

УДК 550.3

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ В КЛИМАТИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ КРЫМА

© 2019 г. Г. С. Курбасова¹, А. Е. Вольвач^{1, 2, *}, Л. Н. Вольвач¹

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Отдел радиоастрономии и геодинамики, г. Ялта, Крым

²Институт прикладной астрономии РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

*volvach@bk.ru

Поступила в редакцию 27.12.2017 г.

После доработки 03.09.2018 г.

Принята к публикации 20.09.2018 г.

Анализ климатических характеристик на полуострове Крым на основе суточных измерений спутниками НАСА климатических параметров за период 1983–2005 годы обнаружил ускоренное повышение (по сравнению с другими пунктами Крыма) инсоляции поверхности земли в пункте Кара-Даг и аномальное снижение температуры поверхности Земли в пункте Фонарь. По результатам частотно-временного вейвлет-анализа локальных данных об инсоляции и температуре поверхности земли выделены периодические колебания, периоды которых совпадают с астрономическими циклами, и установлена эпоха появления аномальных отклонений от общих тенденций (1990–1995 гг.). В результате анализа поправок к вертикальным деформациям поверхности земли в пункте Качивели выделена сезонная составляющая и вычислены параметры этого колебания. Установленные в настоящей работе когерентные вариации с периодами около 10–12 и 60–70 лет обнаруживаются в различных по своей физической природе процессах и могут быть отнесены к глобальным циклам в Солнечной системе, проявление которых в климатических и геофизических локальных процессах является результатом общей тенденции к синхронизации. В этом процессе возможны появления когерентных вариаций с кратными или соизмеримыми частотами.

DOI: 10.1134/S0023420619040046

1. ВВЕДЕНИЕ

Крымский полуостров расположен вблизи границы Евразийской литосферной плиты, деформации и движения которой на длительном интервале времени оказывают влияние на активизацию внутри земных процессов (землетрясения, вулканы, сели). Возросшая за последние десятилетия энергетика внешних и внутри земных природных процессов отражается, часто непредсказуемым образом, на характере изменения локальных геофизических и климатических характеристик Крыма. Для прогноза этих изменений необходимо наблюдать их связь с предсказуемыми глобальными астрономическими процессами, такими как движение полюсов и вращение Земли, изменения параметров системы Земля–Луна, лунно-солнечными приливами, гравитационным взаимодействием планет Солнечной системы, солнечной активностью, параметрами геомагнитного поля. Проявление этой взаимосвязи в различных местах Земного шара имеют особенности, обусловленные локальными условиями, изучение которых возможно на основе сопоставления глобальных астрономических циклов и

временных рядов наблюдений локальных климатических и гелиогеофизических характеристик.

Так как надежных методов предсказания экологических катастроф в настоящее время не существует, исследования ученых направлено на изучение косвенных признаков возможной активизации землетрясений, вулканов, селей таких как экстремальные события на Солнце, динамика вращения Земли, активизация течения жидких масс внутри Земли, события в атмосфере и магнитосфере, техногенные факторы. Необходимость анализа связи изменяющихся во времени и пространстве гелиогеофизических характеристик и параметров климата способствовала разработке и практическому внедрению робастных математических методов приспособленных для вычислений устойчивых характеристик временных рядов при ограниченной их длительности. К таким методам можно отнести многоканальные процедуры оценок спектральной плотности мощности, приспособленные для анализа коротких выборок данных, частотно-временной вейвлет-анализ. В последние годы эти методы успешно использовались в практике изучения природных процессов. Информативность анализа локальных на-

блюдений с помощью вейвлетов использовались нами в изучении аномалий инсоляции и температуры в пунктах Кара-Даг, мысе Фонарь, в анализе деформаций поверхности земли по наблюдениям на Крымском гелио геодинимическом полигоне включенного в сеть станций РСДБ, ГНСС, ЛСД [1–9]. Приведенные в настоящей работе результаты частотно-временного вейвлет-анализа временных рядов солнечной инсоляции, температуры и деформаций поверхности земли в отдельных пунктах Крыма обнаруживают пространственно-временную связь солнечных, метеорологических и геофизических процессов с динамикой вращения Земли, солнечной активностью.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

2.1. Солнечная инсоляция, температура поверхности Земли. Для поддержки научных и технических разработок по проблемам возобновляемой энергетики в НАСА разработан и успешно функционирует Проект прогноза энергетических ресурсов во всем мире (POVER – Prediction of Worldwide Energy Resource Project). В рамках этого проекта создана база данных параметров наземной метеорологии и солнечной энергии (SSE – Surface meteorology and Solar Energy) [<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>]. База состоит из более 200 спутниковых параметров метеорологии и параметров солнечной энергии. Имеющийся в ней 22-летний ряд климатологии (июль 1983–июнь 2005 гг.) обеспечивает глобальный охват по поверхности Земли (на сетке один градус широты на один градус долготы) множества данных SSE.

Точность спутниковых измерений оценивалась с помощью многочисленных наземных измерений. По оценкам НАСА, среднеквадратическая ошибка ежемесячных значений составляет около 13–16%.

Для анализа базы данных SSE нами использовались параметры: инсоляция на горизонтальную поверхность ($\text{кВт ч/м}^2/\text{сут}$) и температура поверхности земли (в градусах Цельсия).

2.2. Вековые вариации геомагнитного поля. Международная ассоциация по геомагнетизму и аэронавигации (The International Association of Geomagnetism and Aeronomy – IAGA) выпустила Международное геомагнитное стандартное поле 12-го поколения – новую версию стандартного математического описания основного магнитного поля Земли. Для вычисления изменений параметров геомагнитного поля в Крыму нами использовался калькулятор IGRF-12 [<http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>].

