

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 551.583

Н. Н. ЧЕРЕДЬКО

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

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В АЛТАЙСКОМ РЕГИОНЕ

Проанализирована динамика температуры по актуальным данным со станций Алтайского региона. Проведенное исследование показало, что изменения климатических характеристик в регионе происходят синхронно. Синхронность в изменении составляющих температурных рядов на всех рассмотренных станциях характеризуется высокой связностью каждой из составляющих с соответствующим типовым полем. Выявлено, что часть изменчивости рядов температуры, описываемая скрытыми периодичностями, составляет в среднем 1,3 %, что гораздо больше влияния трендов, которое для большинства станций не превышает 0,3 %. Наибольший вклад в изменения температуры в Алтайском регионе вносят гармоники с периодом 20 лет (средние годовые), 40 и 9 лет (зимние), 18 лет (летние), 5–8 лет (осень, весна). Получен долгосрочный прогноз изменения температуры воздуха в регионе до 2030-х гг.

Ключевые слова: Алтайский регион, синхронность изменения климата, цикличность температуры, составляющие температурных рядов, отклик на внешние воздействия, метод главных компонент.

An analysis is made of the temperature dynamics using current data from stations in the Altai region. The study revealed that the climatic characteristics in the region undergo synchronous changes. The synchronicity in changes of the components of temperature series for all the stations under consideration is characterized by a high connectivity of each of the components with a corresponding type field. It is found that a part of the variability of the temperature series described by hidden periodicities averages 1.3 %, and this is much larger than the influence of trends which does not exceed 0.3 % for most of the stations. The largest contribution to temperature variations in the Altai region is made by harmonics with a period of 20 years (mean annual), 40 and 9 years (winter), 18 years (summer), and 5–8 years (autumn, spring). A long-term forecast of air temperature changes in the region into 2030 is made.

Keywords: Altai region, synchronicity of climate change, temperature cyclicity, components of temperature series, response to external impacts, principal component method.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современное экономическое планирование неэффективно без учета информации о свойствах среды обитания, экологическое состояние которой характеризуется состоянием отдельных компонент экосистемы планеты. Это выводит задачи диагноза, генезиса и прогноза изменений климатической компоненты геосистем различного масштаба в ряд важнейших глобальных экологических проблем.

До сих пор нет единого мнения о причинах современных климатических изменений. На этот счет существует большое количество гипотез. Часть ученых поддерживает концепцию Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), декларирующую глобальное потепление с конца XIX в., объясняя его антропогенным увеличением концентрации в атмосфере парниковых газов, главным образом углекислого (CO_2), и приводя в качестве наиболее веского аргумента в пользу своей теории «беспрецедентно» большую скорость потепления [1]. Другие исследователи утверждают, что рост концентрации CO_2 — следствие роста температуры [2–4] и что изменения содержания CO_2 в атмосфере довольно малы и могут служить только спусковым механизмом каких-либо изменений климата [5]. Говорится о неадекватности учета в докладах МГЭИК процессов и количественной оценки роли атмосферного аэрозоля и облаков в системе «атмосфера–гидросфера–криосфера» [6, 7].

Одна из новейших гипотез в проблеме поиска определяющих факторов климатических изменений основана на свойствах интермедиатов Криге, обнаруженных в атмосфере Земли [8], которые приводят к формированию аэрозолей, поскольку являются сильными окислителями загрязнителей атмосферы, например двуокиси азота и двуокиси серы. По мнению авторов статьи [8], увеличение количества интермедиатов Криге способно не только замедлить потепление, но и привести планету к глобальному похолоданию. Алармистов упрекают и в отсутствии обоснования колебательных изменений климата в голоцене, объяснений причин потепления с конца 1890-х по 1940-е гг. (при еще незначительном антропогенном вкладе) и понижения глобальной температуры в период с 1940-х по начало 1970-х гг. на фоне непрерывного роста антропогенного влияния. «Беспрецедентность» скоростей современных изменений, декларируемая МГЭИК, также оспаривается рядом исследователей, которые приводят данные о быстрых, внезапных изменениях климата в прошлом и об отличии температуры в них от современной на 1–3 °С при потеплениях и на 9–10 °С при похолоданиях [9–15]. Таким образом, значительное число ученых придерживается мнения о естественной природе колебаний климата, направленность и периодичность которых задаются внешними и внутренними факторами и их сочетаниями.

