

УДК 521.937

Корреляции изменений скорости вращения Земли и некоторых климатических характеристик: спектральное оценивание двухканальных моделей авторегрессии

Г.С. Курбасова¹, С.П. Корсакова², М.Н. Рыбалова¹, Г.Н. Шликар¹

¹ НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный *gskurb@gmail.com*

² “Никитский сад” ЦГМ в АР Крым, Украина

Поступила в редакцию 27 декабря 2010 г.

Аннотация. Значительная часть климатических параметров обусловлена периодическими процессами и может быть предсказана на несколько лет вперед. Многие из климатических процессов связаны с астрономическими и геофизическими факторами. В настоящей статье обсуждается возможность выявления схожих тенденций в изменении глобальных и локальных климатических характеристик и скорости вращения Земли методом построения и анализа двухканальных моделей авторегрессии. Сопоставлены изменения среднегодовых наблюдений отклонений длительности суток от стандартных и аномалий глобальной температуры за период 1886–2007 гг. Максимумы функций когерентности наблюдаются для вариаций с периодами 41, 22, 13, 6.7, 5.8 лет.

Выделены основные вариации в среднесуточных метеорологических наблюдениях на агрометеостанции “Никитский сад” за последние два года. Найдено их математическое описание, которое может служить для построения локального прогноза. Максимумы когерентности между локальными метеорологическими наблюдениями и изменениями длительности суток определены для вариаций с периодами 26.9, 13.8, 9.1 сут.

CORRELATIONS OF CHANGES IN ROTATIONAL VELOCITY OF THE EARTH AND SOME CLIMATIC CHARACTERISTICS: SPECTRAL ESTIMATION OF DOUBLE AUTOREGRESSIVE MODELS, *by G.S. Kurbasova, S.P. Korsakova, M.N. Rybalova, G.N. Shlikar*. A significant part of climate parameters is associated with periodic processes and can be predicted for several years ahead. Many of climate processes are related to the astronomical and geophysical factors. This paper discusses the possibility of identifying similar trends in global and local climatic characteristics and speed of Earth’s rotation by constructing and analyzing two-channel autoregressive model. Average annual observations of deviations from the standard length of a day and the global temperature anomalies for the period of 1886–2007 were compared. Maxima of the coherence functions are observed for variations with periods of 41, 22, 13, 6.7, 5.8 years.

The main variations in the average daily meteorological observations at agrimeteorological station “Nikita Garden” over the last two years have been marked. Mathematical description of the fundamental vibrations was found. Maxima of the coherence between the local meteorological observations and changes in the length of a day are determined for variations with periods of 26.9, 13.8, 9.1 days.

Ключевые слова: Земля, радиация, колебания, цикл

1 Введение

Вращение Земли не является постоянным: скорость вращения и направление вращения оси меняются со временем. Изменения скорости вращения Земли обнаруживаются по наблюдениям отклонений длительности земных суток от эталонных, равных 86400 с. Скорость вращения Земли – один из множества факторов, существенно влияющих на формирование климата Земли. Поэтому в вариациях скорости вращения Земли и климатических характеристик наблюдаются схожие тенденции. Для полного объяснения этого явления в настоящее время нет достаточной физической информации.

Решающее влияние на формирование климата Земли оказывает солнечная радиация (электромагнитное и корпускулярное излучение Солнца). При этом приток энергии к Земле зависит от суточного вращения Земли вокруг оси и возмущенного движения ее по орбите, влияния Луны и других небесных тел Солнечной системы. Радиация, поступающая на Землю от звезд, планет и Луны, ничтожно мала и не вносит существенного вклада в радиационный баланс планеты. Приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность на верхней границе атмосферы принято называть солярным климатом (Атмосфера, 1991).

Понятие “климат”, введенное греческим философом Гиппархом во II веке до н. э., в переводе буквально означает “наклонение солнечных лучей”, что подчеркивает основополагающую роль солнечного излучения и ориентации Земли в космическом пространстве в формировании многолетнего режима погоды на Земле. Расширение списка климатообразующих факторов и углубление знаний их физической природы на протяжении многовековой истории развития науки сопровождалось многократным изменением определения этого понятия.

В настоящее время под климатом понимаются “статистические свойства климатической системы за достаточно длительный период времени – от нескольких лет до нескольких десятилетий” (Атмосфера, 1991). При этом под “климатической системой” подразумевается совокупность климатических характеристик, полученных из длительных рядов наблюдений основных метеорологических показателей (атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, облачности и атмосферных осадков, скорости и направления ветра), а также характеристик элементов теплового баланса земной поверхности (суммарной солнечной радиации, радиационного баланса, величины теплообмена между земной поверхностью и атмосферой, затрат тепла на испарение).

