

УДК 550.2

А. Вольвач, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.  
E-mail: volvach@meta.ua;  
Г. Курбасова, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.  
E-mail: gskurb@gmail.com

## МОДЕЛЬ ИНСОЛЯЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ПУНКТЕ "КАРАДАГ" ПО ДАННЫМ SSE

(Представлено членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб. В. Г. Лозицьким)

Аномальное усиление солнечной инсоляции поверхности земли при наличии в её недрах очагов возбуждения может вызвать в локальных пунктах ответную реакцию. К таким очагам относятся прежде всего недавние и прошлые (ретро)вулканы, такие как древний вулкан на территории Карадага в Крыму. Авторами настоящей статьи была обнаружена повышенная, по сравнению с другими пунктами Крыма, общая инсоляция по данным SSE. По данным 22-летнего линейного тренда, вычислена скорость роста инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте Карадаг, которая составляет 2,69 кВт<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> за столетие, что более чем в два раза превышает рост инсоляции в других районах Крыма. До настоящего времени это явление является предметом дискуссий, и требуются дополнительные исследования, как геологической структуры Карадага, так и воздействия со стороны внешних и внутриземных сил.

На этапе изучения структуры данных об инсоляции поверхности земли в пункте Карадаг нами построена синусоидальная модель 6-го порядка. Наиболее мощные (амплитуды более чем на порядок превышают уровень шума) регулярные на 22-летнем интервале колебания имеют периоды, равные 365,3 и 365,7 суток. Статистические оценки степени приближения синусоидальной моделью ( $R^2 = 0,9$ , RMSE = 0,7) указывают, что, кроме регулярных периодических колебаний в данных, присутствуют нерегулярные колебания на интервалах времени, определяемых с помощью непрерывного частотно-временного вейвл-анализа. На графике вейвл-преобразования выделяется интервал энергетического роста инсоляции в пункте Карадаг после 1995 года. С целью анализа статистической связи изменений локальной инсоляции поверхности земли с вращением Земли вокруг оси и её 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 инсоляции поверхности земли в пункте Карадаг 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.

Обнаруженный нами повышенный рост инсоляции и температуры земли в пункте Карадаг требует дополнительных исследований и наблюдений.

Ключевые слова: Земля, инсоляция, Крым, спутники.

**Введение.** Солнце – основной источник энергии на Земле. Однако физические характеристики Солнца меняются в различных масштабах времени. Особую значимость для жизни на Земле представляет практически неизменяемая светимость (на уровне 0,1 % в настоящую эпоху).

В период наибольшей солнечной активности ультрафиолетовое, рентгеновское и корпускулярное излучение Солнца влияют на магнитосферы и ионосферы Земли, изменяя межпланетную среду. До недавнего времени единственной характеристикой переменности солнечной активности было изменение количества солнечных пятен.

Наблюдения солнечных пятен продолжается уже более 400 лет. Для характеристики солнечной активности среди многочисленных индексов наиболее часто используются числа Вольфа. Изменение солнечной активности в числах Вольфа (и в других индексах) носит циклический характер со средней продолжительностью циклов 11,2 года (цикл Швабе).

Накопленные данные наук о Земле содержат информацию о происходящих глобальных изменениях в природе. За последнее время существенно возросла эндогенная активность Земли (Берри, 1991; Белов и Шестопалов, 2011); наблюдается повышение глобальной температуры (Лабат, 2006; Сонечкин и др., 1997), а также усиление атмосферных и магнитных аномалий, связанных с активностью солнечных процессов (Белов и Шестопалов, 2011). Для прогноза изменений параметров системы Земля необходимо наблюдать их связь с глобальными гелиогеодинамическими процессами: движением полюсов и вращением Земли, изменениями параметров системы Земля–Луна, лунно-солнечными приливами, гравитационным взаимодействием планет Солнечной системы, солнечной активностью, параметрами геомагнитного поля. Проявления этой взаимосвязи в различных местах земного шара имеют свои особенности, обусловленные локальными условиями. Поэтому предсказание экологических локальных катастроф направлено на изучение косвенных признаков о возможной активизации землетрясений и вулканов.

Изучение изменений гелиогеофизических и метеорологических локальных параметров, кроме научного интереса, необходимо для нужд развивающейся экономики. Так, нормирование и расчёт инсоляции являются сейчас, пожалуй, наиболее острой светотехнической, экономической и социально-правовой проблемой. С переходом землепользования и строительства на рыночную основу нормы инсоляции стали главным фактором, сдерживающим стремления инвесторов, владельцев и арендаторов земельных участков к переуплотнению городской застройки с целью получения максимальной прибыли.

В странах Центральной и Южной Америки и даже в южных районах США считается, что окна должны быть затенены, когда температура наружного воздуха достигает +21 °C. Это предложение основывается на общих субъективных ощущениях. Необходимо руководствоваться научными критериями, основанными на целой серии наблюдений и измерений (Михеев и др., 2002).

Наблюдения и анализ изменений локальной инсоляции поверхности земли со строгим учётом астрономических факторов, связанных с вращением Земли вокруг оси и её движением по орбите, позволяет обнаруживать аномалии, связанные с непрогнозируемыми внешними и внутриземными факторами.

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

На полуострове Крым есть несколько (ретро)вулканов. Один из них, особо опасный по экологическим последствиям, действовал в пункте Карадаг.

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.

В работе представлена модель регулярных колебаний суммарной инсоляции поверхности земли в пункте Карадаг, построенная нами по данным SSE (Surface meteorology and Solar Energy); обсуждаются причины энергетического роста инсоляции в пункте Карадаг после 1995 года. Проведено сравнение динамики роста инсоляции и температуры поверхности земли в пункте Карадаг и других пунктах Крыма за 22 года.

#### Істочники и характеристики исходных данных.

**Данные SSE.** Для поддержки научных и технических разработок по проблемам возобновляемой энергетики в NASA разработан и успешно функционирует в настоящее время проект прогноза энергетических ресурсов во всем мире (POWER – Prediction of Worldwide Energy Resource Project), в рамках которого создана база данных параметров наземной метеорологии и солнечной энергии из более 200 спутниковых параметров метеорологии и параметров солнечной энергии. Имеющийся в этой базе 22-летний ряд климатологии (июль 1983 – июнь 2005) обеспечивает глобальный охват по поверхности Земли множества данных SSE.