2.3. Поправки к деформациям поверхности Земли. В отделе исследований DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) разработан Международный проект по поддержке пространственно-временных опор-

ных систем для мониторинга глобальных изменений и для точной навигации в космосе. Целью проекта является предоставление квазиинерциальной системы отсчета реализованной согласованным положением квазара и земной системы отсчета на основе общего набора параметров и, в частности, на однородных геофизических моделях: “Океан”, “Атмосфера”, “Гидрология” [10, 11].

В 2015 г. в центре внимания комбинационного центра (CC – Combination Centre) в DGFI-TUM (Deutsches Geodatisches Forschungsinstitut) реализована опорная система ITRS в виде DTRF2014. Для вычисления DTRF2014 предоставлены временные ряды данных на основе четырех космических геодезических методов ГНСС, РСД, ЛСД и ДОРИС. В реализацию проекта включены наблюдения, проводимые на Крымском гелио геодинимическом полигоне (пункт Качивели) с помощью оборудования РСД, ЛСД и ГНСС. Для анализа нами использованы данные о поправках к деформациям поверхности земли в пункте Качивели, вычисленные на основе геофизических моделей “Атмосфера” и “Океан” [12].

Кроме того, для сравнительного анализа использовались среднегодовые данные: о солнечной активности [<http://www.sidc.be/silso/datasdes>], об аномалиях глобальной температуры [<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata>], об изменении длительности суток [<http://hpiers.obspm.fr/>].

3. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ В ХАРАКТЕРИСТИКАХ КЛИМАТА КРЫМА

Климатическая система Земли формируется при активном участии всех геосфер планеты: атмосферы, океана, криосферы, поверхности континентов, литосферы, антропосферы. Радиационные, приливные, гравитационные, электромагнитные внешние силы влияют на формирование климатической системы. Наиболее изученным индикатором климатической изменчивости признана температура (приповерхностная температура воздуха и температура поверхности земли и океана).

В последнее время резко возросла актуальность изучения геодинимических процессов, происходящих в приповерхностных геологических структурах, которые характерны для городов и зон расположения крупных инженерных сооружений на локальных территориях. В составлении долговременных локальных прогнозов особое внимание уделяется использованию спутниковых климатических параметров подверженных гелио геодинимическим воздействиям [13, 14].

Анализ данных SSE показал, что локальные геологические особенности, техногенные факторы, а также региональная и глобальная активность эндогенных процессов Земли способствуют неравномерному распределению инсоляции,

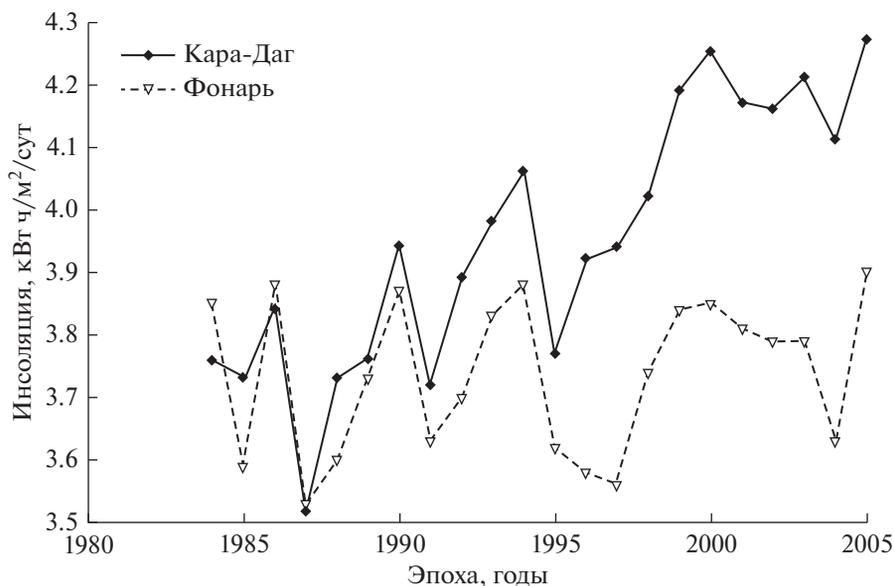


Рис. 1. Среднегодовая инсоляция, падающая на горизонтальную поверхность земли в пунктах Кара-Даг и Фонарь. Данные SSE.

падающей на поверхность земли Крыма. Проведенный ранее анализ инсоляции, падающей на поверхность земли в Крыму [9], обнаружил неравномерное ее распределение и аномальный рост инсоляции поверхности земли в пункте Кара-Даг.

3.1. Инсоляция поверхности Земли. Анализ многолетних линейных тенденций изменения инсоляции в различных пунктах Крыма показал, что скорость роста инсоляции в пункте Кара-Даг по данным 22-х летнего линейного тренда составляет 2.69 (кВт ч/м²) за столетие и более чем в 2 раза превышает рост инсоляции в других районах Крыма [14]. Сравнение графиков на рис. 1 показывает, что существенное увеличение инсоляции в пункте Кара-Даг по сравнению с инсоляцией на мысе Фонарь произошло с 1990 г.

Проведенный нами частотно-временной непрерывный вейвлет-анализ обнаруживает в спектральной структуре данных о среднесуточной инсоляции, падающей на горизонтальную поверхность земли в пункте Кара-Даг, по крайней мере, 5 регулярных астрономических колебаний. Периоды этих колебаний сопоставимы с периодами лунных и лунно-солнечных приливных волн.