Из внешних геофизических факторов наиболее существенное влияние на климат оказывает изменение угловой скорости вращения Земли. Механизм возможной взаимосвязи изменения угловой скорости Земли и характеристик климата является предметом обсуждений в ряде публикаций. Взаимодействие атмосферы и подстилающей твердой мантии является одним из наиболее важных источников изменения вектора вращения Земли в различных временных масштабах. В настоящее время исследованы некоторые отдельные аспекты влияния атмосферы на вращение Земли (Ламбек, Козенав, 1976; Бжежинский и др., 2002; Хао, Ау, 1991). Влиянию атмосферных процессов на нестабильности вращения Земли посвящены работы Н.С. Сидоренкова (2002 а, б). В этих работах описаны физическая природа климатических процессов и механизмы воздействия климатических явлений на вращение Земли. Показано, как с помощью данных о вращении Земли можно решать некоторые гидрометеорологические задачи: осуществлять мониторинг момента импульса атмосферы, предсказывать смены синоптических процессов, эпох атмосферной циркуляции, следить за изменениями масс ледниковых щитов Антарктиды, Гренландии и уровня Мирового океана.

Под воздействием широкого комплекса взаимосвязанных климатообразующих факторов формируются глобальный и региональный климаты. Возможные изменения этих климатов предсказываются с помощью соответствующих моделей, которые из-за нерешенных вопросов в исследовании причин изменения скорости вращения Земли, механизма солнечно-земных связей, океана, атмосферы, процессов внутри Земли имеют статистический характер и нуждаются в уточнении с помощью наземных и космических наблюдений.

В то же время в спектре климатических изменений выявляются как регулярные колебания, связанные с поступательно-вращательным движением Земли, приливными явлениями и др., так и нерегулярные составляющие с периодами от нескольких лет и десятилетий до десятков и сотен тысяч лет. В ходе медленной эволюции климата имеют место крупные флуктуации (засухи, продол-

жительные дождливые периоды, холодные зимы, жаркое лето и др.). Возможности предсказания климатических катаклизмов связаны с построением более точных моделей регулярных и нерегулярных составляющих, обусловленных динамикой вращения Земли, механизмов солнечно-земных связей. Анализ отклонений современных высокоточных спутниковых и наземных наблюдений от этих моделей позволит обнаружить предвестников экстремальных явлений.

Актуальность этой проблемы связана с необычно резким потеплением, ростом количества и мощности природных катастроф в конце прошлого и в начале настоящего столетий. “Природа изменений, которые сейчас происходят одновременно в системе “Земля”, их масштабы и темпы являются беспрецедентными. В настоящее время Земля функционирует в состоянии, не имеющем аналогов в прошлом” (Кондратьев и др., 2003).

Настоящая статья посвящена результатам статистического сопоставления экспериментальных данных с целью выявления схожих тенденций в изменении глобальных и локальных климатических характеристик и скорости вращения Земли.

2 Сравнение наблюдений глобальной температуры и скорости вращения Земли за период 1886–2007 гг.

Долгосрочные тенденции в отклонениях длительности суток от стандартных (LOD) и отклонения глобальной приземной температуры от климатической нормы (GLT) обнаруживают с 1886 года до настоящего времени сходство, отмеченное многими авторами. Из результатов анализа влияния климатических факторов на долгосрочные изменения длительности суток следует: метеорологических факторов совершенно недостаточно, чтобы обеспечить дополнительные движущие силы, которые требуются, если предположить метеорологические происхождения долгопериодических изменений LOD. “Анализ приводит к двум альтернативным гипотезам: либо существуют источники возбуждения, которые были проигнорированы при анализе, или климатические изменения в LOD связаны с третьим, пока неизвестным механизмом” (Ламбек, Козенав, 1976). Вместе с тем предполагается, что вариации LOD и изменения климата в интервале периодов 20–30 лет могут иметь общее происхождение (Андерсон, 1974; Ламбек, Козенав, 1976; Бзежинский и др., 2002). Результаты исследований за последние десятилетия показывают, что влияние эффектов твердой Земли на климат может быть важным звеном в согласованном механизме связей, формирующих долгопериодические изменения климата (Сидоренков, 2002 а, б). Рассматриваемые различными авторами механизмы этого взаимодействия в связи с неполнотой информации о реальных физических свойствах ядра и нижней мантии Земли воспринимаются как рабочие гипотезы, верификация которых может быть увеличена с помощью статистического анализа современных временных рядов наблюдений (Жадин, Ямазаки, 1995; Хао, Ау, 1991). В предыдущих публикациях авторов настоящей работы была предложена аналитическая модель изменений LOD, построенная на основе наблюдений за последние более 100 лет. Эта модель учитывает основные неприливные вариации в масштабах периодов 20–70 лет (Курбасова и др., 2007). Кроме того, были обнаружены корреляции этих вариаций с процессами на Солнце и в атмосфере (Курбасова и др., 2008 а, б). Настоящая работа дополняет проведенные ранее сопоставления долгосрочных тенденций в развитии солнечно-земных связей и содержит конкретную цель выявления статистических связей между скоростью вращения Земли и изменением глобальной температуры за последние более 100 лет. Для статистического анализа нами использовался временной ряд аномалий глобальной температуры GLT, рассчитанных по отношению к базовому периоду 1951–1980 гг. Причины, побуждающие к работе с аномалиями, а не с абсолютной температурой, обусловлены тем, что абсолютная температура заметно различается на коротких интервалах времени, в то время как ежегодные аномалии температуры представляют гораздо более широкую временную область.