Обзор исследований по вопросам цикличности природно-климатических процессов, механизмов ее проявления и причин, ее обуславливающих, заслуживает отдельной крупной публикации. В целом можно выделить две основные группы «генераторов» колебаний в оболочках планеты, в частности в климатической. С одной стороны, геосфера испытывает внешние и внутренние воздействия, которые выводят системы различного уровня из равновесного состояния, с другой — природные системы характеризуются способностью понижать свою энтропию благодаря действию обратных связей, отрицательных и положительных, оставаясь в пределах своих динамических равновесных состояний. Основные аргументы при критике существования и значимости циклов климата сводятся к тому, что мощность атмосферных процессов на несколько порядков выше, чем вариации энергии при изменении внешних воздействий. Однако уже показано [16], что энергия, необходимая для создания атмосферных возмущений, на несколько порядков меньше мощности вызываемых ею изменений. Критике подверглись также неудовлетворительные оценки корреляции природно-климатических процессов и солнечных параметров, изменение знака корреляций или их полное исчезновение в различные периоды. Но наличие эмпирической корреляции не объясняет ее причины, т. е. не всегда является необходимым звеном, особенно в такой сложной системе, как космо-земные связи. Достоверное установление квазипериодических регулярных колебаний подтверждает существование устойчивых механизмов регуляции либо внутри самой системы (авторегуляция), либо в процессах, оказывающих на нее сильное влияние и связанных с ней причинно-следственными связями.

Работы по выявлению цикличности и взаимосвязи изменений климата в Алтайском регионе с космическими факторами, в частности с солнечной активностью (СА), немногочисленны. Н. Ф. Харламовой [17, 18] с использованием метода скользящих средних выделены циклы в изменениях температуры воздуха и сумм осадков по данным станции Барнаул, как основной указан вековой (80-летний) цикл. Минимумы температуры в Барнауле сопоставляются с максимумами СА, при этом температурные изменения составляют около 0,6 °С [17]. Н. А. Кочевой [19] установлена связь грозовой активности на Алтае с 11-летним циклом СА. Авторами [20] обнаружены прямые и обратные разноразностные связи СА и гидрохимических показателей воды Телецкого озера и его основных притоков. В работе [21] обнаружена 6-летняя цикличность пониженной и повышенной пожарной опасности в лесах Горного Алтая. Данные палеорекострукций различного типа [22, 23] показали, что в голоцене в рассматриваемом регионе происходили неоднократные колебания климата, совпадающие с основными глобальными тенденциями и сходные по скорости изменения с современным потеплением; кроме того, отмечается совпадение фаз похолодания с низкой СА.

В ближайшие 30–50 лет для Алтайского региона прогнозируется повышение годовой и сезонных температур на 2–5 °С [24–26]. На основе анализа низкочастотных циклов температуры, восстановленных по ледниковым данным, авторы [23] прогнозируют в ближайшем будущем потепление на 0,2–0,3 °С и дальнейшую аридизацию юга Западной Сибири, а через 50–100 лет, по заключению этих ученых, ожидается не глобальное потепление, а похолодание, сравнимое с малым ледниковым периодом.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

В настоящей статье анализируются периодичности, скрытые в динамике теплового режима геосистемы Алтайского региона, включающего территории Алтайского края и Республики Алтай, с целью получения на основе выявленных закономерностей прогноза температурных тенденций в регионе.

Использованы данные измерений приземной температуры на 35 станциях Алтайского региона за период 1961–2010 гг.

