

УДК 523.31-1/-8

Сезонные колебания в наблюдениях параметров солнечной энергии и деформаций земли в Крыму

Курбасова Г. С., Вольвач А. Е.
Отдел радиоастрономии и геодинамики,
Крымская астрофизическая обсерватория,
Ялта, 298688, Российская Федерация
volvach@bk.ru

Получено: 10 июня 2018 г.
Отрецензировано: 25 июня 2018 г.
Принято к публикации: 2 июля 2018 г.

Аннотация: Обнаружены эффекты регулярных солнечных и геодинимических колебаний в спутниковых данных об инсоляции падающей на поверхность земли в пункте Кара-Даг за период с 1983.5 по 2005.5 годы. Определены параметры синусоидальной модели сезонного колебания. Обсуждаются возможные причины роста амплитуды этого колебания. С помощью вейвлет-преобразования исследована спектральная структура и пространственно-временные изменения в спутниковых данных об инсоляции падающей на поверхность земли в пункте Кара-Даг и локальных не смоделированных деформациях земли в пункте Кацивели. В радиоинтерферометрических временных рядах наблюдений дополнений к деформациям поверхности земли, проводимых в рамках Международных проектов на станции «Симеиз» (Кацивели), обнаружены и смоделированы периодические составляющие. Амплитуда наиболее значимой сезонной составляющей равна 3.34 мм. С помощью частотно-временного вейвлет-преобразования получена информация о временной локализации и изменениях мощности и частоты сезонных колебаний в данных об инсоляции падающей на поверхность Земли в пункте Кара-Даг за период с 1983.5 по 2005.5 годы и в данных о локальных не смоделированных деформациях земли в пункте Кацивели за период с 1980 по 2014 годы.

Ключевые слова: инсоляция; геодинимические циклы; вейвлет-преобразования; РСДБ-наблюдения.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Курбасова Г. С., Вольвач А. Е. Сезонные колебания в наблюдениях параметров солнечной энергии и деформаций Земли в Крыму // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2018. Т. 1. № 3. С. 253—265.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Курбасова, Г. С. Сезонные колебания в наблюдениях параметров солнечной энергии и деформаций Земли в Крыму / Г. С. Курбасова, А. Е. Вольвач // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2018. — Т. 1, № 3. — С. 253—265.

Seasonal fluctuations in observations of solar energy parameters and Earth deformations in Crimea

G. S. Kurbasova and A. E. Volvach

*Radio Astronomy and Geodynamics Department, Crimean Astrophysical Observatory
Yalta, 298688, Russian Federation
volvach@bk.ru*

Received: June 10, 2018

Peer-reviewed: June 25, 2018

Accepted: July 2, 2018

Abstract: *The effects of regular solar and geodynamic oscillations in satellite data on the insolation of earth falling on the surface at Kara-Dag point for the period from 1983.5 to 2005.5 have been discovered. The parameters of the sinusoidal model of seasonal fluctuations are determined. Possible reasons for the increase in the amplitude of this oscillation are discussed. With the help of the wavelet transform, the spectral structure and spatial-temporal changes in the satellite data on the insolation of the incident on the earth's surface at Kara-Dag and local un modeled deformations of the earth at the point of Katsiveli were investigated. In the interferometric radio time series of observations of additions to the deformations of the earth's surface, carried out in the framework of international projects at the Simeiz station (Katsiveli), periodic components were found and modeled. The amplitude of the most significant seasonal component is 3.34 mm. Using the time-frequency wavelet transform, information was obtained on the temporal localization and changes in the power and frequency of seasonal fluctuations in the data on the insolation of the earth falling on the Kara-Dag point for the period from 1983.5 to 2005.5 and in the data on local un modeled deformations of the earth in paragraph Katsiveli for the period from 1980 to 2014.*

Keywords: *insolation; geodynamic cycles; wavelets; VLBI observations.*

For citation (IEEE): G. S. Kurbasova and A. E. Volvach, "Seasonal fluctuations in observations of solar energy parameters and Earth deformations in Crimea," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 1, no. 3, pp. 249–261, 2018. (In Russ.).
doi: 10.15826/icrt.2018.01.3.19

1. Введение

Крымский полуостров расположен вблизи границы Евразийской литосферной плиты. Деформации и движения этой плиты на длительном интервале времени оказывали и оказывают в настоящее время влияние на активизацию внутри земных процессов (землетрясения, вулканы, сели). Об активизации внутри земных процессов свидетельствуют аномалии в смещении поверхности пунктов наблюдений.