Причем, период наиболее мощного колебания равен 345.3 сут, а амплитуда его существенно возрастает после 1995 года (более интенсивная окраска на рис. 2). В остальных пунктах Крыма наблюдается умеренный рост амплитуды этого колебания.

Период следующего по мощности колебания равен 365 сут. Амплитуда этого колебания стабильна. Высокочастотные колебания, от которых

зависит точность краткосрочных прогнозов, не устойчивы и имеют переменную фрактальную структуру. В области низких частот (больших периодов) намечаются следы регулярных колебаний, которые не могут быть достоверно определены из-за ограниченной длительности временного интервала определения данных и небольших амплитуд этих колебаний.

3.2. Температура поверхности Земли. Из проведенного нами анализа температуры поверхности земли в Крыму следует, что в крайних пунктах и их окрестностях температура поверхности земли растет с различной скоростью за исключением мыса Фонарь, где она убывает [8].

Рис. 3 демонстрирует разницу в тенденциях изменения температуры поверхности земли в пунктах Кара-Даг и Фонарь. Понижение температуры поверхности земли в пункте Фонарь за период определения данных SSE наблюдается и в настоящее время. Связь его с геологическими особенностями локального пункта не подлежит сомнению. Рассмотрим развитие этого процесса на фоне глобальных астрономических циклов. Для изучения спектрального состава данных о температуре поверхности земли в пункте Фонарь используем преобразование Фурье.

Фурье-анализ в этих данных обнаруживает всего одно значимое колебание с периодом 372.3 сут. В то же время, результаты проведенного нами вейвлет-анализа дают более полную картину спектрального состава исходных данных и его пространственно-временную локализацию.

Непрерывный частотно-временной вейвлет-анализ выявил в вариациях температуры поверх-

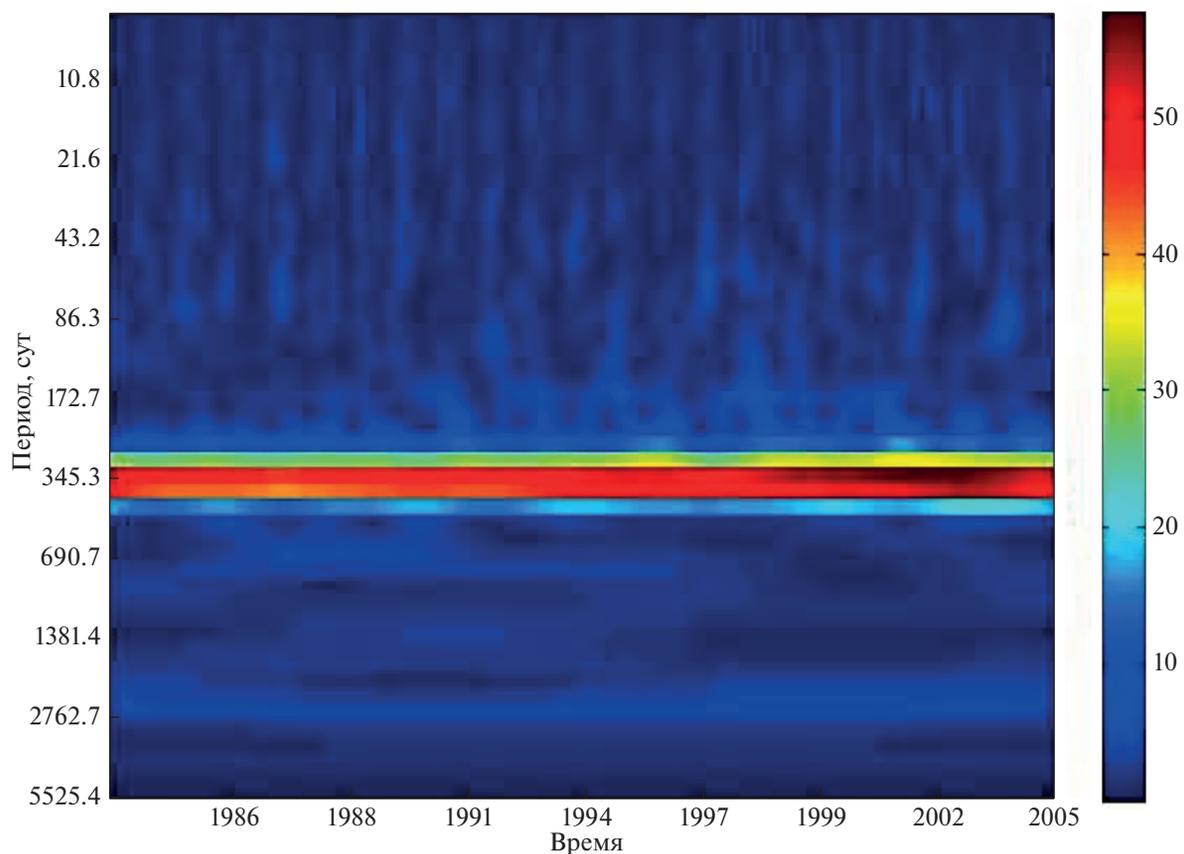


Рис. 2. Частотно-временная характеристика данных о среднесуточной инсоляции, падающей на горизонтальную поверхность земли в пункте Кара-Даг (данные SSE). Вейвлет-преобразование (вейвлеты 'morf').