При анализе рядов данных предполагается наличие в них определенной структуры, т. е. сформированность каждого значения ряда различными составляющими. Модель разложения рядов [27], выбранная как наиболее физически обоснованная, расширена здесь до четырех составляющих. Принцип разложения рядов базируется на предпосылке, что значения поля, порожденные процессами меньшего масштаба, колеблются около величин, сформированных процессами большего масштаба. В итоге значения климатических характеристик любого месяца (здесь — средние месячные значения температуры) можно представить в виде: $f(t) = f_{tr}(t) + f_m + f_g(t) + ost$, где $f_{tr}(t)$ — величина долгосрочного тренда температуры, f_m — годовой ход (сезонная составляющая): среднее значение температуры конкретного месяца t в годовом ходе, $f_g(t)$ — скрытые периодичности, ost — остаточная составляющая.

Первоначально была поставлена задача оценить, насколько синхронно изменяются составляющие временных рядов средней температуры в регионе. Для решения этого вопроса применен метод главных компонент, который предложено использовать в таком качестве в работе [28]. Для упрощения анализа составляющие $f_g(t)$ и ost были объединены в компоненту отклонения ($f_o(t)$). Таким образом, составляющие поля температуры воздуха в регионе исследования описываются одной (первой) компонентой (см. таблицу). Причем доля объясненной компонентами изменчивости рядов, характеризующаяся собственным числом, варьирует от 74,6 % (отклонения) до 100 % (долгосрочный тренд). Полученная высокая связность составляющих (тренда и сезонной) на всех рассмотренных станциях с типовым полем показывает, что крупные направленные изменения температуры происходят в Алтайском регионе синхронно, т. е. формируются процессами глобального масштаба. Кроме того, даже такие изменчивые составляющие, как отклонения, по территории изменяются синхронно, а значит,

Характеристики разложения полей температуры и осадков на ортогональные составляющие на некоторых станциях Алтайского региона

Станция	Характеристики компонент							
	T		f_m		$f_{tr}(t)$		$f_o(t)$	
	a	R	a	R	a	R	a	R
Барнаул	0,2	0,8	0,2	1,0	0,1	1,0	0,2	0,5
Алейск	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0
Бийск-Зональная	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0
Благовещенка	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0
Змеиногорск	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0
Камень-на-Оби	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,8
Ключи	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,8
Кулунда	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0
Рубцовск	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0
Славгород	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0
Солонешное	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,9
Чарышское	0,2	0,9	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,9
Шелаболиха	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0
Горно-Алтайск	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0
Катанда	0,2	0,8	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,7
Кызыл-Озек	0,2	0,8	0,2	1,0	0,3	1,0	0,2	0,8
Онгудай	0,1	0,7	0,2	1,0	0,1	1,0	0,1	0,7
Турочак	0,2	0,9	0,2	1,0	0,3	1,0	0,2	0,9
Усть-Кокса	0,2	0,8	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,8
Чемал	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,9
Яйлю	0,2	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	0,1	0,8
Собственное число, %	84,0		98,6		100,0		74,6	

Примечание. T — средняя годовая температура, a — собственный вектор компоненты; R — коэффициент корреляции компоненты с фактическим полем.

пространственный масштаб процессов, формирующих их, превышает масштабы исследуемой территории. Отношения дисперсий составляющих к дисперсии исходного ряда, отражающие вклад каждой компоненты в общую изменчивость ряда, показали, что порядка 1,3 % изменчивости рядов температуры описывается скрытыми периодичностями. Конечно, это несоизмеримо со вкладом годового хода (более 90 %), но гораздо больше влияния трендов, которое для большинства станций не превышает 0,3 %. В работе [29] в пределах исследуемой территории были выявлены районы, включающие станции с однотипной временной динамикой и наиболее тесной связью изменений климатических характеристик. Компонентный анализ каждого класса станций в отдельности показал, что внутри выделенных районов степень синхронности изменений температуры возросла в среднем на 10 % по сравнению с произведенными оценками для всего региона в целом.