Координаты пунктов наблюдений (наземные системы отсчета) содержат информацию о его положении и линейных скоростях. Они изменяются под влиянием постоянно действующих и периодических процессов связанных с движением Земли вокруг оси и по орбите в Солнечной системе. Тем не менее, на границах между литосферными плитами наблюдаются значительные аномалии линейных скоростей. Кроме того, аномалии в смещении пунктов наблюдений и деформации поверхности земли на границах литосферных плит являются основным источником землетрясений.

Влияние внешних и внутри земных процессов на климат и экологию Крыма по-разному проявляется на различных масштабах времени. Поэтому описание долголетних изменений и прогноз геофизических и климатических характеристик полуострова возможен по непрерывным наземным наблюдениям в течение многих лет.

На полуострове Крым есть несколько ретровулканов. Один из них, особо опасный по экологическим последствиям, действовал в пункте Кара-Даг.

Аномальное усиление солнечной инсоляции поверхности земли может вызвать в локальных пунктах ответную реакцию при наличии в ее недрах очагов возбуждения. К таким очагам относятся, прежде всего, недавние и прошлые (ретро) вулканы.

В настоящее время не существует методов предсказания их «пробуждения». Существует ряд косвенных признаков возможной активизации землетрясений и вулканов. К ним относятся такие как экстремальные события на Солнце, динамика вращения Земли, активизация течения жидких масс внутри Земли, события в атмосфере и магнитосфере.

Нарушения теплового баланса, необъяснимый периодически протекающими процессами приток энергии в локальном месте поверхности земли, служат сигналом нестабильности экологической обстановки.

2. Инсоляция, падающая на поверхность земли в пункте Кара-Даг

На протяжении нескольких последних лет авторами настоящей работы изучались изменения локальных геофизических и климатических

характеристик Крыма под влиянием глобальных и региональных геодинамических процессов [4—6]. При этом особый интерес представляет обнаруженный авторами повышенный рост инсоляции на поверхность земли в пункте Кара-Даг [4, 5].

Предварительно из данных был удален ненормированный «белый» шум с помощью метода вейвлет-преобразования (вейвлеты 'haar'), который позволяет учитывать изменения статистических параметров шума по оси времени. Очищенные от «белого» шума данные содержат не «белый» шум, уровень которого оценивается стандартным отклонением 0.151.

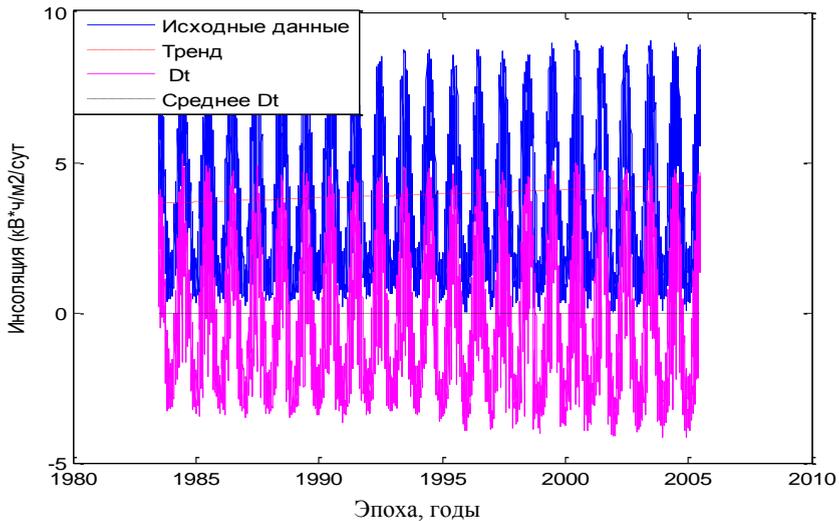


Рис. 1. Графики: исходных данных после удаления «белого» шума (синий цвет); линейный тренд (красная прерывистая линия); данные **Dt** (линейный тренд удален, среднее равно 0).

Fig. 1. Charts: source data after removing the “white” noise (blue color); linear trend (red dashed line); **Dt** data (linear trend removed, average is 0)

На рисунке 1 демонстрируются последовательные этапы подготовки данных к анализу.