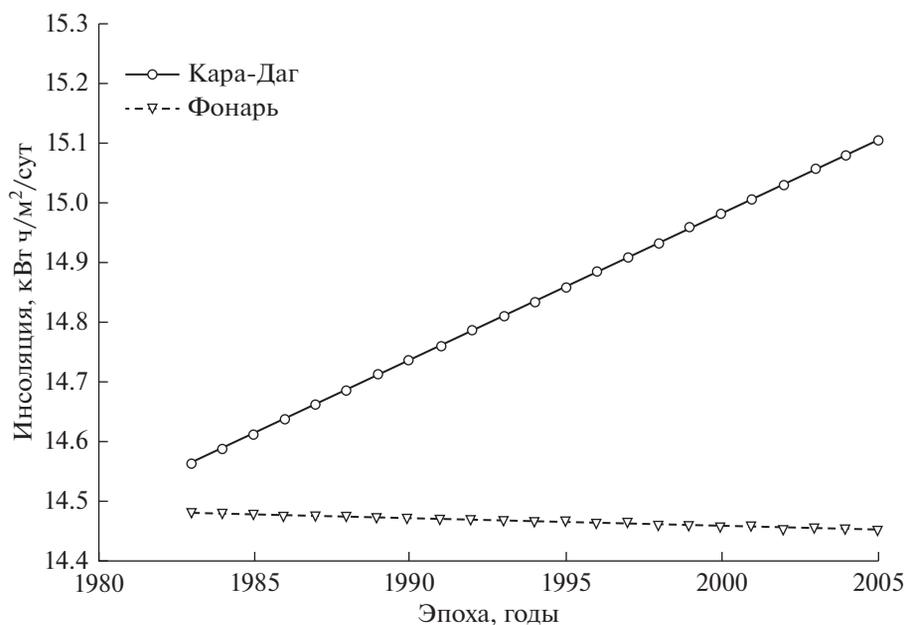


Рис. 3. Среднегодовая температура поверхности земли в пунктах Кара-Даг и Фонарь (линейные тренды). Данные SSE.

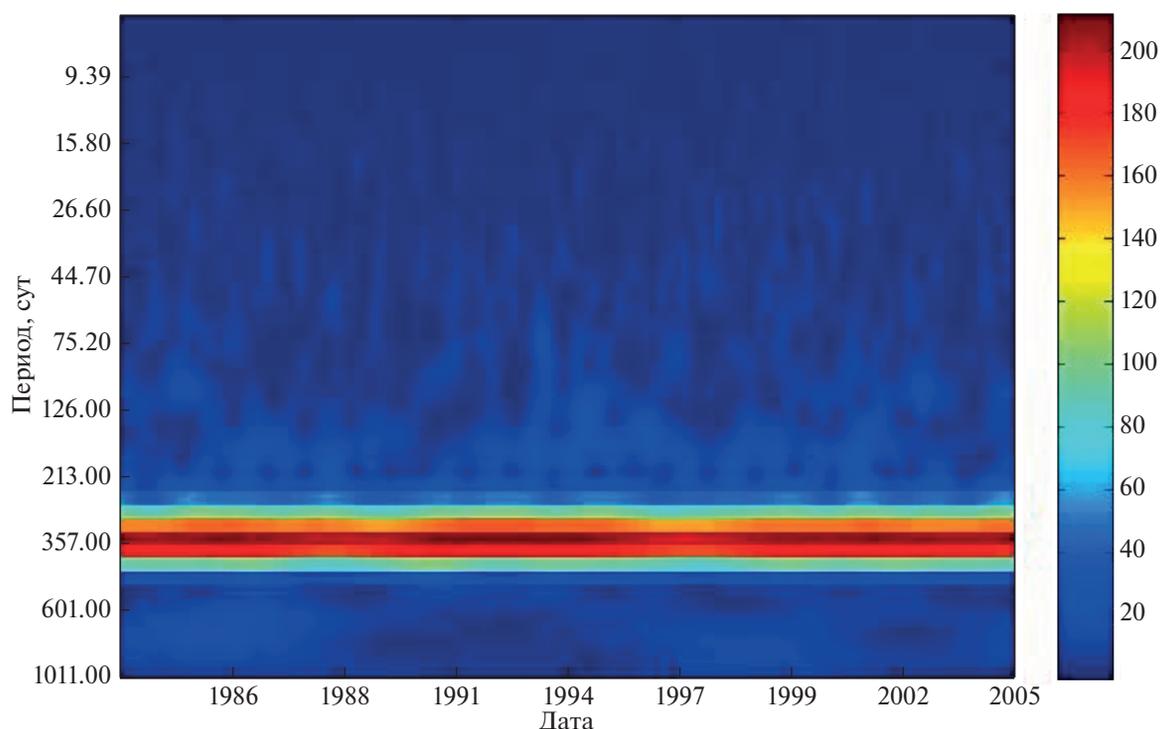


Рис. 4. Частотно-временная характеристика данных о температуре поверхности земли мыса Фонарь (данные SSE). Вейвлет-преобразование (вейвлеты 'morl').

ности земли регулярное колебание с периодом 357 сут, амплитуда которого испытывает модуляцию с периодом порядка 10 ± 2 года (рис. 4); кроме того, выделяются менее мощные близкие по частоте регулярные колебания с периодом около 1 года.

4. ПОПРАВКИ К ДЕФОРМАЦИЯМ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ПУНКТЕ КАЦИВЕЛИ

Большинство телескопов и другое экспериментальное оборудование для наблюдений объектов в ближнем и дальнем космическом пространстве расположены на земной поверхности, поэтому необходимы земные системы отсчета, в которых фиксируются наблюдения. От точности установления связи между этими системами зависит возможность достоверного обнаружения тонких эффектов в результатах наблюдений. Так как в настоящее время точность экспериментальных результатов часто опережает точность существующих физических моделей и точность пространственных геодезических наблюдений гораздо выше, чем у существующих реализаций опорной сети, проблема определения и регулярного корректирования по наблюдениям систем отсчета является одной из главных задач как фундаментальных, так и прикладных исследований.

