

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ АТМОСФЕРНИХ ЯВИЩ

УДК 004.986

DOI: <https://doi.org/10.35546/2313-0687.2019.25.76-85>**Повод Яків**

аспірант, ХНТУ, Херсон, Україна,
E-mail: elornau@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8403-5945

Шерстюк Володимир

доктор технічних наук, професор, ХНТУ, Херсон, Україна,
E-mail: vgsherstyuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9096-2582

Анотація. При визначенні кількості сонячної енергії, що досягає поверхні Землі, серед розглянутих чинників атмосферних явищ найбільше значення має хмарність. Досліджуючи вплив хмарного покриву на розрахунки сонячної інсоляції поблизу поверхні Землі за допомогою усереднених даних був розроблений алгоритм, який дає можливість врахувати рівень хмарності для прогнозування сонячної інсоляції.

Для дослідження та розробки алгоритму, було проаналізовано існуючі методи отримання даних, та визначено, що найбільший вплив на коливання сонячної інсоляції має саме хмарність. Для розробки математичної моделі було використано дані, які є на сайті NASA Earth Observations, що отримані з супутників Terra і Aqua за допомогою інструмента MODIS. Для застосування в якості статистичних даних були обрані дані в форматі CSV, за період з лютого 2000р. по червень 2019р. В результаті було отримано карту усередненої хмарності. Для врахування змін хмарності було побудовано графіки залежності рівня хмарності від часу. Для цього були використані середньомісячні дані для міста Херсона, для точки з географічними координатами 46.7, 32.6; для точки на Алясці - з координатами 67, -147.4; для точки з координатами 38.7, 36.5, що знаходиться на території Туреччини.

В результаті було зроблено апроксимацію цих даних. В якості функції апроксимації було використано функцію Фур'є першого порядку. Щоб отримати дані для всієї поверхні Землі було використано бібліотеку ALGLIB та алгоритм Левенберга – Марквардта. Отримані дані було відображено на рисунках з картами коефіцієнтів детермінації, також карта значень середньоквадратичної похибки.

Наукова новизна полягає в одержанні більш точних даних коливання хмарності за допомогою обраного методу; та за допомогою розробленої математичної моделі прогнозувати щільність хмарного покриву в будь якій точці планети. Отже розроблений алгоритм дає можливість аналізувати та прогнозувати періодичні коливання рівня хмарності в залежності від місяця (пори року).

Практичне значення розробленого алгоритму полягає в використанні його в програмному забезпеченні, яке допоможе отримувати більш точні розрахунки прогнозованої потужності сонячного випромінювання з урахуванням коливання хмарності для можливого використання в галузях, де потрібні дані сонячної інсоляції.

Ключові слова: алгоритм, похибка, графік, карта, інсоляція, апроксимація, клімат, хмарність.

Постановка проблеми

Розрахунок сонячної інсоляції має широке застосування в різних сферах промисловості. Найточніші розрахунки можна отримати за допомогою, використання спеціальних метеостанцій. Проте такі станції встановлені лише у певних місцях. Побудова нових метеостанцій потребує значних матеріальних затрат, а збір даних буде тривати що найменше декілька років. Інтерполюючи дані метеостанцій можна отримати достатньо точні результати, за умовою достатньо близького розташування метеостанцій та однорідності клімату. При невиконанні цих умов точність розрахунків буде значно знижуватися, при тому, що складність розрахунків буде залишатися досить високою із за значного об'єму даних, які необхідно опрацювати. Одним з рішень є створення математичної моделі на базі статистичних даних метеостанцій. Для створення статистичної моделі необхідно визначитись з вхідними даними, від яких залежить результат. Для сонячної інсоляції це потужність сонячної інсоляції, яка доходить до атмосфери землі, та кількість енергії, яка поглинається і розсіюється в атмосфері. Найбільші коливання сонячної інсоляції виникають саме в результаті впливу Земної атмосфери. Хоча світло поглинається і розсіюється і в ясний день, найбільший вплив в коливання сонячної інсоляції вносить саме хмарність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Хмарність залежить від значної кількості факторів, які врахувати і точно передбачити на даний момент неможливо. В якості альтернативи можливо використовувати статистичні методи. Для цього необхідні статистичні дані. Данні хмарності можливо отримати за допомогою метеостанцій. Наприклад дані типового метеорологічного року національної бази даних сонячного випромінювання США має щогодинні дані хмарності. Ці дані можна використовувати для розробки математичної моделі. Проте ці дані прив'язані до координат метеостанцій, що не дає змогу використовувати їх в програмному забезпеченні, яке має робити розрахунки

