора Арктики, в 60-х гг. XX в. наблюдались однотипные изменения оценочных характеристик региональных климатов Сибири и Урала [6]. Ритм многолетних изменений экстремумов зимних и весенних (месячных) температур холодной фазы 1844–1859 гг., содержащий главные вековые экстремумы, повторился через 119 лет на этапе 1963–1979 гг. В этот период наблюдался рост ледовитости в Арктике, в Баренцевом и Карском морях.

Потепление наступает при восстановлении организации цикла и регулярного ритма климатообразующих процессов (сокращение продолжительности холодного периода года, уменьшение частоты экстремумов температур зимнего сезона) после окончания влияния внешнего воздействия импульсного типа. Приращения сезонных и годовых температур зависят от состояния океана, пространственной структуры водных масс, площади ледового покрова и зон опреснения, определяющих конвекцию и теплообмен океана с атмосферой [6], от интенсивности зональной циркуляции и эффективности энергомассопереноса между океаном и материком. Уменьшение частоты повторяемости экстремальных зимних температур и потепление с 90-х гг. XX в. связаны с особенностями ритма фазы А, который характеризуется чередованием интервалов с регулярным ритмом и интервалов с частым повторением главных экстремумов зимних сезонных (месячных) температур. Подтверждением этого являются экстремумы зимних температур в 2001, 2003 и 2006 гг. В январе 2006 г. главные вековые экстремумы средней месячной температуры наблюдались в регионе Сибири: в Туруханске $-37,6$, в Салехарде $-30,1$, в Тарко-Сале $-37,3$, в Колпашево $-33,8$ и в Енисейске $-31,0$ °С.

Итак, на современном этапе потепления наблюдаемые изменения средней многолетней температуры содержат ритмичную составляющую, которая наложилась на вековой тренд. Особенности современного потепления Сибири — тенденция формирования регулярного ритма (с 1994 г. в южных районах ниже 56° с.ш.), устойчивого к экстремальным зимним состояниям, и увеличение продолжительности вегетационного периода, что имеет биосферно значимые и важные социальные последствия. Характерной чертой потепления является повышение температур мая (выше $+10$ °С) с 1987 г. Такое состояние региональных климатов Сибири наблюдается впервые за 120 лет, возможно и за последнее тысячелетие.

Ритмичные изменения сезонных характеристик являются основными составляющими короткопериодных и вековых изменений климата и требуют особого учета как при оценке наблюдаемых климатических изменений (трендов), так и при прогнозировании будущих состояний. Результаты предварительного сопоставительного анализа, идентификации и оценивания показали, что на интервале с 1978 по 1990 г. (фаза Е цикла) средние приращения температуры по сравнению с прошлым периодом 1798–1810 гг. составили в Вроцлаве (Польша) $0,6$ °С, в De Bilt (Нидерланды) $1,08$ °С за 180 лет. На современном этапе 1991–2005 гг. (фаза А) по сравнению с этапом 1811–1825 гг. средние многолетние приращения годовых температур составили в Вроцлаве $0,72$ °С, в De Bilt $1,1$ °С, в Казани $1,4$ °С.

Выводы

1. Выявленная ритмичность изменения температурного режима приземной атмосферы с перио-

дом цикла 179 лет, равным периоду главного солнечного цикла, свидетельствует о проявлении астрогеосферно-климатических отношений и существенном влиянии астрономических факторов на многолетний ход вариаций сезонных температур воздуха и короткопериодные колебания климата в рамках цикла и 60-летних этапов.

2. На этапах нестационарной динамики слабо согласованного движения тел Солнечной системы их возмущающие воздействия изменяют организацию цикла процессов энергомассопереноса, нарушают регулярность ритма климатообразующих процессов и происходит похолодание (увеличение продолжительности холодного периода года и повышение частоты состояний с отрицательными экстремумами температур зимних месяцев) при преобладании роли климатообразующих факторов Арктики и меридиональной циркуляции. Изменения сезонных метеовеличин зависят от состояния океана, пространственной структуры водных масс, площади ледового покрова и зон опреснения, определяющих конвекцию и теплообмен океана с атмосферой, интенсивность энергомассопереноса между океаном и материком.

3. Особенности современного потепления Сибири — тенденция к формированию регулярного ритма (с 1994 г. в южных районах ниже 56° с.ш.), устойчивого к экстремальным зимним состояниям, и увеличение продолжительности вегетационного периода, что имеет биосферно значимые и важные социальные последствия.

4. Интервальная оценка приращений температур в однотипные фазы цикла свидетельствует об умеренных темпах потепления в регионах Европы: 0,6–1,4 °C за 180 лет.

В работе использованы данные Национального центра климатических данных (США) «National Climatic Data Centre» (lwf.ncdc.noaa.gov).

1. Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 351 с.
2. Иванов В.В. Периодические колебания погоды и климата // Успехи физ. наук. 2002. Т. 172. № 7. С. 777–812.
3. Монин А.С., Сонечкин Д.М. Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы. М.: Наука, 2005. 191 с.
4. Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 4. Природно-климатические изменения / Под общ. ред. М.В. Кабанова. Томск: МГП «РАСКО», 2000. 270 с.
5. Дюкарев Е.А., Кабанов М.В., Шишлов В.И. Системно-эволюционный анализ региональных климатических изменений // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15. № 1. С. 29–35.
6. Шишлов В.И., Дюкарев Е.А. Анализ и интерпретация климатических изменений // Вычислительные технологии. 2004. Т. 9. Ч. 1. С. 58–70.
7. Захаров В.Ф. Изменения в распространении морских арктических льдов в XX веке // Метеорол. и гидрол. 2003. № 5. С. 75–86.
8. Шишлов В.И., Дюкарев Е.А. Обработка результатов мониторинга и отображение изменений климата // Геогр. и природ. ресурсы. Спец. выпуск. 2004. С. 261–266.

Shishlov V.I. Analysis and estimation of rhythmic climatic changes.

The system-evolutionary approach to description, analysis and estimation of climatic changes using results of processing of instrumental observations are discussed. Techniques for identification and technologies for analysis of rhythms in long-term changes of temperature regime are suggested. The techniques use a description of a sequence of states with extremes of seasonal (monthly) temperatures, the behavior of long-term changes in duration of cold and warm seasons. Examples and results of analysis of rhythmic temperature changes are given: the cyclic changes of winter temperature extremes with a period equal to the main solar cycle (179 years); features of warming in Siberia with stable tendency to regular rhythm formation. The interval estimation of regional warming rates based on the temperature increases in equitype phases of cycle gives values between 0,6 and 1,4 °C for the last 180 years.