

УДК 550.2

Анализ метеорологических и солнечных рядов спутниковых наблюдений в пункте Кара-Даг

Курбасова Г. С., Вольвач Л. Н., Вольвач А. Е.

Отдел радиоастрономии и геодинамики,

Крымская астрофизическая обсерватория, Ялта, 298688, Российская Федерация

volvach@bk.ru

Получено: 20 июля 2022 г.

Отрецензировано: 22 июля 2022 г.

Принято к публикации: 22 июля 2022 г.

Аннотация: *В настоящей работе обсуждаются результаты анализа временных рядов измерений из космоса локальных температур поверхности Земли и воздуха на высоте 2 метров, а также общей инсоляции падающей на поверхность Земли в пункте Кара-Даг за последние 38 лет. Установлены взаимные корреляции между анализируемыми последовательностями локальных измерений и изменениями длительности суток, числа солнечных пятен, индексов изменения глобальной температуры методом вычисления функций взаимной (двухканальной) спектральной плотности мощности.*

Ключевые слова: *солнечная инсоляция, температура поверхности Земли, вейвлет-анализ, когерентные колебания, модель.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Вольвач Л. Н., Курбасова Г. С., Вольвач А. Е. Анализ метеорологических и солнечных рядов спутниковых наблюдений в пункте Кара-Даг // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2022. Т. 5, № 3. С. 295—303.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018): Курбасова, Г. С. Анализ метеорологических и солнечных рядов спутниковых наблюдений в пункте Кара-Даг / Г. С. Курбасова, Л. Н. Вольвач, А. Е. Вольвач // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2022. — Т. 5, № 3. — С. 295—303.

1. Введение

На полуострове Крым, сейсмически активной зоне Земли, есть несколько ретровулканов. Один из них, особо опасный по экологическим последствиям, действовал в пункте Кара-Даг. В настоящее время не существует методов предсказания его «пробуждения». Существует ряд косвен-

ных 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, служит сигналом нестабильности экологической обстановки.

Проведенный нами ранее частотно-временной вейвлет-анализ обнаруживает рост общей инсоляции падающей на поверхность земли, температуры поверхности Земли и приземного воздуха в Крыму за последние ~20 лет. При этом преимущественный (по сравнению с другими пунктами Крыма) рост общей инсоляции в Кара-Даге предполагается связанным с локальными геологическими условиями [1—4]. Инсоляция, падающая на поверхность атмосферы, составляет главный вклад Солнца в энергетику Земли. Но до поверхности Земли через атмосферу приходит только часть этой энергии, которая распределяется неравномерно. Локальные геологические особенности, техногенные факторы, а также региональная и глобальная активность эндогенных процессов Земли способствуют неравномерному распределению инсоляции, падающей на поверхность земли Крыма.

Причиной, побудившей к написанию этой статьи, служит обнаруженное нами ранее повышенное прогревание поверхности земли и повышенный рост общей инсоляции падающей на поверхность Земли в пункте Кара-Даг по сравнению с другими пунктами Крыма и возможность использовать для анализа более длинные временные ряды среднегодовых данных за период с 1983 по 2019 годы и ежедневных (суточных) за период с 1982.01.01 по 2019.05.13.

2. Исходные данные и метода анализа

В настоящее время функционирует проект прогноза во всем мире энергетических ресурсов (*Prediction of Worldwide Energy Resource Project, POWER*), в рамках которого создана база данных параметров наземной метеорологии и солнечной энергии из более 200 спутниковых параметров метеорологии и параметров солнечной энергии.

Для анализа нами использовались временные ряды поверхностной и солнечной энергии (*sfuraces and solar energy, SSE*): общей инсоляции падающей на поверхность земли (*All Sky Insolation Incident on a Horizontal Surface, ALLSI*), температур поверхности Земли (*Earth Skin Temperature, TS*), температур воздуха на высоте 2 метров (*Temperature at 2 Meters,*

T2M). Длительность непрерывных рядов составляет: суточные на интервале с 1982.01.01 по 2019.05.15 и среднегодовые на интервале с 1983 по 2017 гг.¹. Сокращения *TS*, *T2M*, *ALLSI* введены для инициализации анализируемых временных рядов.

Для установления когерентных колебаний использовались среднегодовые данные: о длительности суток (*length of day*, *LOD*)²; о солнечной активности³; об индексах глобальной температуры⁴.