для будь-якої точки планети. Окрім метеостанцій данні хмарності можна отримати за допомогою супутників. Супутникові данні, та дані з інших джерел вже використовуються для передбачення хмарності, та інших погодних явищ. Для цього використовується чисельний прогноз погоди. Проте для достатньо точного прогнозування на значні проміжки часу необхідні дуже значна кількість розрахункових ресурсів, що може бути економічно недоцільно.

Для статистичного аналізу, було обрано дані, які є на сайті NASA Earth Observations. На цьому сайті можна знайти оброблені дані з супутників Terra і Aqua. Для розрахунку найбільш відповідними є середньомісячні дані щільності хмарності, отримані супутником Terra, за допомогою інструмента MODIS. Ці дані доступні у декількох форматах, а саме: для візуалізації у вигляді зображень в форматі PNG та GeoTIFF, та для розрахунків у вигляді чисел з плаваючою точкою в форматі CSV та GeoTIFF. Для застосування в якості статистичних даних були обрані дані в форматі CSV, за період з лютого 2000р. по червень 2019р. Також можливо використовувати щоденні дані, проте із за значного об'єму їх аналіз зайняв би занадто багато часу.

Мета дослідження

Метою дослідження є пошук алгоритму за допомогою якого можливо враховувати рівень хмарності для прогнозування сонячної інсоляції.

Виклад матеріалу дослідження

По перше для розрахунків можливо використати самі супутникові дані, проте їх об'єм робить неможливість роботи програмами в реальному часі на звичайному комп'ютері, а також значно збільшує об'єм, який буде займати програма. Як альтернативу можна використовувати усереднене значення хмарності. Карта усередненої хмарності дасть змогу робити розрахунки значно точніше ніж за допомогою інтерполяції даних метеостанцій. Для побудови карти було проведено усереднення даних за період з лютого 2000 р. по червень 2019 р. В результаті було

отримано карту усередненої хмарності. Якщо цю карту перевести в зображення, де чорний колір вiдповiдатиме за вiдсутнiсть хмарностi, а бiлий за мак-

симальну хмарнiсть, можна отримати наступний результат:

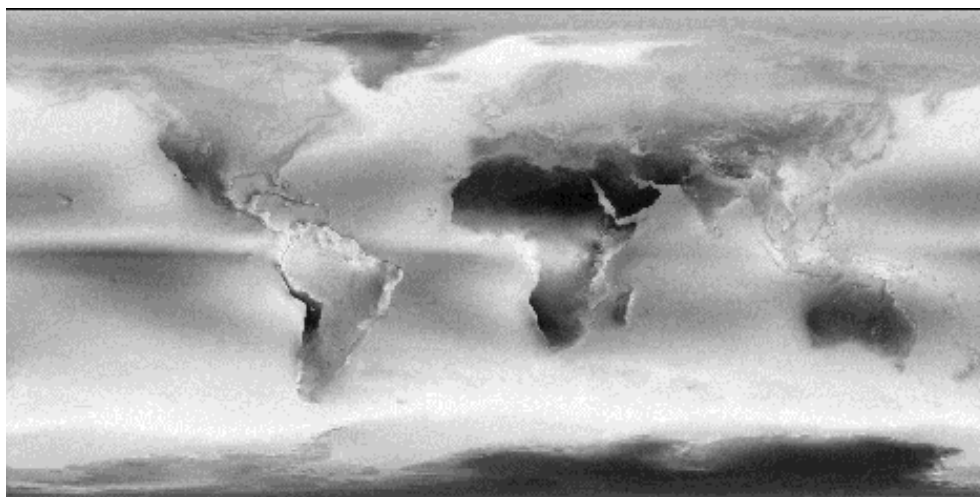


Рис. 1 – Карта усередненої хмарності

Хоча усередненi данi вже дозволяють досягти неопорганi точностi розрахункiв, врахування змiни хмарностi в залежностi вiд часу може значно покращити результат.