Нелинейные движения станций наблюдений являются основным источником ошибок в теку-

щих реализациях систем отсчета. Причины появления и методы учета этих смещений могут быть различными, одной из которых являются не учтенные при моделировании опорных сетей эффекты влияния гидрофизических оболочек: океана, атмосферы, гидросферы.

Как показал проведенный нами анализ, данные о поправках к деформациям поверхности земли в пункте Кацивели, вычисленные на основе геофизических моделей "Атмосфера" и "Океан", содержат периодические компоненты (рис. 5).

В результате анализа наибольших по абсолютной величине поправок к вертикальным деформациям по модели "Атмосфера" обнаружена сезонная составляющая. Период этого колебания равен 365.3 сут с 95% доверительными границами (365.3, 365.1) сут; амплитуда равна 3.37 мм с 95% доверительными границами (3.33, 3.40) мм.

Проведенный нами частотно-временной вейвлет-анализ временных рядов поправок к вертикальным деформациям земли в пункте "Кацивели" приведен на рис. 5.

На рисунках оси отождествлены на основе взаимно однозначного соответствия: по оси абсцисс смещение – время; по оси ординат масштаб – частота (период) [From Fourier Analysis to Wavelet Analysis in MATLAB R2011b].

Согласно рис. 5 сезонное колебание обнаруживается и в данных о поправках по модели

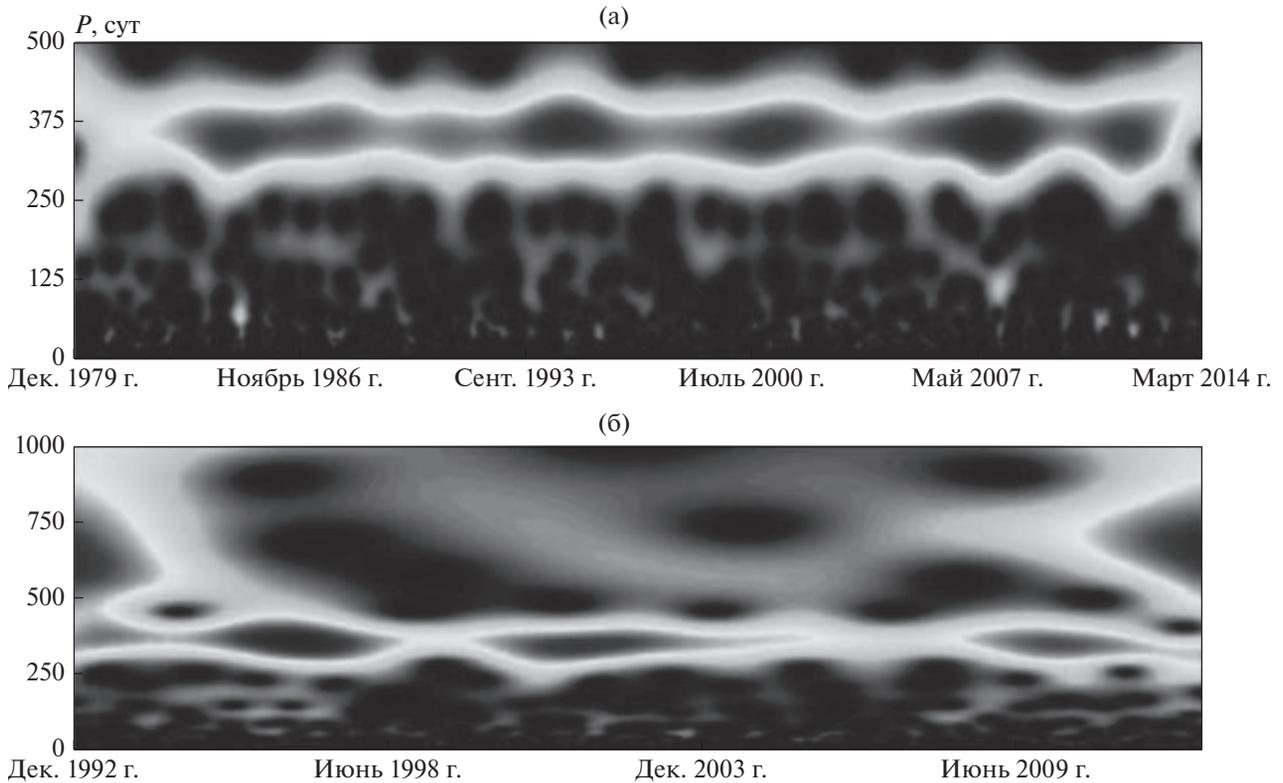


Рис. 5. Непрерывный частотно-временной вейвлет-анализ (вейвлеты 'morl') данных о поправках к вертикальным деформациям поверхности земли в пункте Кацивели: а – модель "Атмосфера"; б – модель "Океан".

“Океан”. Более того, в этом случае наблюдаются колебания с более длинными периодами (2 ± 0.5).

5. УСТАНОВЛЕНИЕ КОГЕРЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ

В анализе спектрального состава исходных данных нами использовался метод спектральных оценок, обладающий высокой разрешающей способностью для ограниченных последовательностей данных [12].