Метод вейвлет-анализа. Последовательности наблюдений природных параметров имеют сложные частотно-временные характеристики. Как правило, они состоят из близких по времени короткоживущих высокочастотных компонентов и долговременных, близких по частоте низкочастотных компонентов. Используемое в настоящей работе непрерывное вейвлет-преобразование строится с помощью непрерывных масштабных преобразований и переносов вейвлета $\psi(t)$ с произвольными значениями масштабного коэффициента $a \neq 0$ и параметра сдвига b [5—7]. В частности, для решения проблемы исключения из набора данных шума нами использовались вейвлеты из семейства «Вейвлеты Хаар» (сокращение *haar*), приспособленные для преобразования данных с резкими выбросами (скачками).

3. Результаты

Типичным является класс моделей временных рядов, которые дают рациональные функции СПМ (АР — авторегрессионная, СС — скользящего среднего и АРСС — моделирование синусоид в белом шуме). Эти модели определяются некоторым конечным небольшим набором коэффициентов. В результате получается менее смещенные спектральные оценки с более высоким разрешением [4, 8—11].

Принимая во внимание ограниченную длительность анализируемых временных рядов, определим общую долговременную тенденцию на исследуемом интервале времени. Для построения моделей долговременных трендов использовались сглаженные среднегодовые данные *TS*, *T2M*, *ALLSI*. Сглаживание проведено с помощью вейвлет-преобразования. На рисунке 1 приведены графики среднегодовых данных об общей инсоляции (звездочки), сглаженные методом скользящего среднего с шагом 5 лет (квадраты) и с помощью вейвлетов (сплошная кривая).

¹ <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse>

² <https://datcenter.iers.org/eop>

³ <http://www.sidc.be/silso/datafiles>

⁴ <http://data.giss.nasa.gov>

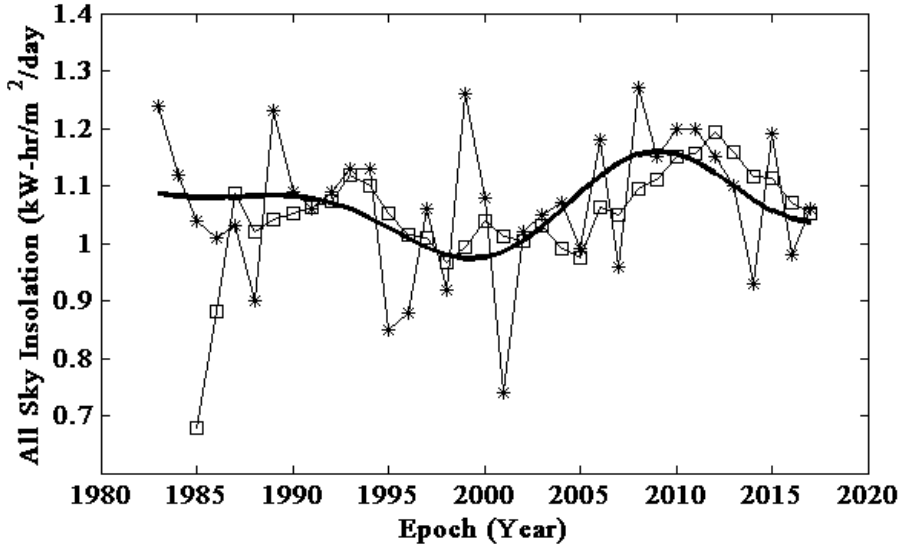


Рис. 1. Графики среднегодовых данных об общей инсоляции падающей на поверхность земли в пункте Кара-Даг (звездочки), сглаженные методом скользящего среднего (квадраты) и сглаженные вейвлетами *dmey* (сплошная кривая). Единицы отсчета по оси абсцисс 1 год.

Fig. 1. Graphs of average annual data on the total insolation falling on the surface of the earth at the Kara-Dag point (asterisks), smoothed by the moving average method (squares) and smoothed by 'dmey' wavelets (solid curve). The units of reference along the abscissa axis are 1 year

Сопоставим разности между исходными и сглаженными двумя методами данными *ALLSI*. Графики на рисунке 2 демонстрируют более точное преобразование данных на концах выборки при сглаживании вейвлетами, что важно для случая ограниченного объема выборки данных [4]. При этом дискретные статистики разностей равны: в случае вейвлет-преобразования данных $\bar{x} = 0.0013$ и $std = 0.1113$; при сглаживании по методу скользящего среднего $\bar{x} = 0.0139$, $std = 0.1282$. Аналогичные гладкие кривые получены при сглаживании данных *TS*, *T2M*.