Для врахування змiн хмарностi в залежностi вiд часу, по-перше необхідно помiтити цi змiни. Для

цього було побудовано графiк залежностi рiвня хмарностi вiд часу. Для того, щоб графiк краще сприймався були використанi середньомiсячнi данi для мiста Херсона, для точки з географiчними координатами 46.7, 32.6.

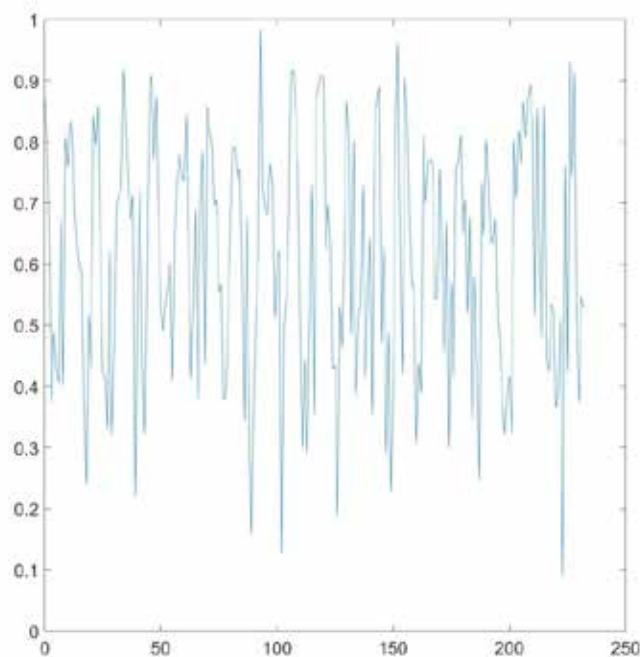


Рис. 2 – Графiк рiвня хмарностi для координат 46.7, 32.6, за перiод з лютого 2000 р. по червень 2019 р.

Помітити на цьому графіку періодичність досить важко, так як він більш схожий на звичайний шум. Це викликано тим, що погода а разом з нею і хмарність змінюються швидко і не передбачувано, проте на знач-

ному проміжку часу клімат в цілому має більш постійний характер. Отже для фільтрації шумів можна відобразити середньомісячні значення для цього ж періоду.

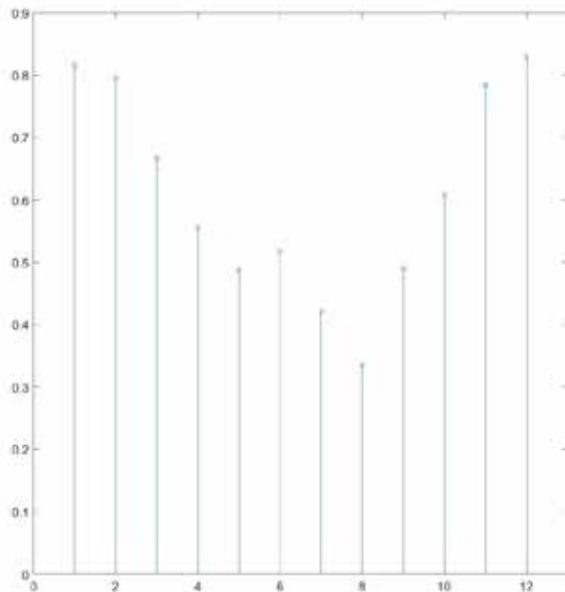


Рис. 3 – Усереднений графік рівня хмарності для координат 46.7, 32.6, за період з лютого 2000р. по червень 2019 р.

На цьому графіку вже можна помітити, що середньомісячна хмарність в серпні значно нижче ніж наприклад в грудні. Проте ця закономірність може відрізнятись для

інших місць. Для перевірки можна побудувати аналогічний графік для більш північної точки для прикладу візьmemo Аляску з координатами 67, -147.4.