Линейная модель тренда в данных об инсоляции поверхности земли в пункте Кара-Даг имеет вид:

$$f(x) = p1*x + p2, \quad (1)$$

где единицы измерения x равны 1 сутки, а единицы измерения коэффициентов $p1$ и $p2$ — $\text{кВ} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 / \text{сут}$.

Коэффициенты (с 95 % доверительными границами) равны:

$p1 = 7.363e-005$ (7.363e-005, 7.363e-005); $p2 = 3.646$ (3.646, 3.646).

Оценка точности приближения моделью: скорректированный R-квадрат равен 1; средняя квадратическая ошибка приближения тренда линейной моделью равна (RMSE) = 1.044e-014. Согласно модели приближения (1) пренебрежимо малое приращение инсоляции за 1 сутки составляет за год 0.0269 кВ*ч/м², а за столетие — 2.69 кВ*ч/м², что более чем в 2 раза превышает скорость приращения на таком же интервале времени инсоляции падающей на поверхность земли в других пунктах Крыма.

2.1. Выделение сезонного колебания

Изучение периодических процессов в данных Dt об инсоляции поверхности земли в пункте Кара-Даг нами проведено с помощью частотно-временного непрерывного вейвлет — анализа, результаты которого приведены на рис. 2.

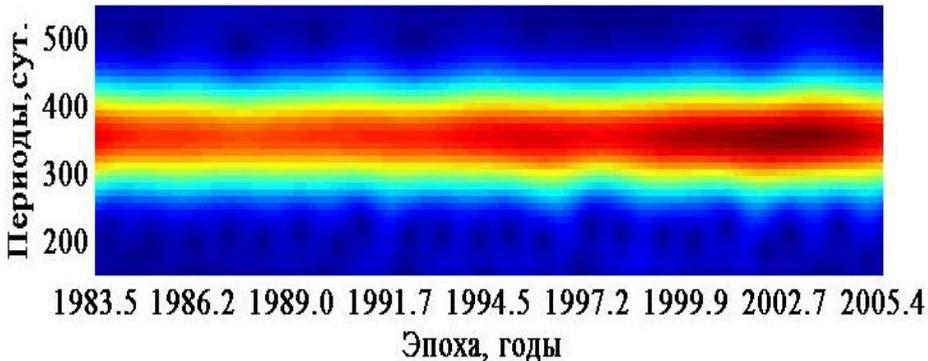


Рис. 2. Непрерывный частотно-временной вейвлет-анализ (вейвлеты 'morl') данных о среднесуточной инсоляции падающей на горизонтальную поверхность земли в пункте Кара-Даг (данные SSE).

Fig. 2. Continuous time-frequency wavelet analysis ('morl' wavelets) of data on the average daily insolation of earth falling on a horizontal surface at Kara-Dag (SSE data).

Анализ графика на рис. 2 показывает: наиболее мощные гармонические колебания выделяются в интервале периодов \sim (231 – 452) суток; на временном интервале \sim (1995 – 2005) лет наблюдается нарастающий локальный рост энергии колебаний.

Частотно-временной вейвлет – анализ обнаруживает регулярные периодические колебания в данных, которые могут быть описаны гладкими периодическими функциями.

Выбранная нами глобальная модель периодических колебаний в анализируемых данных имеет вид

$$f(x) = \sum_{i=1}^n a_i \sin(b_i x + c_i), \quad (2)$$

где n – количество синусоид суммируемых в модели; a_i , b_i , c_i ($i=1, \dots, n$) – коэффициенты.