Полученные результаты по синхронности в динамике таких изменчивых составляющих полей, как отклонения, а также выявленный существенный вклад периодичностей в общую изменчивость рядов подтверждают необходимость более подробного исследования цикличности в рядах температуры. Действительно, атмосфера Земли не автономна, а подвержена внешним гелиогеофизическим воздействиям, эффекты которых должны проявляться в динамике климатических параметров. С целью выделения составляющих временных рядов температуры, характеризующих периодичности, и получения их характеристик в данной работе используется алгоритм, предложенный в [30] и описанный в [31]. Существование гармоник считается следствием наложения действия независимых вибраторов. Временной ряд аппроксимируется гармоническими функциями с периодом, определяющимся в процессе исследования, т. е. не зависящим от длины ряда, что ограничивает в этом смысле использование быстрого преобразования Фурье. Кроме того, данная технология выделения циклов во временных рядах гораздо объективнее методов визуальной оценки цикличности и позволяет избежать относительной трудоемкости вейвлет-анализа. Представление процесса в виде суммы гармоник и остатка (непериодической функции) оптимально соответствует описанию природных процессов, которые в действительности не чисто периодические, а почти или «квазипериодические». Их особенности — следствие действия нескольких факторов, а также наличия обратных связей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

При выявлении скрытых периодичностей применительно к рядам средних годовых температур на станциях Алтайского региона ведущими, т. е. вносящими наибольший вклад в изменение температуры, для большинства станций оказались 20- и 9-летняя гармоники. Использование метода главных компонент также позволяет существенно сократить объем информации, в частности, при представлении результатов исследований: временной ход компоненты отражает все особенности временной динамики исходных рядов температуры для станций, входящих в соответствующий класс. Так, колебания температуры на станциях первого класса, к которым относится большинство станций равнинной части региона, могут быть представлены одной кривой — временным ходом первой главной компоненты (рис. 1).

Колебания температуры в регионе в 20-летнем цикле имеют наибольшую амплитуду (см. рис. 1), примерно 0,6 °С, что сравнимо с оценками трендов, на которых строятся прогнозные модели. Цикл такого периода может быть откликом теплового поля региона на влияние периодичности последовательных соединений Сатурна и Юпитера по отношению к Солнцу. Минимумы во временном ходе температуры в 20-летнем цикле соответствуют годам противостояния Юпитера и Сатурна (1971, 1991 и 2011) [13, 15], а максимумы — годам соединения этих планет (1961, 1981, 2001). Периодам минимума 20-летнего цикла отвечают похолодания, а периодам максимума — потепления. Общий фон нарушается влиянием 9-летнего цикла, максимумы и минимумы которого вызывают флуктуации температуры в противофазе основным тенденциям (см. рис. 1). Временной ход 20-летней гармоники совпадает для всех станций. Таким образом, при условии достаточно точного расчета прогноза дат соответствующих конфигураций планет, выявленную закономерность можно использовать в долгосрочном прогнозировании.

В числе десяти гармоник, вносящих наибольший вклад в изменения годовой температуры, на всех станциях выявились гармоники с периодами порядка 2–5, 6–8, 14 и 40 лет. Набор ведущих гармоник сходен на всех станциях, различия проявляются в степени влияния той или иной периодичности на амплитуду колебаний температуры конкретной станции.

В колебаниях зимних температур на большинстве станций наиболее значимы циклы продолжительностью около 40 и 9 лет. Так, с периодом около 9 лет на станциях Алтайского региона наблюда-