Согласно этому методу, установление взаимной корреляции между двумя (одноканальными) процессами состоит в вычислении функции взаимной (двухканальной) спектральной плотности мощности (СПМ), которая представляет собой дискретно-временное преобразование Фурье взаимной корреляционной функции x_y в виде:

$$P_{xy}(f) = T \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} r_{xy}[k] \exp(-j2\pi f k T), \quad (1)$$

где x и y – одноканальные процессы, f – частота, T – интервал времени.

Комплексное безразмерное выражение функции когерентности имеет вид

$$F_{xy}(f) = P_{xy}(f) / \sqrt{P_{xx}(f)} \sqrt{P_{yy}(f)}. \quad (2)$$

Для измерения сходства (как функции частоты) двух сигналов вычисляем квадрат модуля когерентности (КМК) в виде

$$\text{КМК}(f) = |F_{xy}(f)|^2 \quad (3)$$

и фазовый спектр когерентности

$$\theta(f) = \text{arctg} [\text{Im}\{F_{xy}(f)\} / \text{Re}\{F_{xy}(f)\}]. \quad (4)$$

Величина КМК (3) заключена между 0 (для частот, на которых отсутствует когерентность между каналами) и 1 (для частот, на которых каналы полностью когерентны). Фаза когерентности (4) характеризует отставание или опережение по фазе в канале X по отношению к каналу Y как функцию частоты.

Тенденции к синхронизации глобальных и локальных процессов в природе в настоящее время не подлежат сомнению [16].

Приведем некоторые результаты установления когерентных вариаций между данными о глобальных процессах (временные ряды данных об изменении длительности суток и солнечной активности) и локальными климатическими (инсоляция и температура поверхности земли) и геофизическими (элементы геомагнитного поля) характеристиками.

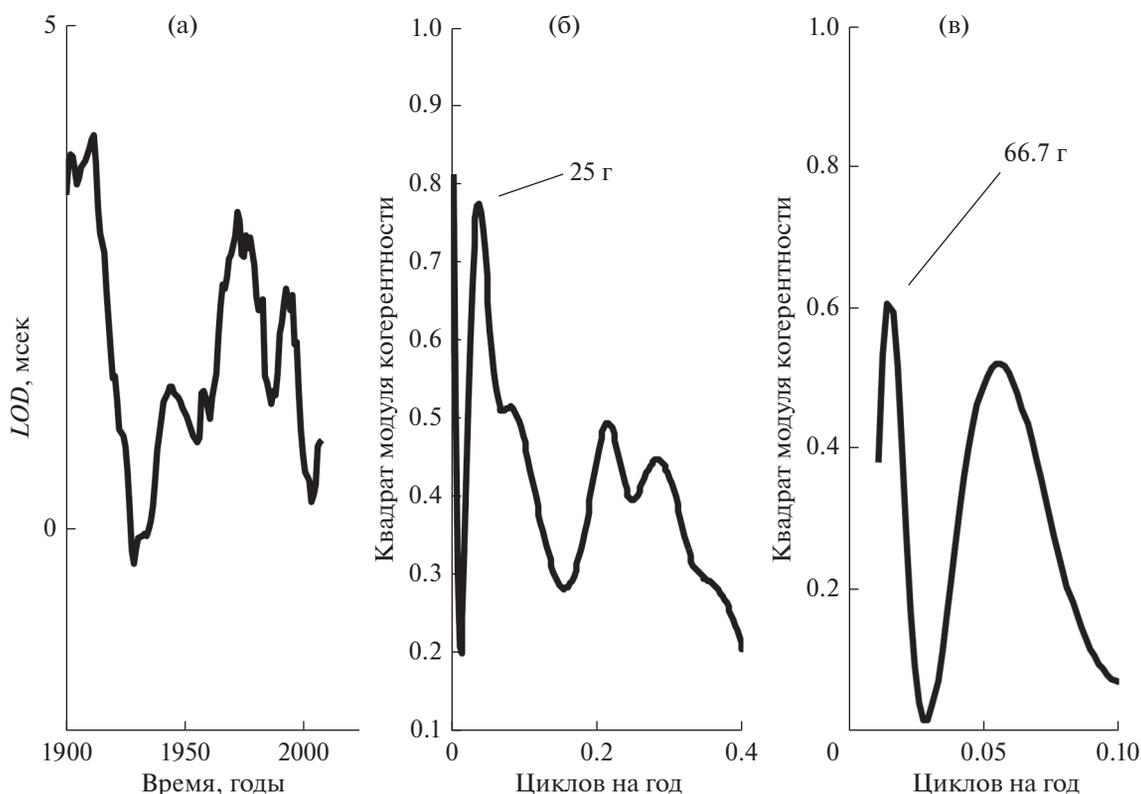


Рис. 6. Графики: а – отклонения длительности суток от стандартных LOD ; б – квадрат модуля когерентности LOD и H ; в – квадрат модуля когерентности LOD и F .

Для анализа используем временные ряды локальных характеристик в пунктах Кара-Даг и Фонарь, в которых наблюдаются отклонения от общих тенденций по Крыму.

Одним из главных глобальных геодинамических процессов, влияющих на изменения локальных геофизических и атмосферных характеристик, является вращение Земли вокруг своей оси и ее положение на орбите. Для установления когерентных колебаний сопоставим вычисленные [<http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>] данные о геомагнитных характеристиках в п. Кара-Даг (напряженность общего геомагнитного поля F , горизонтальная составляющая – H) и среднегодовые величины отклонений длительностей суток от стандартных (86400 сек). LOD (length of day), публикуемые Международной службой вращения Земли [12].