С 13 июня 2018 года новый проект POWER включает улучшенные солнечные и метеорологические данные со всеми параметрами, доступными на глобальной сетке  $0,5^\circ$  широты и  $0,5^\circ$  долготы. Для анализа нами использовались суточные данные SSE и средние за 22-летний период (июль 1983 – июнь 2005 года) среднегодовые данные об инсоляции, падающей на поверхность земли и температуры поверхности земли.

Точность спутниковых измерений NASA оценивалась с помощью многочисленных наземных измерений. Хотя надежность наземных измерений сама по себе не всегда достаточно точна, по оценкам NASA, среднеквадратическая ошибка ежемесячных значений составляет около 13–16 %, а средняя ошибка отклонений от наземных наблюдений лежит между  $-2$  и  $+0,7$  % (Surface meteorology..., 2018).

В процессе использования данных SSE нами удален ненормированный "белый шум". В результате дисперсия в границах неопределенности составляет 0,00228.

Для установления когерентных колебаний использовались среднегодовые данные: о длительности суток (LOD) (IERS, Earth Orientation Center..., n.d.; Aoki *et al.*, 1982); о солнечной активности (Table Data: SIDC..., 2018); об индексах глобальной температуры (Global Land..., n.d.).

**Инсоляция, падающая на поверхность земли в Крыму.** Инсоляция измеряется количеством энергии солнечного излучения (солнечной радиации), падающей на единицу горизонтальной поверхности в единицу времени (единица измерения  $\text{kVt}^* \text{ч}/\text{м}^2/\text{сут}$ ).

Солнечная радиация – главный источник энергии для всех физико-географических процессов, происходящих на земной поверхности и в атмосфере – это электромагнитное излучение, сосредоточенное в основном в диапазоне волн длиной от 2,8 мкм до 0,1 мкм.

Та солнечная радиация, которая непосредственно доходит до поверхности Земли, называется **прямой солнечной радиацией**. Часть солнечной радиации рассеивается в атмосфере, после чего уже доходит до поверхности планеты, такую радиацию называют **рассеянной солнечной радиацией**. Прямая и рассеянная радиации вместе составляют **суммарную солнечную радиацию**.

Отраженная солнечная радиация – часть суммарной солнечной радиации, которая не поглощается земной

поверхностью, а отражается от нее, зависит от характера поверхности отражения, что необходимо учитывать при анализе данных об инсоляции в различных пунктах Земли.

Поглощенная солнечная радиация – часть суммарной солнечной радиации, которая поглощается земной поверхностью и идет на нагревание верхних слоев почвы, воды, снежного покрова. Поглощенная солнечная радиация равна разности суммарной и отраженной радиаций.

Различают астрономическую, вероятную и фактическую инсоляцию. Астрономическая инсоляция определяется вращениями Земли вокруг Солнца и собственной оси, наклонённой под углом  $23,5^\circ$  к эклиптике. Земному наблюдателю она представляется гармоническим колебанием положения солнечной параллели относительно небесного экватора с периодом в 365 суток и угловым фазовым смещением (склонением Солнца).

Вероятная инсоляция зависит от состояния атмосферы и облачного покрова. Фактическая инсоляция всегда отличается от вероятной и может быть определена лишь наземными и спутниковыми наблюдениями.

Проведём сопоставление данных об инсоляции, падающей на поверхность земли, и о температуре поверхности земли в различных пунктах Крыма, используя данные SSE за период 01.07.1983 – 06.30.2005. 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 ( $\text{std} = 0,151$ ).

Сопоставим многолетние тенденции изменения инсоляции в отмеченных на рис. 1 пунктах Крыма. Для сравнения выбраны четыре крайних пункта: северный – Перекоп, восточный – Фонарь, южный – Сарыч, западный – Карамур, а также пункты "Карадаг" и Симферополь в связи с их геологической историей (Кондаки, 1973; Паллас, 1795). Линейные тренды суточных данных представляют информацию о тенденциях изменений инсоляции в отдельных пунктах полуострова. Скорость роста инсоляции в пункте "Карадаг" по данным 22-летнего линейного тренда составляет  $2,69 \text{ кВт}^* \text{ч}/\text{м}^2$  за столетие, что более чем в два раза превышает рост инсоляции в других районах Крыма.

Линейные тренды, приведенные на рис. 2, демонстрируют рост температуры поверхности земли в интервале 22 лет, кроме пункта Фонарь, где она убывает. В пункте Карадаг наблюдается более высокая температура поверхности земли (по сравнению с остальными пунктами) и положительная тенденция роста её. Это значит, что рост фактической суммарной инсоляции в пункте Карадаг (рис. 1) происходит не только за счёт особых условий отражения инсоляции, падающей на поверхность земли.

График тенденции величины инсоляции, падающей на горизонтальную поверхность земли в пункте Карадаг, представлен линейным трендом (рис. 1).

Модель линейного тренда получена в виде:

$$T(x) = p1 \cdot x + p2, \quad (1)$$

где  $x$  – время в сутках от начального момента отсчёта данных.

В формуле (1) коэффициенты (с 95 % доверительными границами в скобках) равны:

$$p1 = 7,363e-005 \quad (7,363e-005, 7,363e-005);$$

$$p2 = 3,646 \quad (3,646, 3,646).$$

Единицы измерения  $p1$  и  $p2$ :  $\text{kVt}^* \text{ч}/\text{м}^2/\text{сутки}$ .

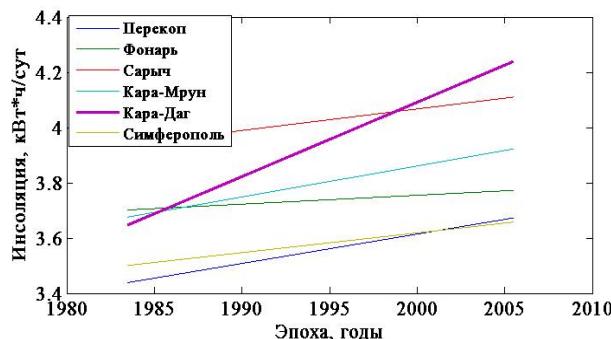


Рис. 1. Среднесуточная инсоляция, падающая на горизонтальную поверхность земли в пунктах Крыма по спутниковым измерениям (тренды), данные SSE

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, как это видно из графика на рис. 2.