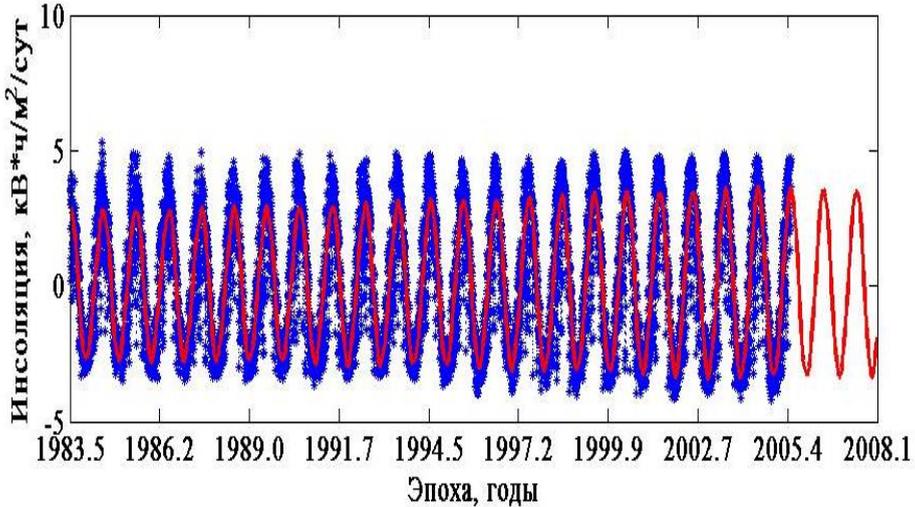


Рис. 3. Данные об инсоляции поверхности земли в пункте Кара-Даг за период 1983—2005 годы после удаления ненормированного «белого шума» и линейного тренда (отмечены звездочками *); кривая приближения периодической составляющей в данных (сплошная линия), вычисленная с помощью синусоидальной модели 6 порядка. После 2005.4 — прогноз.

Fig. 3. Data on the insolation of the earth's surface at Kara-Dag point for the period 1983–2005 after the removal of unnormalized “white noise” and a linear trend (marked with asterisks *); the curve of the approximation of the periodic component in the data (solid line), calculated using a sinusoidal model of 6 order. After 2005.4 – prognosis

Приближение процесса периодических изменений инсоляции со временем выполнено нами в виде суммы 6 синусоид с периодами: 365.3, 182.2, 344.7, 365.7, 87.2, 402.2 суток. При выборе модели возможных периодических колебаний в данных учитывались погрешность приближения синусоидальной моделью (2) различного порядка и условие наименьшего количества коэффициентов в соответствии с требованиями статистики, чтобы избежать переопределения. Погрешность приближения синусоидальной моделью данных об инсоляции оценивается параметрами: $R^2 = 0.8947$ сравнивает дисперсию предсказываемой величины с дисперсией

ошибок; скорректированный $R^2 = 0.8946$, в котором используются несмещенные оценки дисперсий, позволяет сравнивать модели с разным числом факторов; среднеквадратическая ошибка (Root Mean Square Error, RMSE) = 0.7419, показывает, насколько точно используемая модель позволяет приблизить последовательность данных.

Амплитуды наиболее значимых колебаний с периодами 365.3, 365.7 суток соответственно равны 6.34 и 4.8 $\text{кВ}^*\text{ч}/\text{сутки}$. Величины амплитуд остальных периодических колебаний в модели 6 порядка находятся в пределах погрешности приближаемых данных. Например, амплитуда полугодового колебания с периодом 182.2 суток равна 0.2 $\text{кВ}^*\text{ч}/\text{м}^2/\text{сутки}$, что менее чем в два раза превосходит среднеквадратическую погрешность очищенных от «белого» шума исходных данных. Отсюда следует, что основной периодический процесс (сезонная составляющая) обусловлен суммой двух сдвинутых по фазе волн с периодами ~ 365 суток.

2. Наблюдения деформационных процессов.

Для изучения возникающих и развивающихся деформационных процессов, движений литосферных плит создаются геодинимические полигоны, оснащенные высокоточным экспериментальным оборудованием, на котором реализуется проведение комплексных наблюдений методами радио интерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ), лазерной локации искусственных спутников (ЛЛС), спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС.

Долговременные наблюдательные программы, в которых участвуют десятки стран и многие международные и национальные организации, основаны на достижениях Глобальной навигационной спутниковой системы ГНСС: GPS (США) и ГЛОНАСС (РФ).

В Кацивели наблюдения проводятся несколькими методами (РСДБ, ЛЛС, GPS и ГЛОНАСС), поэтому параметры сезонных колебаний сопоставимы, так как в пределах места совместного размещения инструменты должны измерять одно и то же физическое движение Земли. Любое несоответствие между определяемыми параметрами сезонных колебаний в этом случае может интерпретироваться как технико-специфические ошибки на одном и том же интервале времени. Кроме того, в сети станций наблюдений в результате глобальной обработки уравнивается и стабилизируется точность наблюдений. Учитывая сопоставимость сезонных колебаний в данных полученных разными методами, нами использовались для анализа РСДБ-наблюдения на телескопе РТ-22.