Построим модели сглаженных вейвлетами данных *TS*, *T2M*, *ALLSI*. Наиболее приемлемым вариантом при выборе математической модели для сглаженных кривых оказалась модель Фурье:

$$f(x) = a_0 + \sum_{i=1}^3 (a_i \cos(ixw) + b_i (\sin(ixw))) \quad (1)$$

где x — временной интервал, отсчитываемый в годах от начала моделируемого временного ряда; i — номер гармоники. Коэффициенты с 95 % до-

верительными интервалами и параметрами точности приближения данных моделью приведены в таблице 1.

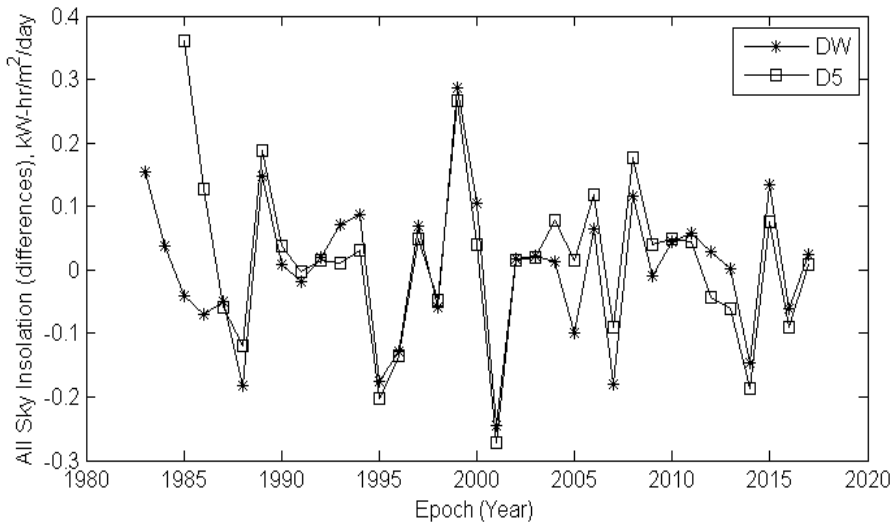


Рис. 2. Графики отклонений от исходных данных последовательностей сглаженных методами: вейвлет-преобразования (звездочки), скользящего среднего (квадраты).

Fig. 2. Graphs of deviations from the initial data of sequences smoothed by methods: wavelet transform (asterisks), moving average (squares)

4. Обсуждение и выводы

Виды взаимодействия Земля-Космос достаточно разнообразны, в их основе лежат резонансные взаимосвязи. Одним из примеров резонансных взаимодействий является взаимодействие в системе Земля-Луна, фактически представляющая двойную планету, барицентр которой лежит вне Земли. Совсем недавно французские исследователи М.Греф-Лефтц и И.Легро [12] показали, что осцилляции в жидком ядре и лунно-солнечные приливы могли оказываться в резонансе (циклы $3.0 \cdot 10^9$, $1.8 \cdot 10^9$ и $3 \cdot 10^8$ лет) и вызвать дополнительный разогрев ядра.

Существует ряд признаков избыточного накопления энергии в локальном пункте таких как повышенная (по сравнению с близким окружением) температура поверхности земли, повышенная общая инсоляция, падающая на поверхность земли, и температура приземного воздуха. В настоящей статье и предыдущих публикациях авторов [4, 8-11] показано, что эти признаки накопления энергии присутствуют в пункте Кара-Даг и должны находиться под контролем наземных и космических наблюдений.

Таблица 1. Коэффициенты моделей с 95 % доверительными интервалами и параметры точности приближения.

Table 1. Model coefficients with 95% confidence intervals and approximation accuracy parameters.