Локальные геологические особенности, техногенные факторы, а также региональная и глобальная активность эндогенных процессов Земли способствуют неравномерному распределению инсоляции, падающей на поверхность земли Крыма.

Повышенный рост инсоляции, падающей на поверхность земли (рис. 1), и повышенное прогревание поверхности земли (рис. 2) в пункте Карадаг требует изучения

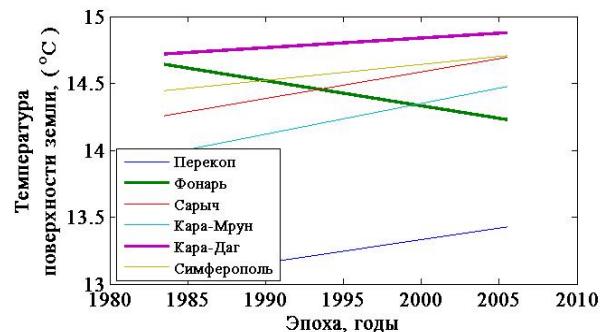


Рис. 2. Температура поверхности Земли в пунктах Крыма по спутниковым измерениям (тренды), данные SSE

возможного источника дополнительной энергии в этом пункте. На примере инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте "Никитский ботанический сад", нами ранее проведено сравнение наземных наблюдений и спутниковых данных (SSE). Как следует из сравнения графиков на рис. 3, расхождения не существенные.

График на рис. 4 демонстрирует: максимальный приток солнечной энергии в Крыму приходится на широту 43°–45° северной широты и 33°–35° восточной долготы; наблюдается рост инсоляции в юго-восточном направлении.



Рис. 3. Средние за 22 года среднемесячные данные инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте "Никитский ботанический сад" (Курбасова и Вольвач, 2014; Kurbasova and Volvach, 2014)

#### Анализ данных об инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте "Карадаг".

1. Частотно-временной анализ. Общие положения о непрерывном вейвлет-преобразовании содержатся в обширной литературе (Daubechies, 1992; Farge, 1992; Mallat, 1998).

Не существует прямого соответствия между длиной волны Фурье и масштабом вейвлет-преобразования  $a$ . Тем не менее, можно найти коэффициенты преобразования для отдельных вейвлетов, которые дают приблизительное соответствие по частоте шкалы.

Уравнение непрерывного преобразования вейвлета с помощью обратного дискретного преобразования Фурье имеет вид (Sun, 2010):

$$C(a, b; f(t), \psi(t)) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\omega) \sqrt{a} \psi^*(a\omega) e^{i\omega b} d\omega, \quad (2)$$

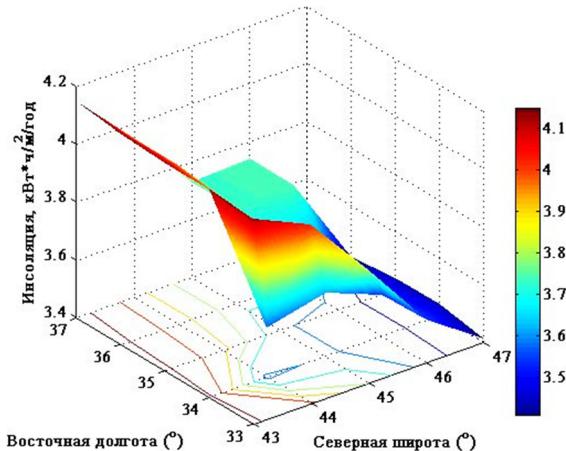


Рис. 4. Средняя за период с 1983 по 2005 годы среднегодовая инсоляция, падающая на поверхность земли Крыма (по данным SSE)

где  $a$  – параметр масштаба;  $b$  – временная переменная в обратном преобразовании Фурье;  $\psi(t)$  – вейвлет;  $\omega$  – частота.

Последовательность анализируемых данных об инсоляции представляет собой вектор длины  $N$ ,  $x(n)$ . Дискретная версия свертки в этом случае представляется в виде

$$W_a[b] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \tilde{\psi}_a[b-n]. \quad (3)$$

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 предлагаются пользователям ал-

горитмы частотно-временного анализа данных с применением вейвлетов 'morle' и 'paul' (Torrence and Compo, 1998). На рис. 5 приведен график, соответствующий математическому описанию вейвлета 'morle' в виде

$$\psi(x) = e^{-x^2/2} \cos(5x) \quad (4)$$

Проведенный нами частотно-временной непрерывный вейвлет-анализ обнаруживает в спектральной

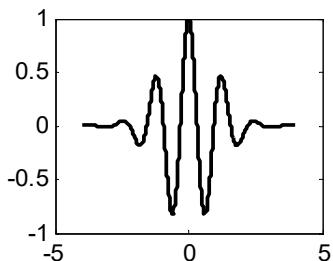


Рис. 5. Вейвлет Морле ('morle')