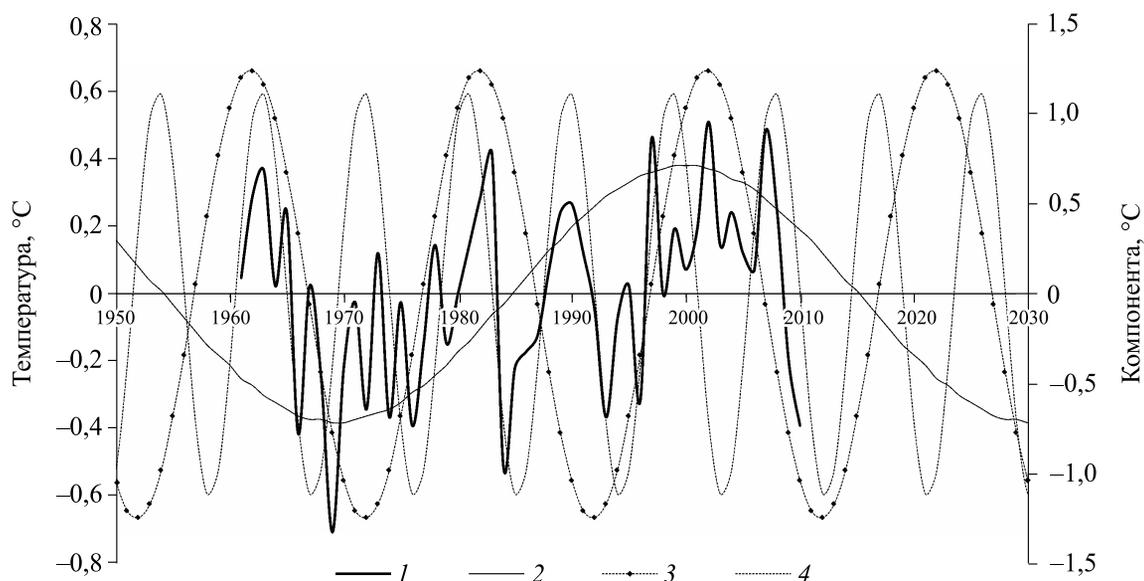


Рис. 1. Временной ход первой главной компоненты рядов температуры для станций первого класса (1), 60- (2), 20- (3) и 9-летней (4) гармоник.

ются холодные и теплые зимы, а в периоды минимумов полувекового цикла суровость зим возрастает. Очень холодные зимы последних лет обусловлены минимумом зимних температур в 40-летнем цикле. Совпадение во временном ходе 9-летних гармоник, выявленных в рядах средних годовых и зимних температур, во многом объясняет зависимость общего тренда от тенденций температуры в зимние месяцы. Значительные летние потепления и похолодания на большинстве станций происходят с 18-летней периодичностью. В переходные сезоны погода характеризуется большей неустойчивостью, динамику температуры этих месяцев определяют короткопериодные ритмы: 5–7-летние — весной и 6–8-летние — осенью.

Особый интерес для исследований цикличности представляют длиннорядные станции, их данные позволяют выявлять гармоники большей продолжительности. Для станций Алейск, Рубцовск, Усть-Кокса мы располагаем данными по температуре воздуха с 1936 г., а по станции Барнаул, одной из старейших в Азии, — с 1838 г. В исследованиях Н. Ф. Харламовой отмечается, что станция Барнаул может считаться репрезентативной для территории внутриконтинентальных районов не только России, но и Азии. Этот вывод подтверждается связностью изменения всех составляющих температурных рядов на станциях Алтая, выявленной выше.

На основании данных длиннорядных станций выявлен 60-летний цикл, в котором изменения температуры не превышают $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этот цикл во временном ходе в настоящее время миновал свой максимум (см. рис. 1) и находится на стадии спада, что в сочетании с минимумом 20- и 9-летнего циклов способствовало похолоданию зимних месяцев и годовой температуры в последние годы. Проявление цикла с периодом 60 лет в изменениях климата региона может быть откликом тепловых полей на эффекты, связанные с влиянием полного цикла соединения в пространстве Юпитера и Сатурна по отношению к Солнцу [15, 32, 33]. Каждые 60 лет соединение планет происходит на гелиодолготах, близких к наименьшему расстоянию между их перигелиями, т. е. в это время планеты находятся на минимальном расстоянии от Солнца и их возмущающий момент наибольший [13]. Возникающая при этом диссимметрия центра масс Солнечной системы и Солнца вызывает вариации СА и интегрального потока солнечного излучения, что, в свою очередь, способствует крупномасштабной перестройке общей циркуляции атмосферы, приводя к началу новой эпохи циркуляции и, соответственно, климата. Как показано в ряде работ, этот цикл является наиболее устойчивым [15, 33, 34]. Фазой роста температуры в 60-летнем цикле обусловлено потепление, наблюдавшееся с начала 1970-х по начало 2000-х гг. Период похолодания в середине прошлого века также совпадает с ветвью спада и минимумом 60-летнего цикла.