	TS (°C)	T2M (°C)	ALLSI (kW-hr/m ² /day)
a ₀	13.87 (13.66, 14.08)	12.66 (12.45, 12.87)	1.066 (1.065, 1.067)
a ₁	-0.8127 (-0.9148, -0.7107);	-0.8797 (-0.9973, -0.762);	0.006201 (0.005204, 0.007199);
a ₂	0.3812 (0.1263, 0.6361);	0.3776 (0.1106, 0.6446);	0.0127 (0.006033, 0.01936);
a ₃	0.2183 (0.1788, 0.2579)	0.2244 (0.1833, 0.2655)	0.003214 (-0.001646, 0.008073)
b ₁	0.2044 (-0.2538, 0.6626);	0.1303 (-0.3382, 0.5988);	-0.02565 (-0.02657, -0.02474);
b ₂	0.2616 (0.218, 0.3052);	0.2946 (0.2458, 0.3434);	0.05187 (0.0488, 0.05493);
b ₃	-0.0634 (-0.1728, 0.04597)	-0.06001 (-0.1721, 0.05207)	-0.02957 (-0.03233, -0.02681)
w	0.09598 (0.08944, 0.1025) P = 65.46 (70.25, 61.30) (year)	0.09718 (0.0906, 0.1038) P = 64.65 (69.35, 60.53) (year)	0.1407 (0.1382, 0.1432), P = 44.65 (45.46, 43.87) (year)
R-square	0.9999	0.9999	0.9997
Adjusted R-square	0.9999	0.9999	0.9996
RMSE	0.005247	0.005665	0.001019

Одним из признаков накопления энергии в пункте Кара-Даг является увеличение энергии наиболее регулярных и мощных сезонных колебаний, и колебаний, вызванных лунными и лунно-солнечными приливами.

С целью анализа статистической связи изменений локальной инсоляции поверхности земли с вращением Земли вокруг оси и ее движением по орбите, солнечной активностью и глобальной температурой, были вычислены авторегрессионные модели спектральной плотности мощности, с помощью которых установлены когерентные колебания между вариациями в данных об общей инсоляции поверхности Земли в пункте Кара-Даг и вариациями в данных: о длительности суток (*LOD*) с периодом 11.8 лет и квадратом модуля когерентности 0.85; о солнечной активности с периодами 10.5, 3.6 лет и квадратом модуля когерентности 0.8 и 0.85; об индексах глобальной температуры с периодами 2.3, 3.5 лет и квадратом модуля когерентности 0.7 и 0.9 соответственно. Предполагается, что при некоторых соотношениях между подобными вариациями, даже при отсутствии физической связи между ними, появляются резонансные увеличения амплитуд.

Список литературы

1. Курбасова Г. С., Вольвач А. Е. Аномалии инсоляции полуострова Крым по наблюдениям из космоса. В сб. : 24-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2014 (Севастополь, 7—13 сент. 2014 г.). 2014. С. 1085—1086.
2. Курбасова Г. С., Вольвач О. С. Вейвлет-аналіз наземних і космічних вимірів локальної інсоляції // *Космічна наука і технологія*. 2014. Т. 20, № 4. С. 42—49.
3. Kurbasova G. S., Volvach A. E., Volvach L. N. Astronomical Cycles in the Climatic and Geophysical Characteristics of Crimea // *Cosmic Research*. 2019. Vol. 57, no. 4. P. 243—251.
4. Volvach A. E., Kurbasova G. S., Volvach L. N. Time series analysis of temperatures and insolation of the Earth's surface at Kara-Dag using satellite observation // *Advances in Space Research*. Vol. 69, iss. 12, 15 June 2022, pp. 4228—4239.
5. Daubechies I. Orthonormal bases of compactly supported wavelets *Commun // Pure Appl. Math.*, 1988, vol. 41, pp. 909—996.
6. Daubechies I. The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis. // *IEEE Trans. Inf. Theory*. 1990. Vol. 36. P. 961—1005.
7. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia, Pennsylvania : 1992. 377 p.
8. Volvach A. E., Kurbasova G. S., Volvach L. N. Analysis of periodical variability of insolation and soil temperature in the Crimea // *Geophysical Journal*. 2019. Vol. 41. No. 6. P. 195—202.
9. Volvach A., Kurbasova G. Model of insolation of the earth surface in the Kara-Dag locality according to SSE data // *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv : Geology*. 2019. Vol. 2 (85). P. 51—58.
10. Volvach A. E.; Kurbasova G. S.; Volvach L. N. Solar-Terrestrial Cycles in the Climatic and Geophysical Properties of Crimea // *Astrophysical Bulletin*. 2019. Vol. 74. Iss. 3. P.331—336.
11. Volvach A. E., Kurbasova G. S. Secular variations of geomagnetic declination in the Kara-Dag point and the global helio-geodynamic processes // *Geophysical Journal*. 2019. Vol. 41. No. 1. P. 192—199.
12. Greff-Lefftz M., Legros H. Core rotational dynamics and geological events // *Science*. 1999. Vol. 286. P. 1707—1709.