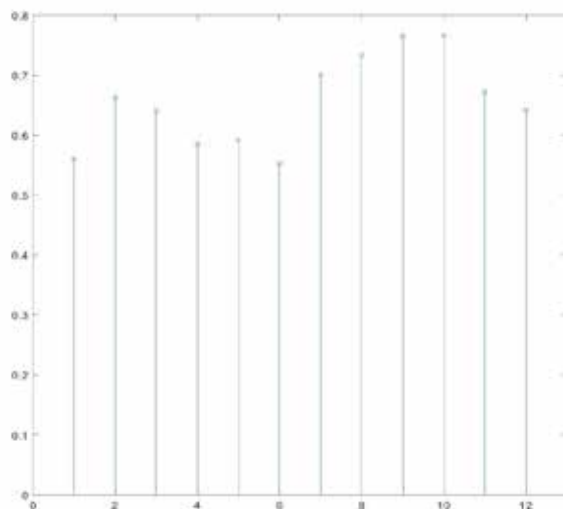


Рис. 4 – Усереднений графік рівня хмарності для координат 67, -147.4, за період з лютого 2000р. по червень 2019 р.

За цими координатами рівень коливань хмарності значно нижчий, а середньорічні максимуми і мінімуми знаходяться в інших місцях. Також є сенс побудувати

графік для більш південної точки. Отже побудуємо графік для точки з координатами 38.7,36.5, що знаходиться на території Туреччини.

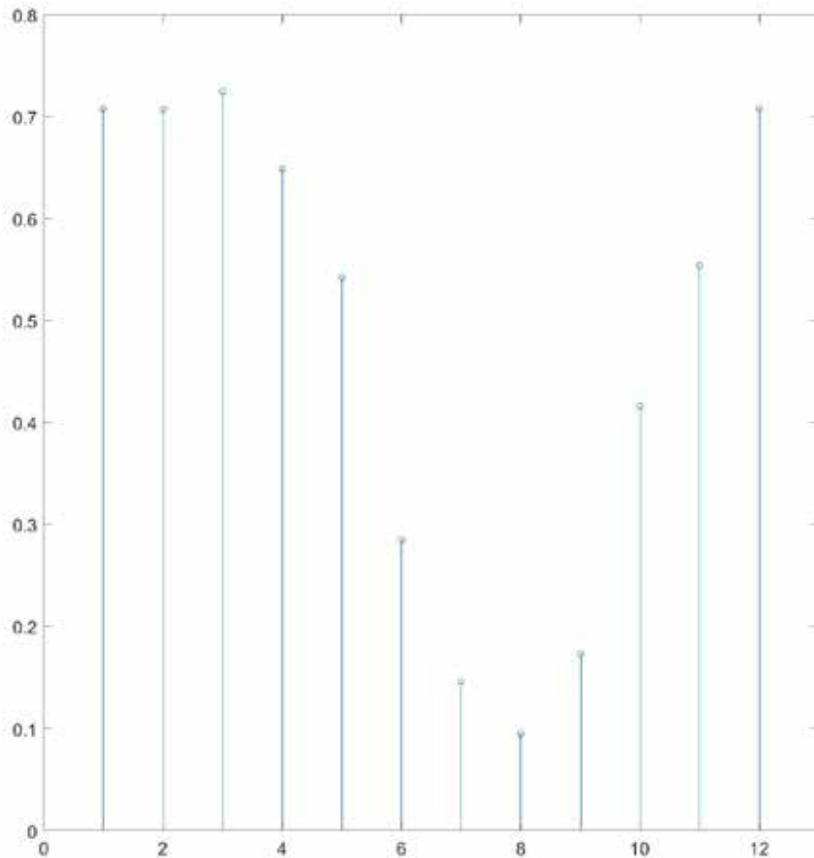


Рис. 5 – Усереднений графік рівня хмарності для координат 38.7,36.5, за період з лютого 2000р. по червень 2019 р.

Як можна помітити графік хмарності для південної точки має схожий вигляд з графіком побудованим для Херсона. Проте амплітуда коливань значно вища. І саме ці коливання будуть мати найбільший вплив на точність при використанні усереднених даних. Для врахування коливань можливо замінити одну усереднену карту на дванадцять. Проте це призведе до підвищення вимог до апаратного забезпечення в дванадцять разів. А саме усереднені дані займають 112 МБ, і 36 МБ, в архівованому виді. Середньомісячні дані займають 1 ГБ в звичайному вигляді, та 344 МБ в архівованому.