На рис. 1 приведены графики сопоставляемых данных.

Для анализа нами использовались вариации скорости вращения Земли, вычисленные в виде:

$$m = -\frac{LOD}{86400.0 + LOD}. \quad (1)$$

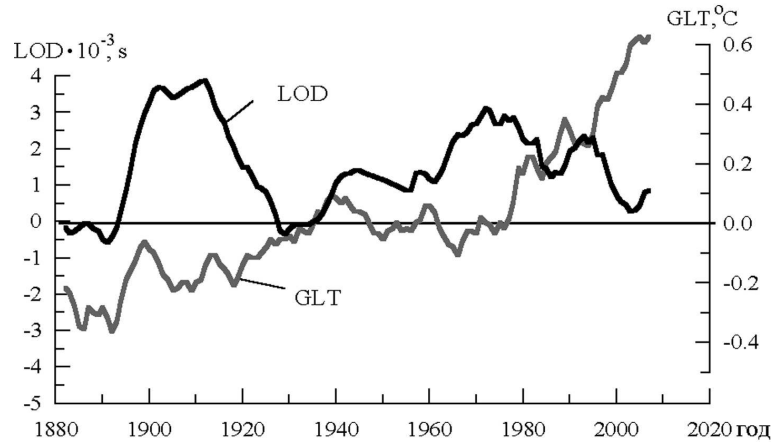


Рис. 1. Графики исходных данных: LOD – среднегодовые величины отклонений длительностей суток от стандартных (86400 сек); источник: публикации Международной службы вращения Земли (IERS). GLT – среднегодовые величины, вычисленные на основе измерений аномалий приземной температуры воздуха по данным наземных метеорологических станций, базовый период 1951–1980 гг; источник: публикации Института космических исследований (NASA GISS)

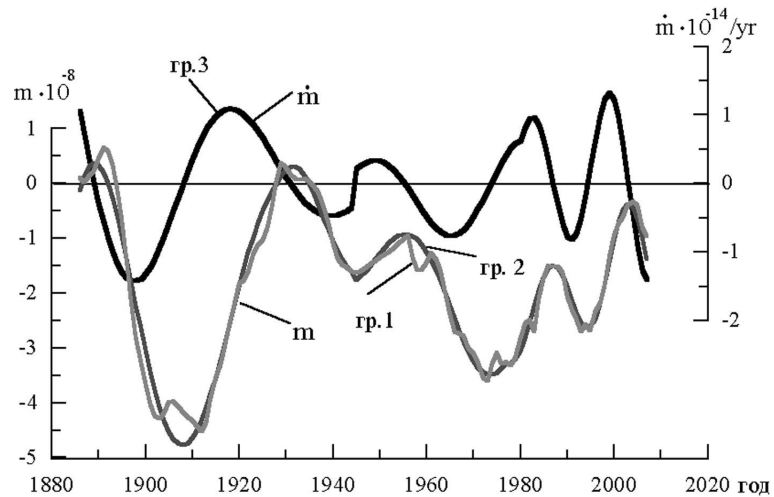


Рис. 2. Графики m и \dot{m} : гр. 1 – величины m , вычисленные по формуле (1), гр. 2 – сглаженные значения, гр. 3 – ускорения \ddot{m}