Информация об авторах

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

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

Вольвач Лариса Николаевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым.

Analysis of Meteorological and Solar Series of Satellite Observations at the Kara-Dag

G. S. Kurbasova, A. E. Volvach, and L. N. Volvach

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

Received: July 20, 2022

Peer-reviewed: July 22, 2022

Accepted: July 22, 2022

Abstract: *In this paper, we discuss the results of the analysis of time series of measurements from outer space of local temperatures of the surface of the earth and air at a height of 2 meters, as well as the general insolation of the earth falling on the surface at Kara-Dag over the past 38 years. Mutual correlations were established between the analyzed sequences of local measurements and changes in the length of the day, the number of sunspots, and the indices of changes in global temperature by calculating the functions of the mutual (two-channel) power spectral density.*

Keywords: *solar insolation, temperature of the Earth's surface, wavelet analysis, coherent oscillations, model.*

For citation (IEEE): G. S. Kurbasova, A. E. Volvach, and L. N. Volvach, "Analysis of Meteorological and Solar Series of Satellite Observations at the Kara-Dag", *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 5, no. 3, pp. 295–303, 2022, doi: 10.29039/2587-9936.2022.05.3.21. (In Russ.).

References

- [1] G. S. Kurbasova and A. E. Volvach, "The insolation anomalies on the Crimean peninsula with observations from space," *24th Intern. Crimean Conf. "Microwave and telecommunication technology" – CriMiCo'2014* (Sevastopol, September 7–13, 2014), pp. 1085–1086, 2014. (In Russ.).
- [2] G. S. Kurbasova and A. E. Volvach, "Wavelet analysis for ground-based and space measurements of local insolation," *Kosmična nauka i tehnologija*, vol. 20, no. 4(89), pp. 42–49, Jul. 2014, doi: 10.15407/knit2014.04.042. (In Russ.).
- [3] G. S. Kurbasova, A. E. Volvach, and L. N. Volvach, "Astronomical Cycles in the Climatic and Geophysical Characteristics of Crimea," *Cosmic Research*, vol. 57, no. 4, pp. 243–251, Jul. 2019, doi: 10.1134/s001095251904004x.
- [4] A. Volvach, G. Kurbasova, and L. Volvach, "Time series analysis of temperatures and insolation of the Earth's surface at Kara-Dag using satellite observation," *Advances in Space Research*, vol. 69, no. 12, pp. 4228–4239, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.asr.2022.04.016.
- [5] I. Daubechies, "Orthonormal bases of compactly supported wavelets," *Communications on Pure and Applied Mathematics*, vol. 41, no. 7, pp. 909–996, Oct. 1988, doi: 10.1002/cpa.3160410705.

- [6] I. Daubechies, “The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 36, no. 5, pp. 961–1005, 1990, doi: 10.1109/18.57199.
- [7] I. Daubechies, *Ten Lectures on Wavelets Society for Industrial and Applied Mathematics*, Philadelphia, Pennsylvania, 1992.
- [8] A. E. Volvach, G. S. Kurbasova, and L. N. Volvach, “Analysis of periodical variability of insolation and soil temperature in the Crimea,” *Geofizicheskiy Zhurnal*, vol. 41, no. 6, pp. 195–202, Dec. 2019, doi: 10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190076.
- [9] A. Volvach and G. Kurbasova, “Model of Insolation of the Earth Surface in the Kara-Dag Locality According to SSE Data,” *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, no. 2 (85), pp. 51–58, 2019, doi: 10.17721/1728-2713.85.07.
- [10] A. E. Volvach, G. S. Kurbasova, and L. N. Volvach, “Solar-Terrestrial Cycles in the Climatic and Geophysical Properties of Crimea,” *Astrophysical Bulletin*, vol. 74, no. 3, pp. 331–336, Jul. 2019, doi: 10.1134/s1990341319030118.
- [11] A. E. Volvach and G. S. Kurbasova, “Secular variations of geomagnetic declination in the Karadag point and the global helio-geodynamic processes,” *Geofizicheskiy Zhurnal*, vol. 41, no. 1, pp. 192–199, Mar. 2019, doi: 10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158873.
- [12] M. Greff-Lefftz, “Core Rotational Dynamics and Geological Events,” *Science*, vol. 286, no. 5445, pp. 1707–1709, Nov. 1999, doi: 10.1126/science.286.5445.1707.

Information about the authors

Galina S. Kurbasova, PhD. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

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

Larisa N. Volvach, PhD. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.