РСДБ — это метод, созданный для наблюдений в астрофизике и астрометрии. Позже этот метод реализовался в геодезии в зависимости от

наземных и небесных целевых наблюдательных сеансов с точки зрения количества наблюдаемых радиоисточников, а также количества и последовательности наблюдений для радиоисточников. Радиотелескопы, образующие исходные линии в сети станций, довольно устойчиво прикреплены к подстилающей горной породе через их крепления. Поверхность Земли, однако, нестабильна. Кроме того, литосфера подвержена различным деформациям. Некоторые из деформаций довольно постоянные или периодические и поэтому прогнозируемые. Другие индивидуальны, эпизодические и прерывистые, например, во время и после сейсмического события.

Транспортировка масс в глобальных геофизических жидких и газообразных оболочках Земли (атмосфера, океаны, гидрология, приливы, мантия, ядро) влияет на изменения параметров вращения Земли, вызывает изменения гравитационного поля и смещение геоцентра. Кроме того, под влиянием лунно-солнечных приливов необратимо деформируется поверхность Земли [1]. Помимо предсказуемых деформаций, наблюдаются изменения, не объяснимые в теории приливов — так называемые не смоделированные добавки к деформациям поверхности твердой земли. В настоящее время проблема достижения миллиметровой точности в определении положений и скоростей смещений наблюдательных инструментов требует учета этих добавок, что стало возможным благодаря скоординированной работе в сети станций наблюдений.

Приведем некоторые результаты выполненного нами анализа данных о дополнениях к деформациям земли: вертикальных — dU_p , северных — dN , восточных — dE в пункте Кацевели, вычисленных по модели «Атмосфера» в отделе исследований в DFG (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut) на основе наблюдений в сети РСДБ с участием радиотелескопа РТ-22 станции «Симеиз».

Исходные данные представлены Службой IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) [3] в виде трех временных рядов дополнений к деформациям поверхности земли: dU_p (вертикальные), dN (северные), dE (восточные) с интервалами между отсчетами 0.25 суток.

Подготовка данных к анализу включала: определение и исключение ненормированного «белого» шума; вычисление дискретных статистик не «белого» шума (среднее равно 0, стандартное отклонение равно 1.10).

Основной целью проведения частотно-временного анализа в нашем случае является обнаружение периодических составляющих и получение частотно-временных характеристик. Соответствие между длиной волны Фурье и масштабом достигается правильным выбором типа вейвлета. Для случая оценки частот (периодов) гладких функций разработаны и предлага-