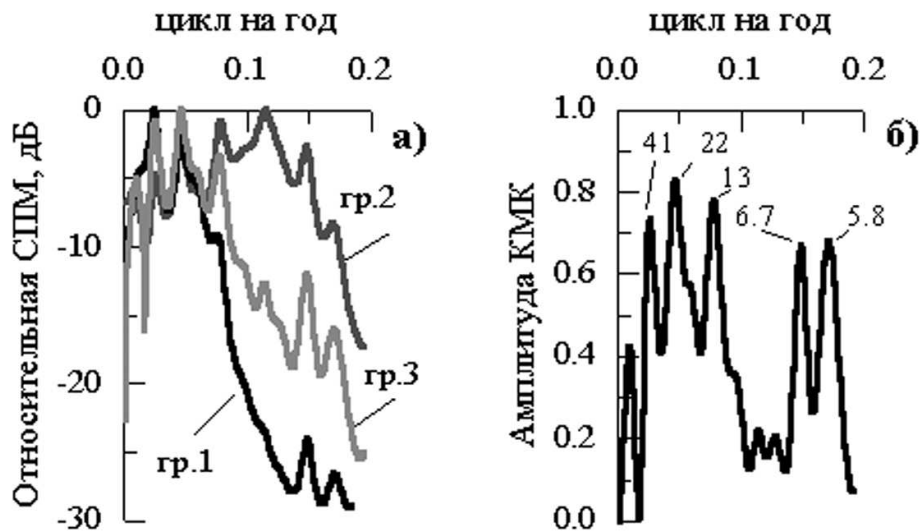


Рис. 3. Двухканальный спектральный АР-анализ ускорений и разностей ΔGLT : а) – автоспектры данных (гр. 1) и ΔGLT (гр. 2), функция когерентности (гр. 3); б) – квадрат модуля когерентности (КМК), приведены величины наиболее вероятных периодов в годах

На рис. 2 приведены: кривая величин \dot{m} (гр. 1), вычисленных по формуле (1); сглаженная кривая \dot{m} (гр. 2). Сглаживание проведено методом скользящего среднего по 5 годам.

Для выявления тенденций в изменении скорости вращения Земли на рассматриваемом интервале времени нами вычислены ускорения \ddot{m} путем приближения сглаженной кривой (рис. 2, гр. 2) аналитическими функциями с последующим дифференцированием. При этом для построения гладкой кривой использовался аппарат квазиполиномов (Зюзин, 1982; Василенко, Зюзин, 1981). Наилучшее приближение квазиполиномам (относительная погрешность не превышает 15 %) получено на четырех последовательных интервалах времени: 1886–1927, 1928–1944, 1945–1976, 1977–2007. Производные от гладких функций приближения \dot{m} на этих интервалах в пределах точности аппроксимации представляют сглаженные значения ускорений \ddot{m} (рис. 2, гр. 3).

Ежегодные величины \dot{m} и изменения за год (по сравнению с предыдущим годом) величины глобальной температуры ΔGLT сопоставлены с помощью программы двухканального спектрального оценивания авторегрессионной (АР) спектральной плотности мощности (СПМ) с высоким разрешением для коротких последовательностей данных (Марпл, 1990). График функции когерентности для данных \dot{m} (канал 1) и ΔGLT (канал 2) приведен на рис. 3, график 3.

Величина квадрата модуля когерентности (рис. 3,б) заключена между 0 (для частот, на которых отсутствует когерентность между каналами) и 1 (для частот, на которых каналы полностью когерентны). Графики на рис. 3 показывают, что проведенный АР-анализ обнаруживает корреляции между соответствующими вариациями с периодами 41, 22, 13, 6.7 и 5.8 лет в данных \dot{m} и ΔGLT : величины КМК равны 0.73, 0.83, 0.78, 0.67, 0.68. Фазы когерентности (Марпл, 1990) для вариаций с периодами 41, 22, 5.8 лет указывают на опережение когерентных колебаний в первом канале (данные об ускорении вращения Земли \dot{m}) по сравнению с колебаниями во втором канале (изменения глобальной температуры ΔGLT) на 9.3, 0.6, 1.1 лет соответственно. Фазы когерентности для вариаций с периодами 13 и 6.7 лет указывают на опережение колебания во втором канале (изменения глобальной температуры ΔGLT) на 3.1, 1.6 лет соответственно. Высокая степень корреляций (см. рис. 3, б) допускает возможность существования общего механизма энергообмена между атмосферой и скоростью вращения Земли для сравниваемых вариаций. Относительно происхождения непривливаемых долгопериодических изменений в LOD и механизма их взаимодействия с атмосферой в настоящее время нет единого мнения. Тогда как считается установленным факт доминирующего влияния ат-

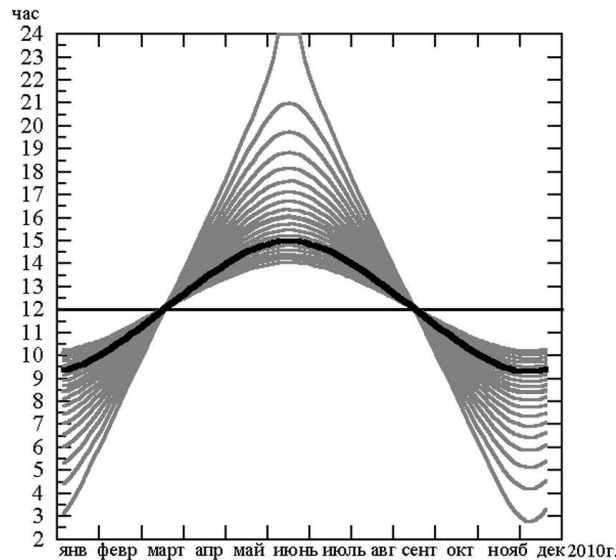


Рис. 4. Кривые суточных и сезонных изменений длительности солнечной радиации в 2010 году, вычисленные с шагом 2° в масштабе широт 30° – 66°

мосферы на геофизические изменения вращения Земли в масштабе периодов от нескольких дней до нескольких лет (Дикей, 1991; Бзежинский и др., 2002). Это влияние проявляется прежде всего в изменении регулярных суточных и сезонных локальных климатических характеристик.