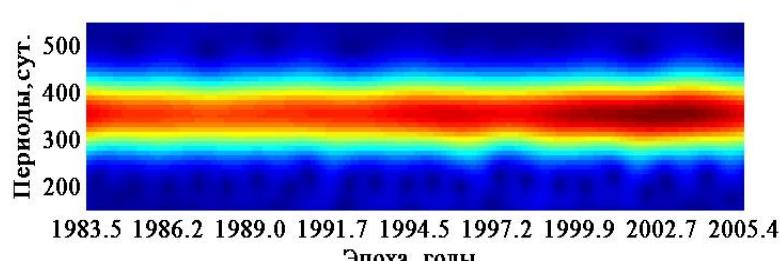


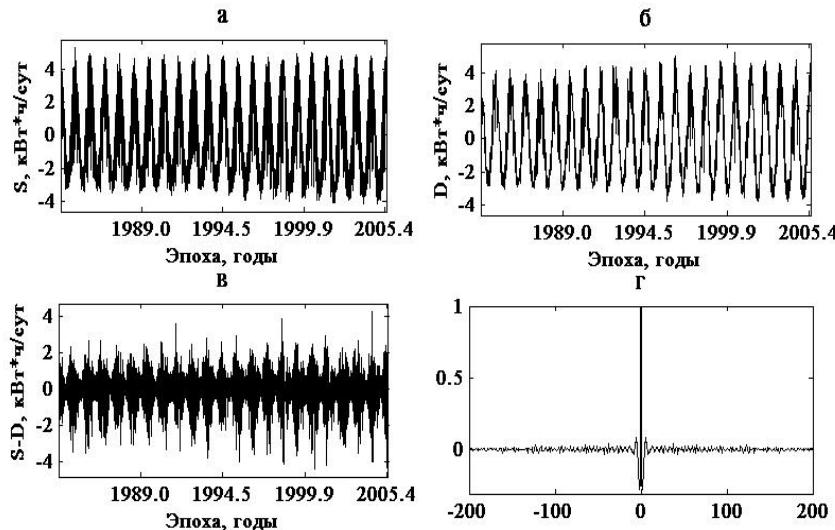
Рис. 6. Частотно-временная характеристика данных о среднесуточной инсоляции, падающей на горизонтальную поверхность земли в пункте "Карадаг" (данные SSE). Вейвлет-преобразование (вейвлеты 'morl')

Анализ графика на рис. 6 показывает: наиболее мощные гармонические колебания выделяются в интервале периодов  $\sim 231\text{--}452$  суток; на временном интервале  $\sim 1995\text{--}2005$  лет наблюдается нарастающий локальный рост энергии колебаний.

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

На рис. 7 приведены графики последовательного преобразования данных.

структуре данных о среднесуточной инсоляции, падающей на горизонтальную поверхность земли в пункте "Карадаг", по крайней мере шесть регулярных астрономических колебаний. Периоды этих колебаний сопоставимы с периодами сезонного колебания, лунных и лунно-солнечных приливных волн.



а – исходные данные S (тренд удалён); б – данные D (после удаления ненормированного "белого шума" из S); в – разности (S-D); г – автокорреляции (данные S-D). Графики получены методом вейвлет-анализа (вейвлеты 'haar')

Выберем порядок  $n$  модели (5), исходя из статистического анализа расхождений между моделью и данными  $\mathbf{D}$ . Результаты вычисления статистических оценок расхождений между моделью и данными  $\mathbf{D}$  приведены в табл. 1. В столбцах табл. 1 приведены: 1 – имя модели; 2 – сумма квадратов ошибок модели (Sum of Squared Errors, SSE); 3 – коэффициент детерминации  $R^2$  сравнивает дисперсию предсказываемой величины с дисперсией ошибок; 4 – скорректированный  $R^2$ , в котором используются несмещённые оценки дисперсий, позволяет сравнивать модели с разным числом факторов; 5 – среднеквадратичная ошибка (Root Mean Square Error, RMSE) показывает, насколько точно используемая мо-

дель позволяет приблизить последовательность данных  $\mathbf{D}$ ; 6 – степень свободы в ошибке, DEF; 7 – количество коэффициентов в модели.

Результаты статистических оценок в табл. 1 не существенно изменяются с ростом порядка модели. Поэтому при выборе модели возможных периодических колебаний в данных  $\mathbf{D}$  используем результаты вейвлет-анализа (рис. 6) и условие наименьшего количества коэффициентов в соответствии с требованиями статистики, чтобы избежать переопределения. Графики моделируемой последовательности данных, её приближение с помощью модели S6 и не учтённые моделью отклонения приведены на рис. 8.

Таблица 1

## Статистические оценки расхождений между моделью и данными D

Имя модели	SSE	R <sup>2</sup>	Скоординированный R <sup>2</sup>	RMSE	DEF	Количество коэффициентов
S1	4875	0.8839	0.8838	0.7790	8033	3
S2	4717	0.8876	0.8875	0.7664	8030	6
S3	4477	0.8933	0.8932	0.7468	8027	9
S4	4466	0.8936	0.8934	0.7461	8024	12
S5	4420	0.8947	0.8945	0.7424	8021	15
S6	4413	0.8949	0.8946	0.7419	8018	18
S7	4368	0.8959	0.8957	0.7382	8015	21
S8	4334	0.8967	0.8964	0.7355	8012	24

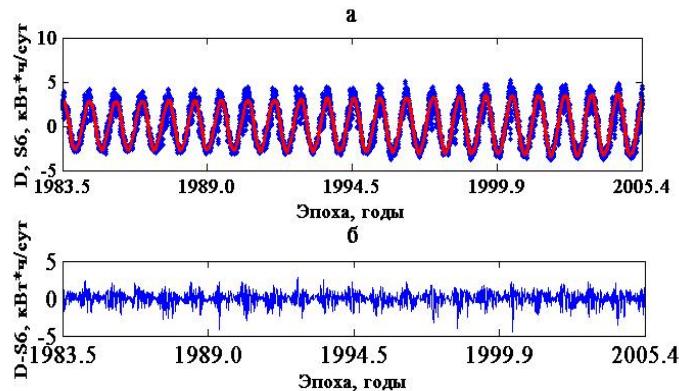


Рис. 8. Графики среднесуточных данных об инсоляции:  
а – последовательность D (звездочки (\*), удалён ненормированный "белый шум" и тренд) и S6, последовательность данных, вычисленных по модели S6 (сплошная линия); б – последовательность разностей D-S6

Анализ параметров периодических составляющих s1, s2, s3, s4, s5, s6 модели S6 выделяет два наиболее мощных колебания s1 и s4 (рис. 9) с близкими периодами 365,3 и 365,7 суток. Параметры составляющих модель S6 колебаний приведены в табл. 2.

Анализ амплитуд, составляющих модели S6 (см. табл. 2) показывает, что характер периодического процесса в данных D определяется двумя колебаниями с близкими периодами (частотами).