Для вирішення цієї проблеми можна зробити апроксимацію цих даних, і зберігати лише коефіцієнти апроксимації. Рівень хмарності має періодичний характер,

отже якості функції апроксимації можна скористатися функцією Фур'є першого порядку (1)

$$a_0 + a_1 \cos(x'w) + b_1 \sin(x'w) \quad (1)$$

Де a_0, a_1, b_1 – коефіцієнти апроксимації;
 w – коефіцієнт, який дорівнює

$$w = \frac{2\pi}{12} = 0.5236.$$

Спочатку можна провести апроксимацію даних, які зображені на рисунках 3-5. Результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати апроксимації

Координати	a0	a1	b1	R ²	RMSE
46.7, 32.6	0.609	0.1947	0.09643	0.9108	0.0555
67, -147.4	0.6566	0.01543	-0.07566	0.5771	0.054
38.7, 36.5	0.4758	0.1851	0.2598	0.9395	0.0661

Для першої і третьої точок коефіцієнт детермінації має високе значення, проте для другої точки значення коефіцієнта детермінації значно нижче. Проте із за того що коливання хмарності для другої точки значно менші, середньоквадратична похибка не збільшилась. При використанні усереднених даних коефіцієнт детермінації дорівнював би нулю, а середньоквадратичні відхилення мали би наступні значення: для 46.7, 32.6 - 0.1682, для 67, -147.4 - 0.07506, для 38.7, 36.5 - 0.2431.

Для отримання даних для всієї поверхні землі можна скористатися алгоритмом Левенберга – Марквардта, та бібліотекою ALGLIB. В результаті було отримано 3 карти з коефіцієнтами, які зображені на рисунках 6-8.

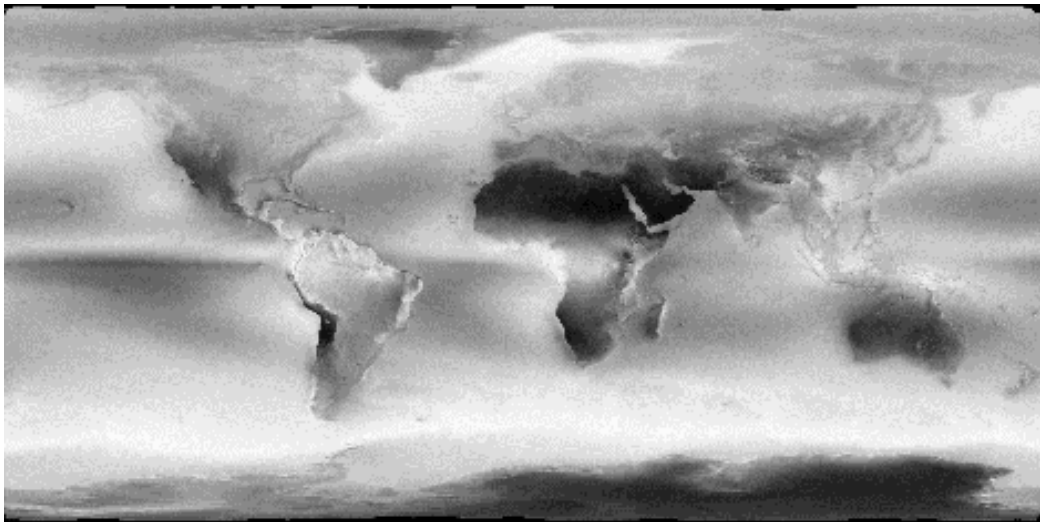


Рис. 6 – Карта значень коефіцієнту a0.