3 Суточные и сезонные изменения локальных климатических характеристик

В многообразном спектре климатических изменений выделяются регулярные составляющие, обусловленные суточным и сезонным изменением солнечной радиации на различных широтах.

На рис. 4 приведены вычисленные с шагом 2° графики изменения длительности солнечной радиации в интервале широт 30° – 66° за 2010 год. Жирной линией выделен график изменения длительности солнечной радиации на широте г. Ялта ($\varphi = 44^\circ$).

Закономерный ход изменения продолжительности светлой части суток и полуденной высоты Солнца определяет суточный и годовой режимы прямой солнечной радиации. В результате сезонных изменений скорости вращения Земли продолжительность суток в течение года может отличаться от их средней продолжительности за год на $\pm 0^s.001$. При этом самые короткие сутки приходятся на июль – август, а самые длинные – на март. Наиболее вероятной причиной периодических сезонных изменений скорости являются перераспределения воздушных и водных масс на поверхности Земли (Бзежинский и др., 2002; Ламбек, Козенав, 1976).

Кроме изменений длительности суток на величину падающей на поверхность Земли солнечной радиации влияют факторы, связанные с прохождением ее через атмосферу, например, облачность, запыленность и иные глобальные и локальные процессы в атмосфере. Поэтому до земной поверхности солнечная радиация доходит в виде прямой и рассеянной радиации. На приток солнечного тепла к поверхности Земли и длительность инсоляции оказывают влияние локальные условия: горы, море, рельеф местности, естественная смена ландшафтных зон.

Так, например, открытые пляжи Феодосии и Евпатории получают при прочих равных условиях больше прямой солнечной радиации за день, чем пляжи Ялты или Симеиза, окруженные с востока и запада большими возвышенностями, из-за которых Солнце во многих пунктах Южного берега Крыма восходит позже и заходит раньше, и тем самым сокращается время освещения прямыми

солнечными лучами (<http://www.onixtour.com.ua>). Кроме того, локальные геофизические и геодинамические аномалии участвуют в формировании микроклиматов, являющихся составной частью глобального определения климата Земли.

Разность между прямой радиацией, падающей на границу атмосферы, и суммарной (прямой и рассеянной) приземной радиацией определяет величину “разбаланса”, который характеризует приток энергии в атмосферу и, как следствие, изменение локальных и глобальных климатических показателей.

Неопределенность, вносимая “разбалансом” в предсказание климатических и экологических изменений, может быть уменьшена с помощью анализа наблюдений из космоса в сочетании с комплексными локальными наземными наблюдениями. Основой создания локальных климатических моделей служат циклические процессы, порождаемые лунно-солнечными эффектами вращения Земли и чувствительные к деталям внутренней структуры и реологии нашей планеты.

Возможности обнаружения и математического описания основных вариаций в локальных наблюдениях, установления связи с вариациями изменения длительности суток показывает проведенный нами анализ наблюдений агрометеорологической станции “Никитский сад” (Ялта) за 2009–2010 гг.

Графики используемых в нашем анализе наблюдений приведены на рис. 5.

Графики ϵ - d на рис. 5 построены по данным наблюдений агрометеорологической станции “Никитский сад” (гр. 1). Основные колебания в этих данных (гр. 2) выделены нами методом аппроксимации сплайнами (Василенко, 1983) с последующим приближением (относительная погрешность приближения не более 5 %) следующим аналитическим выражением:

$$A = A_0 \sin\left(\frac{2\pi}{P_A} * \Delta t + \varphi_0\right) * \exp(k * \Delta t), \quad (2)$$

где параметры A_0 , P_A , φ_0 , k вычислены по наблюдениям, Δt – интервал времени в сутках относительно начала 2009.00.

В таблице приведены параметры основных колебаний (2) в метеорологических наблюдениях агрометеостанции “Никитский сад”.