Параметры периодических колебаний в данных об инсоляции падающей на поверхность земли в пункте Карадаг (модель S6)

Составляющие модели S6 (кВт*ч/сут)	Периоды, P (сутки)	Амплитуды, кВт*ч/м <sup>2</sup> /сут	c <sub>n</sub> (рад)
s1	365,3015	6,34	0,7667
s2	182,1741	0,2031	0,1069
s3	344,6618	0,07307	1,501
s4	365,7267	4,854	-2,77
s5	87,2301	0,1065	1,666
s6	402,2526	0,04031	0,644

Сложный процесс наложения двух близких по частоте колебаний проявляется в росте амплитуды суммарного колебания (рис. 8).

Вейвлет-анализ частотно-временной характеристики разностей D-S6 на рис. 10 исключает возможность

существования не учтённых моделью стационарных, периодических на рассматриваемом интервале, колебаний. В то же время, после 1995 года появляется кратковременное мощное колебание, локализующееся в области высоких частот. Аналогичное явление наблюдается в области низких частот после 1986 года.

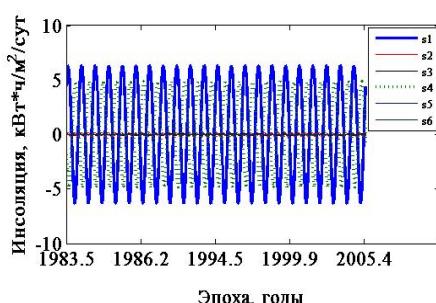


Рис. 9. Графики составляющих модели S6

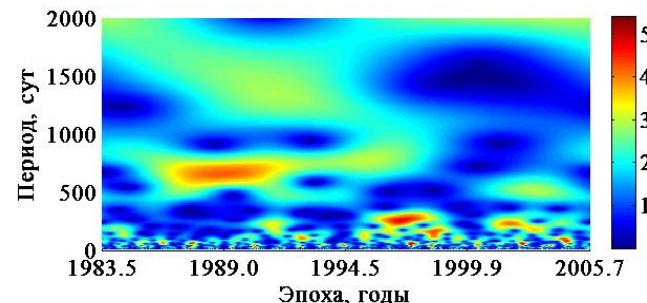


Рис. 10. Частотно-временная характеристика разностей D-S6. Вейвлет-преобразование (вейвлеты 'morl')

### Установление когерентных связей, статистические авторегрессионные (AP) модели.

В анализе когерентных связей использовался метод спектральных оценок, обладающих высокой способностью для ограниченных последовательностей данных (Марпл, 1990). Согласно этому методу установление взаимной корреляции между двумя (одноканальными) процессами заключается в вычислении функции взаимной (двухканальной) спектральной плотности мощности, которая представляет собой дискретно-временное преобразование Фурье взаимной корреляционной функции в виде

$$P_{xy}(f) = T \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} r_{xy}[k] \exp(-j2\pi f k T), \quad (6)$$

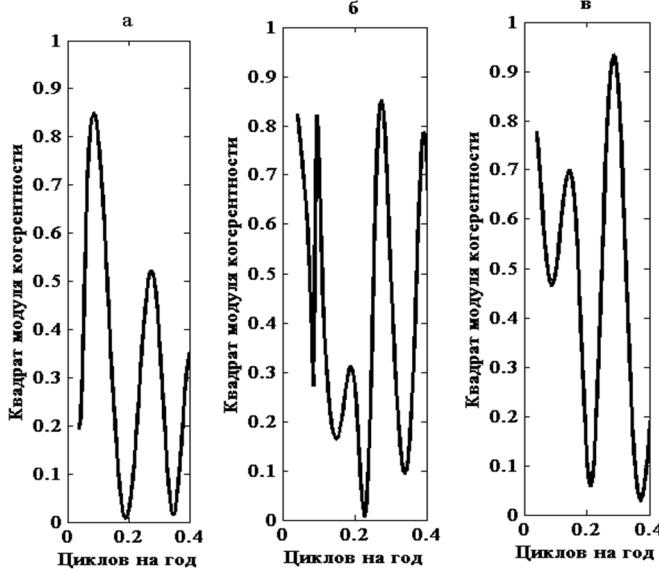


Рис. 11. Когерентность между вариациями в среднегодовых данных об инсоляции, падающей на поверхность Земли в пункте "Карадаг" и вариациями в среднегодовых данных:

а – о длительности суток (LOD), б – о числах солнечных пятен (Вольфа), в – об индексах глобальной температуры

Величины КМК (8) заключены между 0 (для частот, на которых отсутствует когерентность между каналами) и 1 (для частот, на которых каналы полностью когерентные). Фаза когерентности (9) характеризует отставание или опережение по фазе события в канале **x** по отношению к событию в канале **y**.

Этим методом нами проведен двухканальный АР-анализ когерентности. В результате установлены существенные когерентности между вариациями в среднегодовых данных об инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте "Карадаг", и вариациями в среднегодовых данных: длительности суток (LOD) с периодом 11,8 лет и КМК = 0,85 для АР-модели порядка IP = 6 (рис. 11, а); чисел солнечных пятен (числа Вольфа) с периодами 10,5, 3,6 лет и КМК = 0,8 и 0,85 соответственно для АР-модели порядка IP = 7 (рис. 11, б); об индексах изменения глобальной температуры с периодами 2,3, 3,5 лет и КМК = 0,7 и 0,9 соответственно для АР-модели порядка IP = 7 (рис. 11, в).

Кроме того, на рис. 11 обнаруживается рост функции когерентности (КМК) в области низких частот (больших периодов), которые не представляется достоверно выявить из-за ограниченной длительности временного интервала сопоставляемых данных.