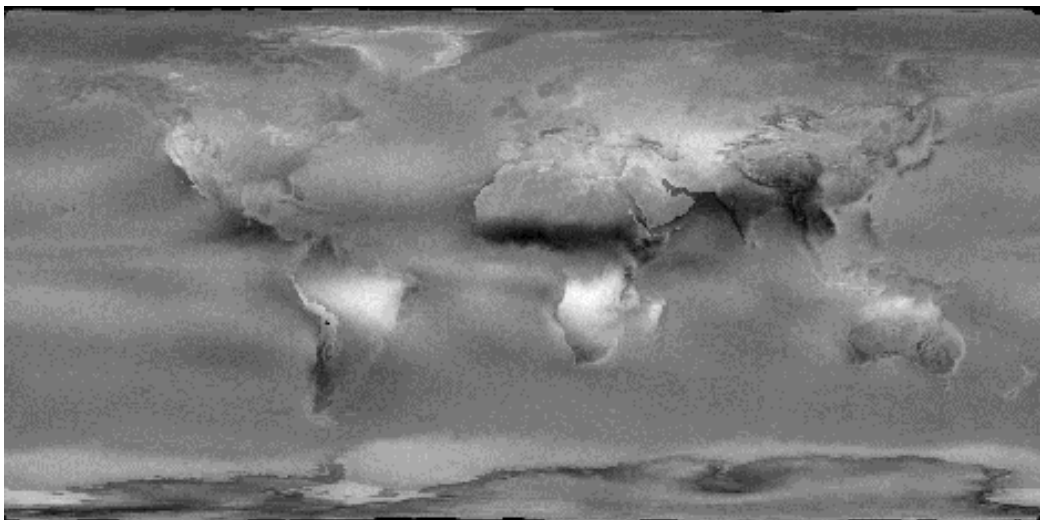


Рис. 7 – Карта значень коефіцієнту b0.

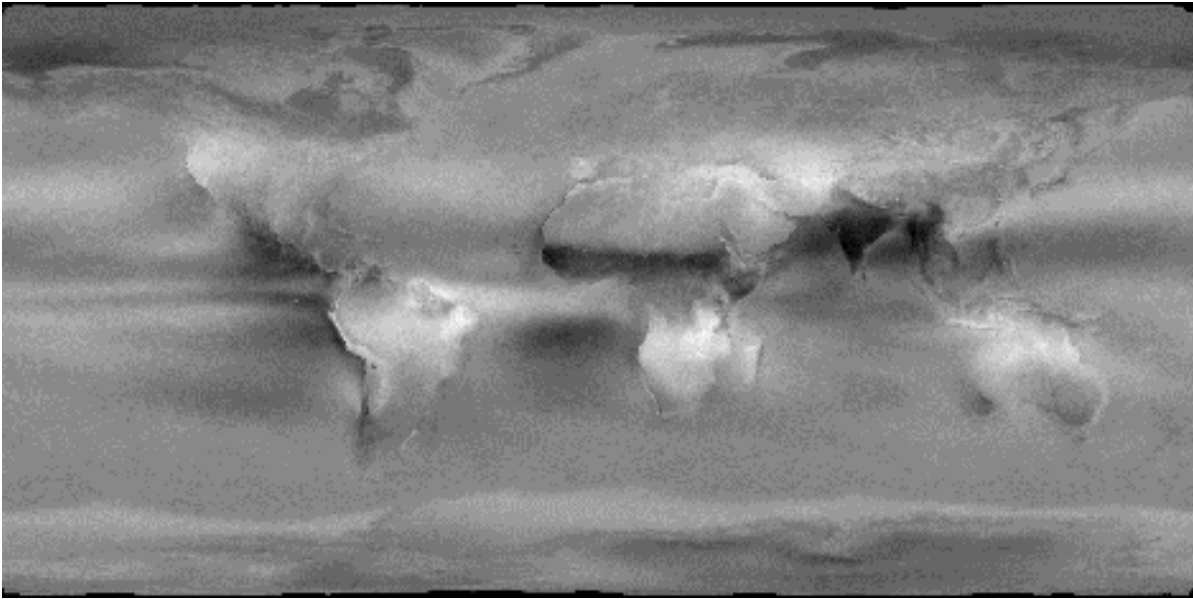


Рис. 8 – Карта значень коефіцієнту b_1 .

Також для перевірки точності було побудовано карту коефіцієнта детермінації, та знайдені його максимальне, мінімальне і середнє значення.