При резонансных сочетаниях гармоник различной продолжительности наблюдаются наиболее выраженные экстремумы температуры. Эта закономерность касается всех рассмотренных станций.

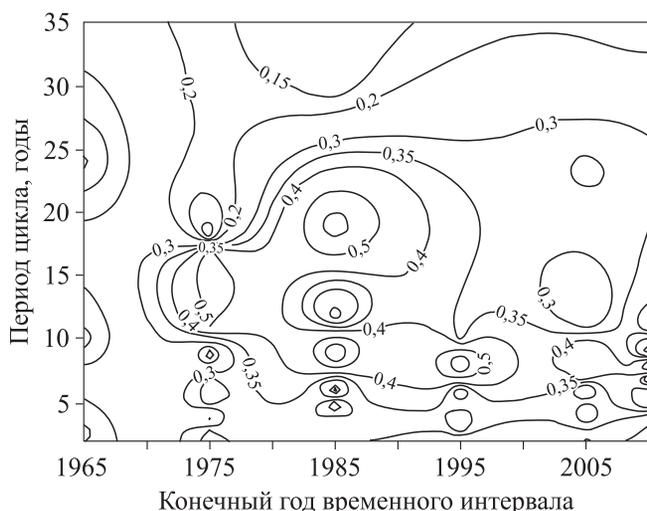


Рис. 2. Амплитуда гармоник, выявленных в рядах температуры воздуха в Барнауле для различных временных интервалов.

Так, глубокий минимум температуры в 1969 г. пришелся на период наложения минимумов в 60-, 20- и 9-летнем циклах (см. рис. 1). Совпадение по фазе этих циклов возможно просчитывать и использовать в прогнозировании. Знание естественных частот колебаний в структуре рядов позволяет расширять возможности прогностических моделей.

Подчеркнем, что рассмотренная модель, как и другие математические модели, позволяет достаточно точно описывать процессы на

заданном временном интервале, но для применения полученных связей при экстраполяции и интерполяции необходимы четкий контроль и наличие физического обоснования. Проверка устойчивости выявленных колебаний осуществлялась путем выявления циклов по данным различных временных интервалов, смещенных по пятилетиям, и двух неперекрывающихся периодов — 1936–1965 и 1966–2010 гг. В результате получено, что циклы, выявленные по каждому из периодов (рис. 2), в целом соответствуют циклам, установленным по всему ряду, а временной ход соответствующих гармоник, полученных на разных участках временного ряда, совпадает.

На рис. 2 видно, что практически в любой из периодов очаги повышенных значений амплитуды соответствуют одному и тому же набору циклов: с периодами 2–5, 6–8, 9, 14 и 20 лет. Таким образом, принимаем гипотезу об устойчивости полученной гармонической модели.