**Выводы.** 1. Предсказуемые изменения солнечной инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте "Карадаг", описаны периодическими функциями, построена синусоидальная модель, приближающая периодические изменения в спутниковых измерениях инсоляции в этом пункте.

$$F_{xy}(f) = P_{xy}(f) / \sqrt{P_{xx}(f)} \sqrt{P_{yy}(f)}, \quad (7)$$

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

Учитывая (6) и (7) для измерения сходства (как функции частоты) двух сигналов, вычисляем квадрат модуля когерентности (КМК) в виде

$$KMK(f) = |F_{xy}(f)|^2 \quad (8)$$

и фазовый спектр когерентности

$$\theta(f) = \arctg \left[ \operatorname{Im} \{F_{xy}(f)\} / \operatorname{Re} \{F_{xy}(f)\} \right]. \quad (9)$$

В структуре модели, состоящей из шести синусоид, выделяются два наиболее мощных колебания с близкими периодами 365,3 и 365,7 суток. Сложение этих колебаний, смешанных по фазе, приводит к постепенному увеличению амплитуды суммарного колебания на рассматриваемом интервале времени (рис. 8), что является закономерным процессом, который наблюдается в данных об инсоляции поверхности Земли в других пунктах Крыма. Отличие состоит в том, что после удаления периодических колебаний в данных об инсоляции поверхности Земли в пункте "Карадаг" остаются следы кратковременных энергетических воздействий в области низких частот после 1986 и 1995 годов. Кроме того, общий уровень инсоляции, падающей на поверхность Земли в пункте "Карадаг", выше (см. рис. 1 и 4), чем в остальных пунктах Крыма. Учитывая прошлое Карадага, (ретро)вулкан есть основание связать происхождение энергетического притока с локальными геологическими особенностями поверхности и локальными структурами внутри Земли в этом пункте. События, вызвавшие кратковременный приток энергии после 1986 и после 1995 годов, предполагается, связаны с воздействием кратковременных космических явлений (кометы, парад планет и др.). 2. С целью анализа статистической связи изменений локальной инсоляции поверхности земли с вращением Земли вокруг оси и её 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

инсоляции поверхности земли в пункте "Карадаг" 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.

Гелиогеофизические процессы воздействуют на атмосферу и происходящие в ней динамические процессы. Устойчивая периодичность этих процессов помогает решать задачи прогноза глобальных и локальных событий.

3. Наша планета представляет собой открытую, неравновесную, самоорганизующуюся сложную систему (Anderson, 2002), подсистемами которой являются многочисленные оболочки – геосфера.

Все геологические и геодинамические процессы характеризуются циклической повторяемостью характерных для них событий. Сложное взаимодействие близких по частоте циклов в различных геосферах могут вызывать резонансные явления с увеличением амплитуды суммарного колебания, как это имеет место в нашем случае (рис. 8, 9). Повторяемость этого события также характеризуется цикличностью.

Существует гипотеза о генерации этих циклов неким универсальным космическим механизмом их возникновения (Карпенко, 2004). Поиск такого механизма представляет собой одну из важных задач будущего науки.

4. Обнаруженный нами повышенный рост инсоляции и температуры земли в пункте "Карадаг" требует дополнительных исследований и наблюдений.

#### Список использованной литературы

- Аєсюк, Ю. Н. (1996). Приливные силы и природные процессы. Объединённый институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН. Москва.
- Берри, Б. Л. (1991). Синхронные процессы в оболочках Земли и их космические причины. *Вестник МГУ*, 5(1), 20-27.
- Берри, Б. Л. (1993). Периодичность геофизических процессов и ее влияние на развитие литосферы. *Эволюция геологических процессов в истории Земли*. Под ред. Н.П. Лаверова. Москва: Наука, 53-62.
- Белов, С. В., Шестопалов, И. П. (2011). Пространственно-временные закономерности главных проявлений эндогенной активности Земли и их связь с солнечной и геомагнитной активностью. *Сагитовские чтения*. Москва. Получено [cifm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/cteniya/2011.htm](http://cifm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/cteniya/2011.htm).
- Кондратьев, К. Я., Крапивин, В. Ф., Савиных, В. П. (2003). Перспективы развития цивилизации: многомерный анализ. Москва: Логос.
- Курбасова, Г. С., Вольчак, А. Е. (2014). Вейвлет-анализ наземных и космических измерений локальной инсоляции. *Космическая наука и технология*, 20 (4), 42-49.
- Кондакки, В. (1873). Универсальное описание Крыма. Ч. 1. Николаев.
- Карпенко, И. В. (2004). Физическая природа циклов Вилсона, Берраны, Штилле. *Материалы 37-го тект. совещания "Эволюция тектонических процессов в истории Земли"*. Новосибирск, 217-220.
- Михеев, А. П. Береговой, А. М., Петрянина, Л. Н., (2002). Проектирование зданий и застройки населенных мест с учетом климата и энергосбережения. Учеб. пособие. Москва: АСВ.
- Марлл, С. Л. (1990). Цифровой спектральный анализ и его приложения. Москва: Мир.
- Пабат, А. А. (2006). Глобальные изменения климата: антропогенная и космогенная концепции. *Энергия*, 7, 42-46.
- Паллас, П. С. (1795). Краткое физическое и топографическое описание Таврической области. Санкт-Петербург: Императорская типография.
- Сонечкин, Д. М., Даценко, Н. М., Иващенко, Н. Н. (1997). Оценка тренда глобального потепления с помощью вейвлетного анализа. *Ізв. РАН. Фізика атмосфери і океана*, 33(2), 184-194.
- Федулов, К. В., Астаф'єва, К. В. (2008). Структура климатических изменений по палеоданным и данным инструментальной эпохи. Институт космических исследований Российской академии наук, Пр-2150.
- Aoki, S., Guinot, B., Kaplan, G. H., Kinoshita, H., McCarthy, D. D., Seidelmann, P. K. (1982). The new definition of universal time. *Astron. Astrophys.*, 105 (2), 359-361.
- Anderson, D. L. (2002). Plate tectonics as a far from equilibrium selforganized system. *AGU Geodynam*, 30, 1-22.
- Daubechies, I. (1992). Ten Lectures on Wavelets. Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).
- Farge, M. (1992). Wavelet Transforms and Their Application to Turbulence. *Ann. Rev. Fluid. Mech.*, 24, 395-457.
- Global Land – Ocean Temperature Index. (n.d.). Получено с URL <http://data.giss.nasa.gov/>
- IERS, Earth Orientation Center. (n.d.). Получено с URL: <https://datadcenter.iers.org/leop/>
- Kurbasova, G. S., Volvach, A. E. (2014). The insolation anomalies on the Crimean peninsula with observations from space. *CriMiCo2014, Conference Proceedings*. Севастополь: Weber Publishing, 2, 1085-1086.
- Mallat, S. A. (1998). Wavelet Tour of Signal Processing. San Diego, CA: Academic Press, Program MATLAB/R2011b.
- Surface meteorology and Solar Energy – A renewable energy resource web site (release 6.0) sponsored by NASA's Applied Science Program in the Science Mission Directorate developed by POWER: Prediction of Worldwide Energy Resource Project. (2018). Получено с URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>.
- Sun, W. (2010). Convergence of Morlet's Reconstruction Formula, *preprint*.
- Table Data: SIDC – Solar Influences Data Center. (2018). Получено с URL: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>.
- Torrence, C., Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79, 61-78.