На графиках КМК рис. 6 максимальная когерентность между отклонениями длительности суток от стандартной и горизонтальной составляющей общего геомагнитного поля в пункте Кара-Даг определена для вариаций с периодом 25 лет (рис. 6б); максимальная когерентность между отклонениями длительности суток от стандартных и данными об общем геомагнитном поле определена для вариаций с периодом 66.7 лет.

Анализ данных за период 1900–2014 годы обнаружил высокую когерентность изменения из года в год напряженности общего геомагнитного поля п. Кара-Даг с изменениями из года в год среднегодовых величин глобальных аномалий температуры (см. рис. 7б) для вариаций с периодом 67 лет. Этот результат согласуется с выводами, опубликованными в работе [17] о едином механизме генерации многолетних вариаций с периодами в диапазоне 65–70 лет в глобальной температуре, изменениях углового момента ядра Земли, скорости вращения Земли. При этом предполагается, что геомагнитное поле может поддерживать этот процесс.

В цепочке солнечно-земных взаимодействий влияние солнечной активности на внешние и внутри земные процессы проявляется в событиях, период повторения которых составляет в среднем 11 лет. Региональные и локальные условия влияют на результат воздействия солнечной активности. Проведенный нами анализ обнаружил высокую когерентность изменения из года в год напряженности общего магнитного поля в п. Кара-Даг с изменениями из года в год числа солнечных пятен. На рис. 7а максимальное значение КМК соответствует вариациям с периодом 10.5 лет. Десятилетние вариации обнаружены ра-

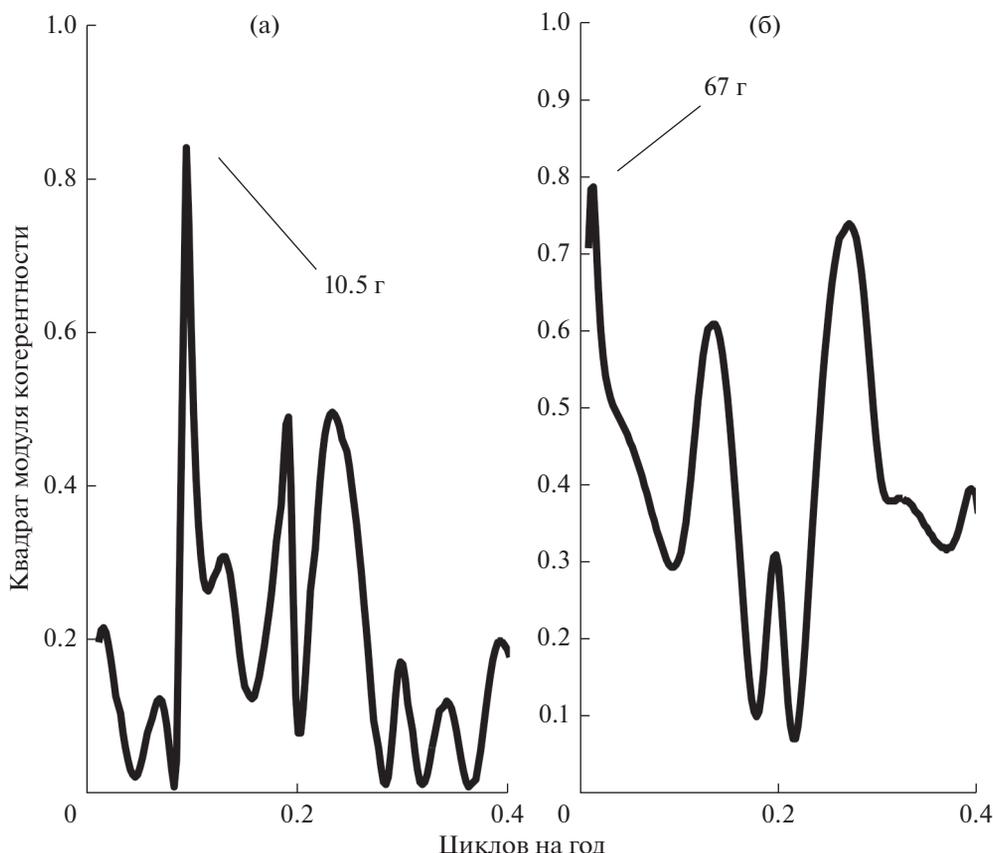


Рис. 7. Графики когерентных связей между изменениями из года в год среднегодовых данных общего геомагнитного поля в п. Кара-Даг и изменениями из года в год среднегодовых данных: а – числа солнечных пятен [<http://www.sidc.be/silso/datasdes>], б – среднегодовых данных об аномалиях глобальной температуры [<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata>].

нее в экспериментальных данных некоторых геодинамических, геофизических и гелиофизических процессов [18]. Их когерентность с вариациями в данных о локальном геомагнитном поле Крыма обсуждается впервые.

Связь локальных климатических и геофизических характеристик с многолетними изменениями глобальной температуры Земли в настоящее время является предметом дискуссий. Отсутствие знаний о многолетнем механизме этой связи дополняется гипотезами и анализом эмпирических данных. На рис. 7б демонстрируется когерентная связь 67-летних вариаций в среднегодовых данных об изменениях из года в год глобальных аномалий температуры и общей напряженности геомагнитного поля в пункте Кара-Даг, что согласуется с выводами об общем источнике генерации этого колебания [17].

ВЫВОДЫ

1. Анализ проявлений астрономических циклов в локальных климатических и геофизических характеристиках Крыма допускает мысль о тен-

денции к синхронизации процессов различной физической природы даже при слабой их связи.