На основе выявленных закономерностей, в предположении об их устойчивости, составлен фоновый сверхдолгосрочный прогноз температурных тенденций для Алтайского региона. Похолодание зимних месяцев и понижение годовой температуры в последние годы соответствуют понижению температуры в 60-летнем цикле в сочетании с ее минимумом в 20- и 9-летних циклах. Тенденция похолодания сохранится еще около пяти лет. Затем, к 2021 г., в 20-летнем цикле ожидается потепление. С середины 2020-х гг. начнется очередное похолодание, которое достигнет своего минимума в начале 2030-х гг., когда совпадут минимумы трех основных температурных циклов. Данные тенденции можно ожидать на станциях всего региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что изменения приземной температуры воздуха на всех станциях Алтайского региона происходят синхронно. При этом согласованность изменения составляющих температурных рядов характеризуется высокой связностью каждой из составляющих с соответствующим типовым полем. Полученные в работе результаты свидетельствуют об отчетливом температурном отклике в Алтайском регионе на внешние воздействия различных масштабов. Сторонники геоцентрического мировоззрения, полагающие, что процессы на Земле развиваются независимо от внешних воздействий, и связывающие современные климатические изменения с влиянием человеческой деятельности, ограничивают предел предсказуемости климата. Используемые в официальных прогнозах климатические модели имеют статистический характер и не учитывают эффектов цикличности.

Отсутствие на данном этапе четких знаний о механизмах проявления циклов не должно препятствовать решению проблемы прогнозирования изменений климата с их учетом. Короткие циклы, возможно, мало влияющие на глобальные процессы, вполне существенны для хозяйств регионов. Так, для сельского хозяйства представляет интерес информация о колебаниях температуры на период около 5–10 лет. Циклы больших периодов создают фон глобальных изменений и формируют основные крупномасштабные долговременные тенденции, что важно учитывать, например, в капитальном строительстве зданий, дорог, мостов и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МГЭИК, 2007: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Электронный ресурс]. — http://www.ipcc/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_ru.pdf (дата обращения 11 марта 2013).
2. Борисенков Е. П., Кондратьев К. Я. Круговорот углерода и климат. — Л.: Гидрометеоздат, 1988. — 319 с.
3. Дымников В. П. Чувствительность климатической системы к малым внешним воздействиям // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 4. — С. 77–92.
4. Сорохтин О. Г. Эволюция климата Земли и происхождение ледниковых эпох // Вестн. РАН. — 2006. — Т. 76, № 8. — С. 699–706.
5. Бойченко С. Г., Волошук В. М. Колебания климата и вековая динамика содержания углекислого газа в земной атмосфере // Геофиз. журн. — 2005. — Т. 27, № 1. — С. 172–185.
6. Кондратьев К. Я. Неопределенности данных наблюдений и численного моделирования климата // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 4. — С. 93–119.
7. Логинов В. Ф. Пространственно-временные закономерности глобальных изменений температуры и их возможные причины // Изв. Иркут. ун-та. — 2008. — Т. 1, № 1. — С. 8–21.
8. Welz O., Savee J. D., Osborn D. L. et al. Direct kinetic measurements of Criegee intermediate (CH₂OO) formed by reaction of CH₂I with O₂ // Science. — 2012. — Vol. 335, N 6065. — P. 204–207.
9. Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. — М.: Мысль, 1988. — 522 с.
10. Broecker W. S., Clark E., McCorkle D. C. et al. Evidence for a reduction in the carbonate ion content of the deep sea during the course of the Holocene // Paleoclimatology. — 1999. — Vol. 14. — P. 744–752.
11. Кислов А. В. Климат в прошлом, настоящем и будущем. — М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. — 351 с.
12. Анисимов О. А., Борзенкова И. И., Ванденберге Дж. и др. Быстрое потепление климата на границе позднеледниковья–голоцена как возможный аналог изменения климата и окружающей среды в первой четверти XXI века // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 12. — С. 31–41.
13. Дмитриев А. А., Белязо В. А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. — СПб.: Гидрометеоздат, 2006. — 360 с.
14. Борзенкова И. И., Жильцова Е. Л., Лобанов Т. В. Вариации климата внетропической зоны Северного полушария в последние 1000 лет: анализ данных и возможных причин // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — 2012. — Вып. 24. — С. 132–153.
15. Scafetta N. A shared frequency set between the historical mid-latitude aurora records and the global surface temperature // Journ. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. — 2012. — N 74. — P. 145–163.
16. Пудовкин М. И. Влияние солнечной активности на состояние нижней атмосферы и погоду // Сорос. образоват. журн. — 1996. — № 10. — С. 106–113.
17. Харламова Н. Ф. Современные изменения климата внутриконтинентальных районов России // Изв. Алт. ун-та. — 2006. — Вып. 41, № 3. — С. 47–52.
18. Харламова Н. Ф. Долговременные климатические изменения на внутриконтинентальной территории России (Алтайский регион) // Изв. Алт. ун-та. — 2010. — Вып. 67, № 3 (1). — С. 133–140.
19. Кочеева Н. А. Влияние природно-техногенных систем на грозоактивность Горного Алтая: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Томск, 2002. — 23 с.
20. Робертус Ю. В., Шевченко Г. А. Зависимость гидрохимических показателей Телецкого озера и его притоков от солнечной активности // Вестн. Том. пед. ун-та. — 2009. — Вып. 11(89). — С. 194–197.
21. Терехов М. А. Оценка экологического состояния и возобновительного потенциала хвойных пород (на примере Северо-Восточного Алтая): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Барнаул, 2009. — 48 с.
22. Калугин И. А., Дарьин А. В., Бабич В. В. 3000-летняя реконструкция средней годовой температуры Алтайского региона по литолого-геохимическим индикаторам донных осадков оз. Телецкое // Докл. РАН. — 2009. — Т. 426, № 4. — С. 520–522.
23. Галахов В. П., Назаров А. Н., Ловцкая О. В., Агатова А. Р. Хронология теплого периода второй половины голоцена Юго-Восточного Алтая (по датированию ледниковых отложений). — Барнаул: Азбука, 2010. — 68 с.
24. Парфенова Е. И., Чебакова Н. М. Возможные изменения растительности Горного Алтая при потеплении климата и составлении прогнозных карт // Геоботаническое картографирование 1998–2000. — СПб.: Изд-во Ботан. ин-та РАН, 2000. — С. 26–30.
25. Егорина А. В. Барьерный фактор в развитии природной среды гор. — Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2003. — 342 с.
26. Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / Под ред. А. О. Кокорина. — М.: WWF России, 2011. — 168 с.
27. Задде Г. О., Кусков А. И. Разложение временных рядов на составляющие // Тез. докл. Сиб. совещ. по климату-экологическому мониторингу. — Томск: Изд-во Том. науч. центра СО РАН, 1995. — С. 66–67.