Таблица 1. Параметры основных колебаний в метеорологических наблюдениях агрометеостанции “Никитский сад”

Данные	Период P_A , сут.	Параметры Амплитуда A_0	Фаза φ_0 , гр.	k
Температура T , °C	417.9	11.18	-84.8	$-0.14 * 10^{-3}$
Давление P , мб	174.7	5.65	238.1	$-0.67 * 10^{-3}$
Суммарная радиация, S_c , Мдж/м ²	802.3	5.3	92.6	$-0.23 * 10^{-2}$
	354.4	11.67	260.8	$-0.48 * 10^{-3}$

Величины периодов основных вариаций в метеорологических наблюдениях (см. таблицу 1) неодинаковы, а повторяемость метеорологических событий не совпадает с годовым циклом вращения Земли. Более строгие выводы нуждаются в теоретическом обосновании возможности возбуждения основных квазипериодических вариаций (2) в метеорологических данных различными энергетическими источниками (Солнце, Луна, планеты).

Для сравнения вариаций более высокой частоты, чем основные (см. таблицу 1), из исходных данных были удалены линейные тренды, и наблюдения T , P , S_c обработаны фильтром низкой частоты с частотой отсечки равной 0.2 сут.^{-1} . В результате последующего двухканального спектрального АР-анализа обнаружены корреляции между изменениями длительности суток (LOD) и локальными изменениями температуры воздуха T , давления на уровне моря P и суммарной радиацией S_c . Соответствующие графики функций когерентности с указанием периодов коррелирующих вариаций в сутках приведены на рис. 6.

На рис. 6 для каждого графика приведены обозначения сопоставляемых пар данных и периоды коррелирующих вариаций в сутках. В масштабе изменений трех выделяющихся коррелирующих вариаций спектральный метод АР-анализа представляет формальную информацию о фазе когерентности. В то же время величины периодов выделенных вариаций, когерентность с изменением