2. Установленные в настоящей работе когерентные вариации с периодами около 10–12 и 60–70 лет обнаруживаются в различных по своей физической природе процессах и могут быть отнесены к глобальным циклам в Солнечной системе, проявление которых в климатических и геофизических локальных процессах является результатом общей тенденции к синхронизации. В этом процессе возможны появления когерентных вариаций с кратными или соизмеримыми частотами.

3. Развитие средств наблюдений: радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами, лазерной локации искусственных спутников и Луны, спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС, привело к опережающему росту точности наблюдений по сравнению с точностью моделирования. Точность моделирования эволюции локальных климатических и геофизических характеристик во многом зависит от уровня наших представлений об их связи с глобальными процессами в Солнечной системе.

4. Возможные изменения локальных климатических и гелио геофизических условий предсказываются с помощью соответствующих моделей, которые из-за нерешенных вопросов в исследовании причин изменения скорости вращения Земли, механизма солнечно-земных связей, океана, атмосфер, процессов внутри Земли имеют статистический характер и нуждаются в уточнении с помощью наземных и космических наблюдений.

5. Для обеспечения возможности сравнения различных результатов наблюдений требуется общая система координат. В настоящее время принята международная земная система отсчета (ITRF). Так как точность пространственных геодезических наблюдений гораздо выше, чем у существующих реализаций опорной сети, а неучтенные нелинейные движения станции являются основным источником ошибок в текущих реализациях системы отсчета, неучтенные эффекты гидрофизической нагрузки (атмосфера, океан и гидрология) вызывают периодические колебания во временных рядах координат станций и отражаются на точности определения параметров вращения Земли [19, 20].

6. В результате выполненного нами анализа данных о поправках к вертикальным деформациям земли в пункте Кацевели, вычисленных по модели “Атмосфера”, обнаружено и вычислены параметры аналитической модели сезонного колебания с амплитудой 3.37 мм.

Работа частично поддержана Программой 12 РАН и грантом РФФИ 19-42-910002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. Вып. 11. С. 1145–1170.
2. Курбасова Г.С., Вольвач А.Е. Вейвлет-анализ наземных и космических измерений локальной инсоляции // Космическая наука и технология. 2014. Т. 20. № 4. С. 42–49.
3. Курбасова Г.С., Вольвач А.Е. Вейвлеты в практике анализа одномерных временных рядов наблюдений. Запорожье: Запорожский нац. ун-т. 2016.
4. Курбасова Г.С., Вольвач А.Е. Вертикальные деформации земли в Крыму по РСДБ-наблюдениям // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. Т. 8. Ч. 2. С. 63–66.
5. Курбасова Г.С., Вольвач А.Е. Многолетние изменения геомагнитного поля Крыма // Естественные и математические науки в современном мире. 2015. Т. 1. С. 184–192.
6. Курбасова Г.С., Вольвач А.Е. Геомагнитное поле и климат Кара-Дага: когерентные колебания // Естественные и математические науки в современном мире. 2015. Т. 3. С. 84–90.
7. Курбасова Г.С., Вольвач А.Е. Время ГЛОНАСС: вейвлет-анализ данных С1 // Естественные и математические науки в современном мире. 2015. Т. 4. С. 62–69.
8. Курбасова Г.С., Вольвач А.Е., Корсакова С.П. Температура поверхности Земли в “Никитском ботаническом саду” // Естественные и математические науки в современном мире. 2015. Т. 5. С. 205–214.
9. Курбасова Г.С., Вольвач А.Е. Геодинамические циклы в данных об инсоляции полуострова Крым // Наука вчера, сегодня, завтра. 2016. Т. 4. С. 79–85.
10. Seitz M., Blossfeld M., Angermann D. et al. Deutsches Geodatisches Forschungsinstitut. PANGAEA. 2016.
11. Volvach A.E., Volvach L.N., Kutkin A.M. et al. Sub-parsec Structure of Binary Supermassive Black Holes in Active Galactic Nuclei // Astronomy Reports. 2010. V. 54. № 1. P. 28–37.
12. Вольвач А.Е., Юровский Ю.Ю., Вольвач Л.Н. и др. Анализ частотного запаздывания всплесков в активных ядрах галактик с помощью дискретной функции корреляции // 17-я Международная конференция “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”. Севастополь: Крым. 2007. С. 824–828.
13. Сидоренков Н.С. Лунно-солнечные приливы и атмосферные процессы // Природа. 2008. Т. 2. С. 23–31.
14. Kurbasova G.S., Volvach A.E. The insolation anomalies on the Crimean peninsula with observations from space // Conference Proceedings CriMiCo2014. Sevastopol: Weber Publishing. 2014. V. 2. P. 1085–1088.
15. Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990.
16. Беппи Б.Л. Синхронные процессы в оболочках Земли и их космические причины. Вестник МГУ. 1991. Сер. 5. География. № 1. С. 20–25.
17. Jean O. Dickey, L. Marcus Steven. Air temperature and anthropogenic forcing: Insight from the Solid Earth // J. Climate. 2011. V. 24. P. 569–574.
18. Kurbasova G.S., Korsun A.A., Rykhlova L.V. et al. Statistical correlations between 10-year variations of Annual mean geodynamical, geophysical and heliophysical data // Astronomy Reports. 1997. V. 41. № 1. P. 128–134.
19. Vondrak J., Ron C. Geophysical excitation of nutation comparison of different models // Acta Geodyn. Geomat. 2014. V. 11. № 3. P. 193–200.
20. Vondrak J., Ron C. Earth orientation and its excitations by atmosphere, oceans, and geomagnetic jerks // Serb. Astron. J. 2015. V. 191. P. 59–66.