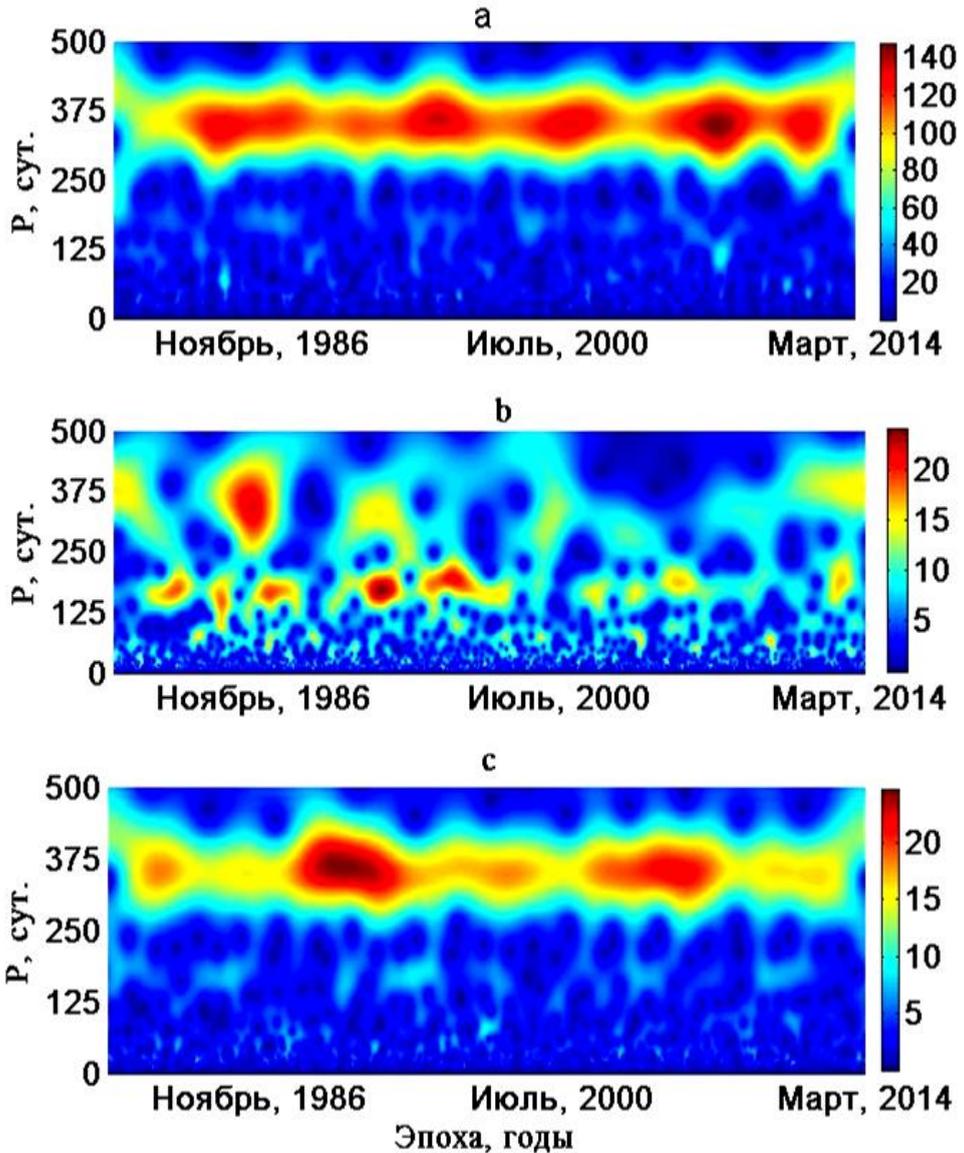


Рис. 4. Непрерывный частотно-временной вейвлет-анализ (вейвлеты 'morl') временных рядов дополнений к деформациям поверхности земли РСДБ-станции «Симеиз» (модель «Атмосфера»): а — вертикальные (dUp), б — северные (dN), с — восточные (dE).

Fig. 4. Continuous time-frequency wavelet analysis (morl wavelets) of time series of additions to the deformations of the earth of the Simeiz VLBI station (Atmosphere model): a – vertical (dUp), b – northern (dN), c – eastern (dE)

гаются пользователям алгоритмы частотно-временного анализа данных с применением вейвлетов 'morle' и 'paul' [7].

Проведенный частотно-временной непрерывный вейвлет-анализ данных о дополнениях к деформациям поверхности земли в пункте Качивели (станция РСДБ «Симеиз») демонстрируется на рисунке 4. Предварительно нами было установлено соответствие между периодами (частотами) в сутках и параметром масштаба a , между параметром смещения по оси времени b и эпохой наблюдений. Анализ графиков на рисунке 4 не вызывает сомнений в существовании регулярных периодических вариаций в данных о вертикальной и восточной составляющих (см. рис.4а и рис.4с) в диапазоне периодов $\sim (250—500)$ суток. На этом рисунке интенсивность колебаний отмечена цветовой гаммой и индикатором степени интенсивности справа.

Северная составляющая (рис.4b) на временном интервале анализа не имеет регулярных колебаний либо амплитуды их не превышают погрешностей анализируемых данных. Наиболее мощное сезонное колебание, амплитуда которого выше 3 стандартных отклонений в очищенных от «белого» шума данных, выделяется в данных о дополнениях к вертикальным деформациям.