28. **Кусков А. И., Катаев С. Г.** Закономерности современных изменений теплового поля в приземном слое атмосферы Сибири и на Дальнем Востоке // Изв. вузов. Физика. — 2004. — № 11. — С. 81–92.
29. **Волкова М. А., Кусков А. И., Чередыко Н. Н.** Температурные риски и оценка вероятности их возникновения на территории Алтайского края и Республики Алтай // Вестн. Том. ун-та. Сер. Науки о земле. — 2012. — № 355. — С. 148–153.
30. **Серебренников М. Г., Первозванский А. А.** Выявление скрытых периодичностей. — М.: Наука, 1965. — 244 с.
31. **Крутиков В. А., Прейс Ю. И., Кусков А. И., Чередыко Н. Н.** Цикличность торфообразовательного процесса на юге лесной зоны Западной Сибири // Изв. Том. политехн. ун-та. — 2010. — Т. 317, № 1. — С. 46–51.
32. **Монин А. С., Сонечкин Д. М.** Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы. — М.: Наука, 2005. — 191 с.
33. **Scafetta N.** Empirical evidence for a celestial origin of the climate oscillations and its implications // Journ. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. — 2010. — N 72. — P. 951–970.
34. **Mazzarella A., Scafetta N.** Evidences for a quasi 60-year North Atlantic Oscillation since 1700 and its meaning for global climate change // Theoretical and Applied Climatology. 2011. DOI 10.1007/s00704-011-0499-4 [Электронный ресурс]. — <http://www.fel.duke.edu/~scafetta/> (дата обращения 11.03.2013).

Поступила в редакцию 14 мая 2014 г.