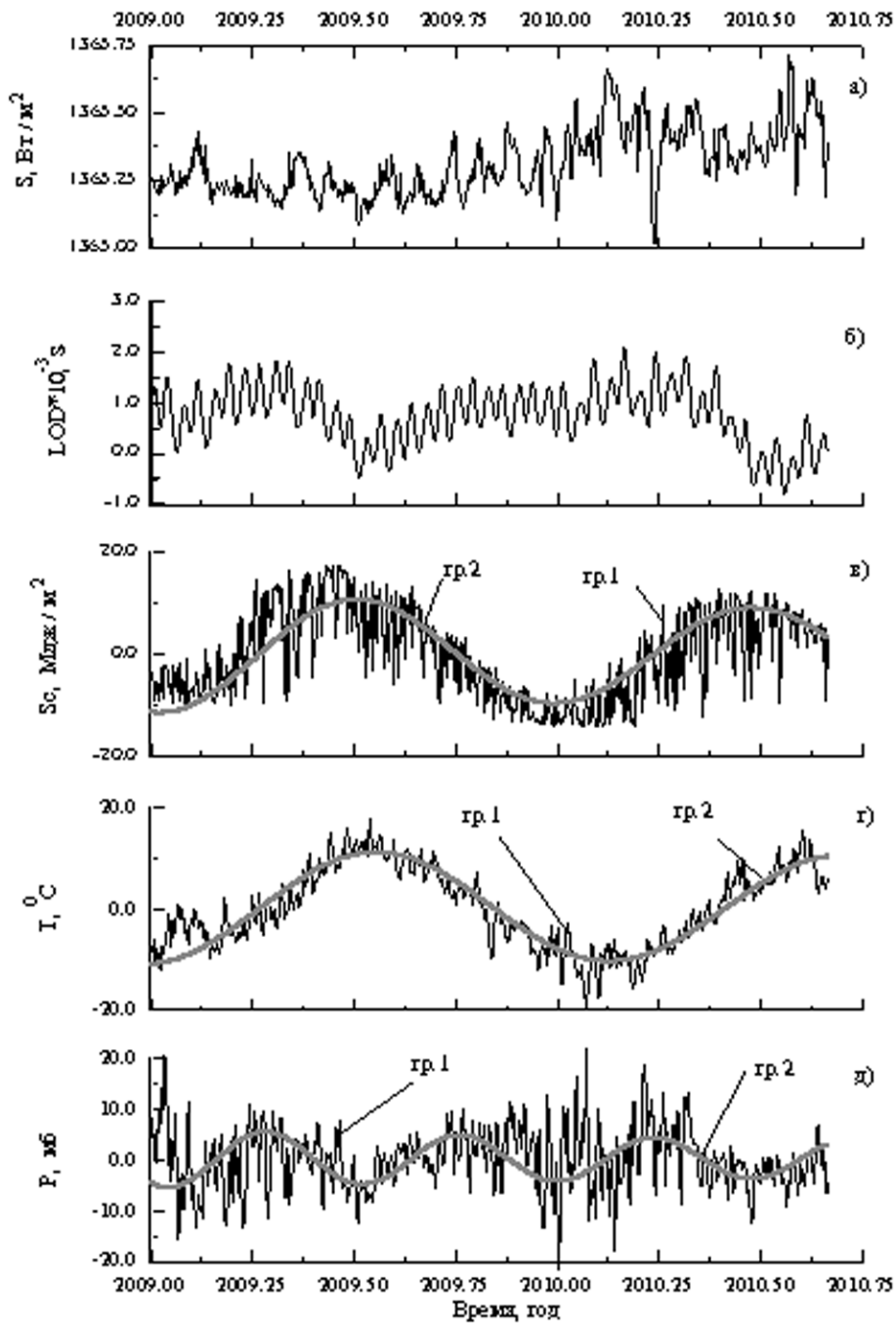


Рис. 5. Графики наблюдений: а) – солнечная постоянная (<http://www.pmodwrc.ch>), б) – отклонения длительности суток от стандартных (LOD), в) – суммарная радиация за сутки, г) – среднесуточная температура воздуха, д) – среднесуточное давление на уровне моря

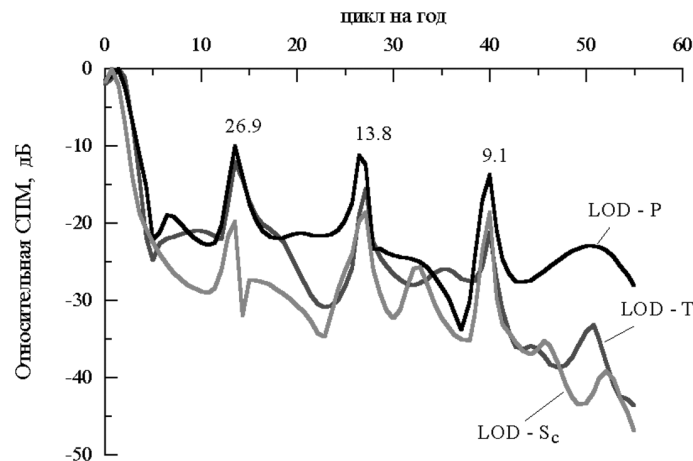


Рис. 6. Двухканальный спектральный АР-анализ: графики функций когерентности

скорости вращения Земли допускают возможность их связи с механизмом воздействия на атмосферу лунно-солнечных приливов, что может быть использовано при построении прогноза. Вариации глобального климата сопровождаются изменениями в локальных климатических характеристиках. При этом наблюдаются смещения в проявлениях одинаковых вариаций в глобальных и локальных наблюдениях. На рис. 7 а приведены графики наблюдений локальной среднемесячной температуры на агрометеостанции “Никитский сад” (гр. 1) и аномалий среднемесячной температуры Северного полушария (гр. 2). Двухканальный спектральный АР-анализ обнаруживает когерентность (КМК = 99 %) вариаций с периодом 400 сут. в обоих каналах с фазой когерентности -153° . Это значит, что на интервале 2009–2010 гг. вариация с периодом 400 сут. в локальных наблюдениях температуры опережает вариацию с тем же периодом в наблюдениях глобальной температуры на 170 сут. На рис. 7 б приведен соответствующий график функции когерентности.

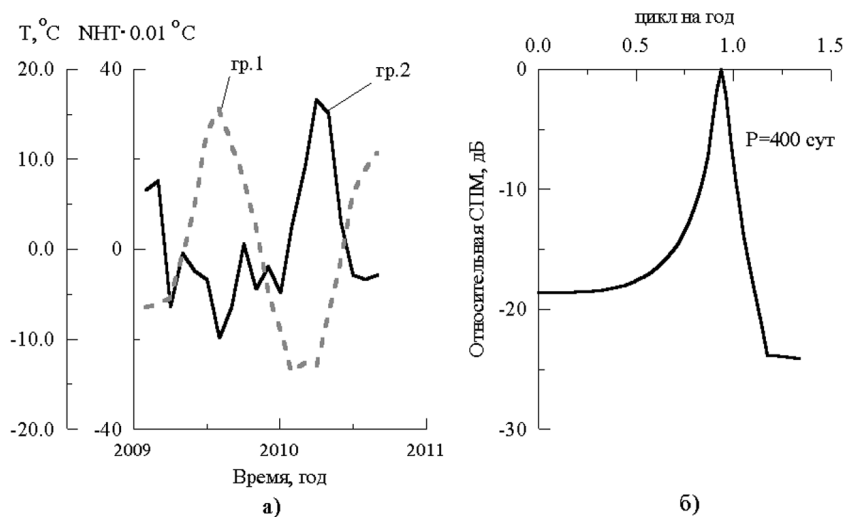


Рис. 7. Результаты двухканального АР-анализа среднемесячных данных: а) – наблюдения локальной температуры T (гр. 1), аномалия температуры Северного полушария ННТ (гр. 2); б) – график функции когерентности

4 Заключение

Значительная часть климатических параметров обусловлена периодическими процессами, которые могут быть предсказаны на несколько лет вперед. Многие из этих процессов связаны с астрономическими факторами, такими как светимость Солнца, суточное вращение Земли вокруг оси и возмущенное движение ее по орбите, влияние Луны и других небесных тел Солнечной системы.