Farge, M. (1992). Wavelet Transforms and Their Application to Turbulence. *Ann. Rev. Fluid. Mech.*, 24, 395-457.

Global Land – Ocean Temperature Index. (n.d.). Получено с URL <http://data.giss.nasa.gov/>

IERS, Earth Orientation Center. (n.d.). Получено с URL: <https://datadcenter.iers.org/leop/>

Kurbasova, G. S., Volvach, A. E. (2014). The insolation anomalies on the Crimean peninsula with observations from space. *CriMiCo2014, Conference Proceedings*. Севастополь: Weber Publishing, 2, 1085-1086.

Mallat, S. A. (1998). Wavelet Tour of Signal Processing. San Diego, CA: Academic Press, Program MATLAB/R2011b.

Surface meteorology and Solar Energy – A renewable energy resource web site (release 6.0) sponsored by NASA's Applied Science Program in the Science Mission Directorate developed by POWER: Prediction of Worldwide Energy Resource Project. (2018). Получено с URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>.

Sun, W. (2010). Convergence of Morlet's Reconstruction Formula, *preprint*.

Table Data: SIDC – Solar Influences Data Center. (2018). Получено с URL: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>.

Torrence, C., Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79, 61-78.

#### References

- Anderson, D. L. (2002). Plate tectonics as a far from equilibrium selforganized system. *AGU Geodynam*, 30, 1-22.
- Aoki, S., Guinot, B., Kaplan, G. H., Kinoshita, H., McCarthy, D. D., Seidelmann, P. K. (1982). The new definition of universal time. *Astron. Astrophys.*, 105 (2), 359-361.
- Avsyuk, Yu. N. (1996). *Prilivnye sily i prirodnye protsessy*. Ob'edinennyy institut fiziki Zemli im. O.Yu. Shmidta RAN. Москва. [In Russian]
- Belov, S. V., Shestopalov, I. P., (2011). *Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti glavnnykh proyavlenii endogennoy aktivnosti Zemli i ikh svyaz' s solnechnoy i geomagnitnoy aktivnostyu*. Sagitovskie chteniya. Москва. Retrieved from [infrm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/cteniya/2011.htm](http://infrm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/cteniya/2011.htm). [In Russian]
- Berri, B. L. (1991). *Sinkhronnye protsessy v obolochkakh Zemli i ikh kosmicheskie prichiny*. *Vestnik MGU*, 5(1), 20-27. [In Russian]
- Berri, B. L. (1993). *Periodichnost' geofizicheskikh protsessov i ee vliyanie na razvitiye litosfery. Evolyutsiya geologicheskikh protsessov v istorii Zemli*. N.P. Laverova (eds.). Москва: Nauka. [In Russian]
- Daubechies, I. (1992). *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).
- Farge, M. (1992). Wavelet Transforms and Their Application to Turbulence. *Ann. Rev. Fluid. Mech.*, 24, 395-457.
- Fedulov, K. V., Astaf'єva, K. V. (2008). *Struktura klimaticheskikh izmenenii po paleodannym i dannym instrumental'noy epokhi*. Institut klimaticheskikh issledovanii Rossiyskoy akademii nauk, Pr-2150. [In Russian]
- Global Land – Ocean Temperature Index. (n.d.). Retrieved from URL <http://data.giss.nasa.gov/>
- IERS, Earth Orientation Center. (n.d.). Retrieved from URL: <https://datadcenter.iers.org/leop/>
- Karpenko, I. V. (2004). *Fizicheskaya priroda tsiklov Vilsona, Bertrana, Shtille. Materialy 37-go tekta soveshchaniya "Evoliutsiya tektonicheskikh protsessov v istorii Zemli"*. Novosibirsk, 217-220. [In Russian]
- Kondarak, V. Kh. (1873). *Universal'noe opisanie Kryma*. P. 1. Nikolaev. [In Russian]
- Kondrat'yev, K. Ya., Krapivin, V. F., Savinykh, V. P. (2003). *Perspektivnye razvitiya tsivilizatsii: mnogomernyy analiz*. Москва: Logos. [In Russian]
- Kurbasova, G. S., Volvach, A. E. (2014). The insolation anomalies on the Crimean peninsula with observations from space. *CriMiCo2014, Conference Proceedings*. Севастополь: Weber Publishing, 2, 1085-1086.
- Kurbasova, G. S., Volvach, A. E. (2014). *Veyvlet-analiz nazemnykh i kosmicheskikh izmenenii lokal'noy insolyatsii*. *Kosmicheskaya nauka i tekhnologiya*, 20 (4), 42-49. [In Russian]
- Mallat, S. A. (1998). Wavelet Tour of Signal Processing. San Diego, CA: Academic Press, Program MATLAB/R2011b.
- Marpl, S. L. (1990). *Tsifrovoy spektral'nyy analiz i ego prilozheniya*. Москва: Mir. [In Russian]
- Mikheev, A. P., Beregovoy, A. M., Petryanova, L. N., (2002). *Proektirovaniye zdaniy i zastroyki naseleennykh mest s uchetom klimata i energosberezeniya*. Ucheb. posobie. Москва: ASV. [In Russian]
- Pabat, A. A. (2006). *Global'nye izmeneniya klimata: antropogennaya i kozmogennaya kontsepsiya*. *Энергия*, 7, 42-46. [In Russian]
- Pallas, P. S. (1795). *Kratkoe fizicheskoe i topograficheskoe opisanie Tavricheskoy oblasti*. Санкт-Peterburg: Imperatorskaya tipografiya. [In Russian]
- Sonechkin, D. M., Datsenko, N. M., Ivashchenko, N. N. (1997). *Otsenka trenda global'nogo potepleniya s pomoshch'yu veyvletnogo analiza*. *Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana*, 33(2), 184-194. [In Russian]
- Sun, W. (2010). Convergence of Morlet's Reconstruction Formula, *preprint*.
- Surface meteorology and Solar Energy – A renewable energy resource web site (release 6.0) sponsored by NASA's Applied Science Program in the Science Mission Directorate developed by POWER: Prediction of Worldwide Energy Resource Project. (2018). Retrieved from URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>.
- Table Data: SIDC – Solar Influences Data Center. (2018). Retrieved from URL: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>.
- Torrence, C., Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79, 61-78.