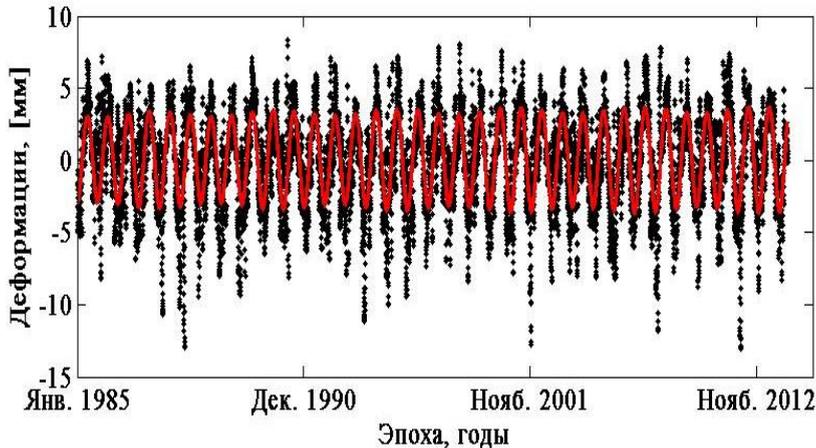


Рис. 5. Данные о вертикальных дополнениях к деформациям поверхности земли РСДБ-станции «Симеиз» (модель «Атмосфера») после удаления ненормированного «белого шума» и тренда (отмечены звездочками *); кривая приближения сезонной составляющей с периодом 365.3 суток (красная, сплошная линия), вычисленная с помощью синусоидальной модели 3-го порядка.

Fig. 5. Data on vertical additions to the ground surface deformations of the Simeiz VLEDB station (Atmosphere model) after removing the unnormalized white noise and the trend (marked with asterisks *); curve of approximation of the seasonal component with a period of 365.3 days (red, solid line), calculated using a third-order sinusoidal model

В последующем анализе нас будет интересовать приближение гладкой функцией наиболее мощного (сезонного) колебания.

Для анализа нами выбрана модель 3-го порядка, так как увеличение количества синусоидальных компонент уменьшает среднеквадратическую погрешность приближения (Root Mean Square Error, RMSE) равную для модели 3 порядка 2.335 во втором знаке после запятой вплоть до модели 8 порядка. При этом коэффициент детерминации R^2 равен 0.510. Так как увеличение количества синусоид в структуре модели не приводит к существенному изменению погрешности приближения, можно полагать присутствие в данных не периодических, возможно, различных по природе дополнений.

На рисунке 5 приведены графики данных dU_p очищенные от «белого» шума и их приближение синусоидальной моделью.

3. Заключение

1. Изучение местных регулярных и нерегулярных изменений земной поверхности Крыма, а также сопровождающих эти деформации разрушения различных объектов жизнеобеспечения людей и ухудшение экологической обстановки, необходимо в связи с прогрессирующим нарастанием различного рода критических деформаций земной поверхности Крыма. Проводимые много лет на полигоне «Симеиз-Кацивели» наблюдения по согласованным международным программам в настоящее время служат для научных исследований. В то же время положение Крыма вблизи разлома Евразийской плиты и усиленное освоение территории полуострова строительными комплексами требует создания комплексной сети локальных геодинамических станций, прогнозирующих возможности и экологическую безопасность для проведения геодезических, строительных и сельскохозяйственных работ. Изучение местных нерегулярных изменений фигуры Земли, гравитационных, магнитных и сейсмических полей, местных и общих деформаций земной коры необходимо для прогноза землетрясений путем выявления района с аномальными значениями этих параметров. Комплексное изучение планетарных, региональных и местных геодинамических процессов является необходимым условием прогноза катастрофических природных явлений [2].

2. Гелиогеофизические процессы воздействуют на атмосферу и происходящие в ней динамические процессы. Устойчивая периодичность этих процессов помогает решать задачи прогноза глобальных и локальных событий. Особую роль в решении задачи прогноза экстремальных ситуаций выполняет сезонная составляющая, изменения параметров которой на ко-

ротком интервале времени служат предостережением о нарушении энергетического баланса. При этом необходимо учитывать сложное взаимодействие близких по частоте циклов в различных геосферах, которое может вызывать резонансные явления сопровождаемые увеличением амплитуды суммарного колебания, как это имеет место в нашем случае с сезонной составляющей в данных об инсоляции падающей на поверхность земли в пункте Кара-Даг. Повторяемость этого события также характеризуется цикличностью.

Частотно-временной вейвлет-анализ данных об инсоляции падающей на поверхность земли в пункте Кара-Даг обнаружил кратковременные энергетические скачки, локализация и интенсивность которых характерна для данного пункта и не наблюдается в аналогичном вейвлет-анализе данных об инсоляции на поверхность земли в других пунктах Крыма. Поэтому есть основание связать их происхождение с локальными условиями.