Под влиянием комплекса взаимосвязанных климатообразующих факторов формируется глобальный, региональный и локальный климаты. Существующие в настоящее время модели климата, из-за нерешенных вопросов в исследовании причин изменения скорости вращения Земли, механизма солнечно-земных связей, океана, атмосферы, процессов внутри Земли, имеют статистический характер и нуждаются в уточнении с помощью наземных и космических наблюдений.

В настоящей статье приведены результаты двухканального спектрального анализа наблюдений, проведенного авторами с целью выявления схожих тенденций в изменении скорости вращения Земли и некоторых климатических характеристик. Для анализа использовались как глобальные, так и локальные климатические характеристики.

Основные результаты состоят в следующем:

1. В среднегодовых наблюдениях отклонений длительности суток от стандартных и аномалий глобальной температуры за период 1886–2007 гг. обнаружены корреляции вариаций с периодами 41, 22, 13 лет с квадратом модуля когерентности более 0.7 и корреляции вариаций с периодами 6.7, 5.8, 9.7 лет с квадратом модуля когерентности более 0.6. Анализ фазы когерентности указывает на возможность опережения колебаний с периодами 41, 22, 5.8 лет в наблюдениях скорости вращения Земли по сравнению с колебаниями тех же периодов в данных об изменении глобальной температуры. Этот результат не противоречит гипотезе о внутривоздушном происхождении вариаций с периодами десять и более лет и их доминирующем влиянии на атмосферу (Андерсон, 1974; Бзежинский и др., 2002). Вариации с периодами 13, 6.7 лет в данных о глобальной температуре опережают по фазе соответствующие вариации в данных об изменении скорости вращения Земли, что допускает возможность опережающего влияния атмосферы на изменение скорости вращения Земли на этих частотах.
2. В среднесуточных метеорологических наблюдениях на агрометеостанции “Никитский сад” за последние два года выделены основные вариации и получено их математическое описание, которое может служить основанием для построения локального прогноза. Сравнения показывают, что в диапазоне более коротких периодов (меньше основных) наблюдаются корреляции между изменениями локальных климатических параметров и LOD для вариаций с периодами 26.9, 13.8, 9.1 суток.
3. Учет смещения максимумов локальной и глобальной температур (см. рис. 7) необходим для построения более точного локального прогноза.

Литература

- Андерсон (Anderson D.L.) // Science. 1974. V. 182. P. 49.
Атмосфера // Справочник. Ленинград. Гидрометеиздат. 1991. С. 510.
Бзежинский и др. (Brzeziński A., Bizouard Ch. and Petrov S.D.) // Surveys in Geophys. Kluwer Acad. Publish. Netherlands. 2002. V. 23. P. 33.
Василенко В.А. // Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы. Новосибирск. Наука. 1983. С. 160.
Василенко В.А., Зюзин М.В. // Вариационно-разностные методы в математической физике. Новосибирск. 1981. С. 35.
Дикей (Dickey J.O.) // Science. 1991. V. 3. С. 253.
Зюзин М.В. // Препринт. Дискретные осреднения квазиполиномов. Новосибирск. 1982. №. 373. С. 11.
Жадин, Ямазаки (Jadin E.A., Yamazaki K.) // Papers in Geophysics and Meteorology. 1995. P. 45.

- Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. // Перспективы развития цивилизации: многомерный анализ. М.: Логос. 2003. С. 576.
- Курбасова Г.С., Корсунь А.А., Рыбалова М.Н., Шликарь Г.Н. // Кинем. и физ. небесн. тел. 2007. Т. 23. №. 3. С. 186.
- Курбасова Г.С., Курбасов С.В., Рыбалова М.Н., Шликарь Г.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2008а. Т. 104. №. 1. С. 203.
- Курбасова Г.С., Курбасов С.В., Рыбалова М.Н., Шликарь Г.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2008б. Т. 104. №. 1. С. 209.
- Ламбек, Козенав (Lambeck K., Cozenave A.) // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1976. V. 46. P. 555.
- Марпл С.Л. // Цифровой спектральный анализ и его применения. М.: Мир. 1990.
- Сидоренков Н.С. // Атмосферные процессы и вращение Земли. Гидрометеоздат. 2002а. С. 368.
- Сидоренков Н.С. // Физика неустойчивостей вращения Земли. М.: Физматгиз. 2002б. С. 383.
- Хао, Ау (Chao B.F., Au A.Y.) // J. Geophys. Res. 1991. V. 96. P. 6577.