A. Volvach, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Scientific Researcher,  
 E-mail: volvach@meta.ua;  
 G. Kurbasova, PhD (Phys.-Math.), Senior Scientific Researcher,  
 E-mail: gskurb@gmail.com

## MODEL OF INSOLATION OF THE EARTH SURFACE IN THE KARA-DAG LOCALITY ACCORDING TO SSE DATA

*Anomalous enhancement of solar insolation of the earth's surface in the presence of foci of excitation in its depths can cause a response at local sites. Such foci include, first of all, recent and past (retro) volcanoes, such as the ancient volcano on the territory of Kara-Dag in the Crimea. The authors of this article have found increased, in comparison with other localities of the Crimea, general insolation according to SSE. According to the 22-year linear trend, the rate of insolation growth falling on the earth's surface at Kara-Dag has been calculated, which is 2,69 kWh/m<sup>2</sup> per century, being more than 2 times higher than insolation growth in other areas of the Crimea. This phenomenon has been the subject of discussion, and additional research is needed, both on the geological structure of Kara-Dag and on the impact of external and internal forces.*

*At the stage of studying the structure of data on insolation of the earth's surface at Kara-Dag, we have built a 6-order sine-wave model. The most powerful (amplitudes more than an order of magnitude higher than the noise level) regular oscillations on the 22-year interval have periods of 365,3 and 365,7 days. Statistical estimates of the degree of approximation by a sinusoidal model ( $R^2 = 0,9$ , RMSE = 0,7) indicate that, in addition to regular periodic oscillations, there are irregular fluctuations in the data at time intervals determined by a continuous time-frequency wavelet analysis. The wavelet transformation graph highlights the interval of insolation energy growth at Kara-Dag locality after 1995. In order to analyze the statistical relationship of changes in local insolation of the Earth's surface with the Earth's rotation around the axis and its orbital movement, solar activity and global temperature, autoregression models of the power spectral density were calculated using which coherent oscillations were found between variations in Kara-Dag paragraph and variations in the data: on the length of the day (LOD) with a period of 11,8 years and a square modulus of coherence of 0,85; about solar activity with periods of 10,5, 3,6 years and a squared coherence modulus of 0,8 and 0,85; about global temperature indices with periods of 2,3, 3,5 years and squares of coherence modulus 0,7 and 0,9, respectively.*

*The increased growth of insolation and the temperature of the earth at Kara-Dag locality that we found requires additional research and observations.*

**Keywords:** Earth, insolation, Crimea, satellites.

О. Вольвач, д-р фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: volvach@meta.ua;

Г. Курбасова, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: gskurb@gmail.com

## МОДЕЛЬ ІНСОЛЯЦІЇ ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ В ПУНКТІ "КАРАДАГ" ЗА ДАНИМИ SSE

*Аномальне посилення сонячної інсоляції поверхні землі при наявності в її надрах очагів збудження може викликати в локальних пунктах відповідну реакцію. До таких очагів відносяться, перш за все, недавні і минулі (ретро) вулкани, такі як прадавні вулкани на території Карадагу в Криму. Авторами цієї статті було виявлено підвищену, в порівнянні з іншими пунктами Криму, загальну інсоляцію за даними SSE. За даними 22-річного лінійного тренда обчислена швидкість росту інсоляції, падаючої на поверхню землі в пункті "Карадаг", яка становить 2,69 kWh/m<sup>2</sup> за сторіччя, що більш ніж у два рази перевищує зростання інсоляції в інших районах Криму. До теперішнього часу це явище є предметом дискусій і потрібні додаткові дослідження, як геологічної структури Карадагу, так і впливу з боку зовнішніх і внутрішніх земних сил.*

*На етапі вивчення структури даних про інсоляцію поверхні землі у пункті "Карадаг" нами побудовано синусоїдальну модель 6-го порядку. Найбільш потужні (амплітуди більш ніж на порядок перевищують рівень шуму) регулярні на 22-річному інтервалі коливання мають періоди рівні 365,3 і 365,7 діб. Статистичні оцінки ступеня наближення синусоїдальною моделлю ( $R^2 = 0,9$ , RMSE = 0,7) зазначають, що, крім регулярних періодичних коливань, у даних присутні нерегулярні коливання на інтервалах часу, які визначаються за допомогою безперервного частотно-часового вейвлет аналізу. На графіку вейвлет перетворення виділяється інтервал енергетичного зростання інсоляції в пункті "Карадаг" після 1995 року. З метою аналізу статистичного зв'язку змін локальної інсоляції поверхні землі з обертанням Землі навколо осі та її рухом по орбіті, сонячною активністю і глобальною температурою були обчислені автогрессивні моделі спектральної щільності потужності, за допомогою яких установлені когерентні коливання між варіаціями в даних про інсоляцію поверхні Землі в пункті "Карадаг" і варіаціями в даних: про тривалість доби (LOD) з періодом 11,8 років і квадратом модуля когерентності 0,85; про сонячну активність з періодами 10,5, 3,6 років і квадратом модуля когерентності 0,8 і 0,85; про індекси глобальної температури з періодами 2,3, 3,5 років і квадратом модуля когерентності 0,7 і 0,9 відповідно.*

*Виявлені нами підвищені ріст інсоляції та температури землі в пункті "Карадаг" вимагає додаткових досліджень і спостережень.*

**Ключові слова:** Земля, інсоляція, Крим, супутники.