3. Амплитуды колебаний земных процессов зависят от колебаний солнечной активности, лунно-солнечных приливных сил, скоростей вращения Земли, а также от взаимодействий геофизических процессов. Проведенный нами вейвлет-анализ трех временных рядов дополнений к деформациям Земли станции РСДБ «Симеиз» (см. рис. 4), вычисленных по модели «Атмосфера» за период 1980—2014 годы, обнаружил существенное колебание с периодом 1 год (сезонная составляющая) и амплитудой 3.34 мм в вертикальной составляющих вектора дополнений к деформациям поверхности земли. Причем в северной составляющей этого вектора отсутствуют непрерывные периодические колебания в рассматриваемом интервале частот. Можно предположить, что генерация периодических колебаний в рассматриваемом интервале частот связана с динамикой движения Луны и Земли вокруг Солнца. Изменение интенсивности колебаний можно оценить визуально с помощью колонок цветовых индикаторов (справа). Более детальный анализ показал на присутствие в данных и других приливных периодических колебаний. Так как присутствие периодических колебаний в непрерывных временных рядах позволяет прогнозировать их поведение с помощью аналитической модели, нами была построена такая модель и определены периоды 6 наиболее значимых колебаний.

Список литературы

1. Авсюк Ю. Н. Приливные силы и природные процессы. М. : 1996. 188 с.
2. Берри Б. Л. Синхронные процессы в оболочках Земли и их космические причины. Вестн МГУ. 1991. Сер. 5, №1. С. 20—27.
3. IERS, Geophysical fluids data. Retrieved from <https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/GeophysicalFluidsData/geoFluids.html>

4. Курбасова Г. С., Вольвач А. Е. Аномалии инсоляции полуострова Крым по наблюдениям из космоса. В кн. : 24-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2014 (Севастополь, 7—13 сент. 2014 г.). 2014. С. 1085—1086.
5. Курбасова Г. С., Вольвач О. Є. Вейвлет-аналіз наземних і космічних вимірів локальної інсоляції // Космічна наука і технологія. 2014. Т. 20. № 4. С. 42—49.
6. Курбасова Г. С., Вольвач А. Е. Корсакова С. П. Температура поверхности земли в Никитском ботаническом саду. В кн. : 30-я Междунар. Науч.-практ. конф. «Естественные и математические науки в современном мире». Новосибирск, СибАК, 2015. С. 205—213.
7. Torrence C., Compo, G. P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. // Bull. Am. Meteorol. Soc. 1998. Т. 79. С. 61—78.
8. Surface meteorology and Solar Energy – A renewable energy resource web site (release 6.0). 2015. URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

References

- [1] Yu. N. Avsyuk, *Prilivnyye sily i prirodnnyye protsessy* [Tidal forces and natural processes]. Joint Institute of Physics of the Earth named after O. Schmidt RAS. Moscow, 1996. (in Russ.).
- [2] B. L. Berry, “Sinkhronnyye protsessy v obolochkakh Zemli i ikh kosmicheskiye prichiny [Synchronous processes in the Earth's shells and their cosmic causes],” *Vestnik MGU*, ser. 5 (1), pp. 20–27, 1991. (in Russ.).
- [3] IERS, Geophysical fluids data. Retrieved from <https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/GeophysicalFluidsData/geoFluids.html>
- [4] G. S. Kurbasova and A. E. Volvach, “The insolation anomalies on the Crimean peninsula with observations from space,” in *Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2014 24th International Crimean Conference*, 2014, pp. 1085–1086. (in Russ.).
- [5] G. S. Kurbasova and A. E. Volvach, “Wavelet analysis of terrestrial and space measurements of local insolation,” *Space Science and Technology*, vol. 20, no. 4, pp. 42–49, 2014. (In Ukr.).
- [6] G. S. Kurbasova et al. “Surface temperature in Nikitsky Botanical Garden,” in *Natural and mathematical sciences in the modern world, XXX International scientific and practical conference*, 2015, pp. 205–213. (in Russ.).
- [7] C. Torrence, G. P. Compo, A “Practical Guide to Wavelet Analysis,” *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 79, pp. 61–78, 1998.
- [8] Surface meteorology and Solar Energy – A renewable energy resource web site (release 6.0). 2015. URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Информация об авторах

Вольвач Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Курбасова Галина Сергеевна, кандидат физико-математических наук, заведующая лабораторией геодинамики ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Information about the authors

Alexandr E. Volvach, Dr. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Galina S. Kurbasova, Cand. Sci. (Eng.), head of laboratory of FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.