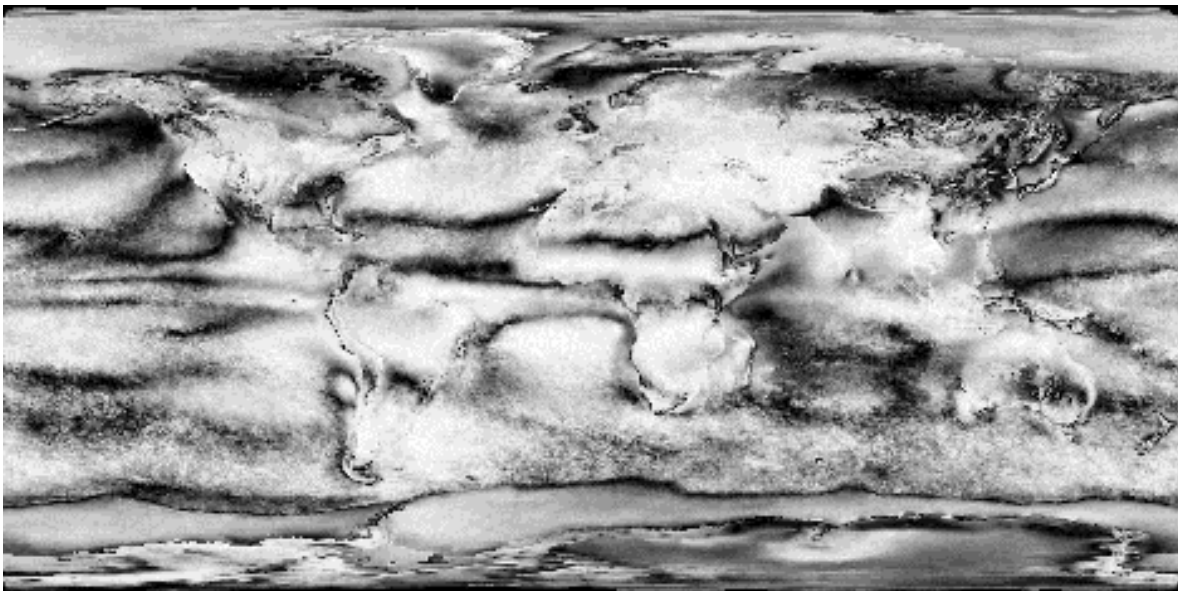


Рис 9. – Карта значень коефіцієнту детермінації

Також була побудована карта значень середньоквадратичної похибки.

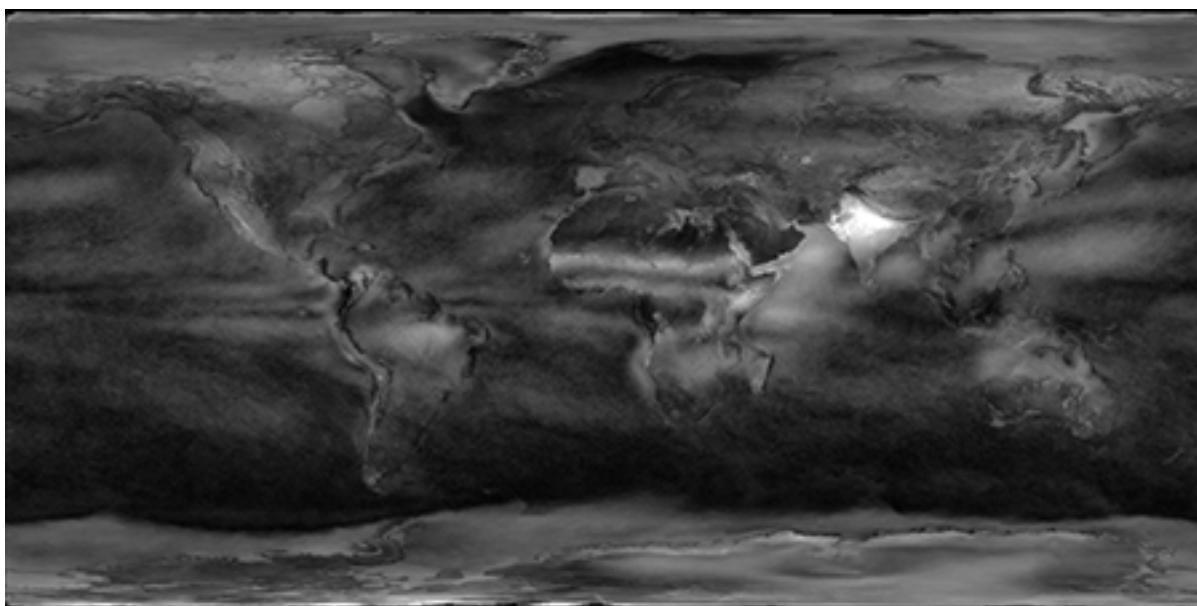


Рис 10. – Карта значень середньоквадратичної похибки

Використовуючи ці карти було знайдене максимальне, мінімальне та середнє значення коефіцієнту детермінації, та середньоквадратичної похибки

Таблиця 2

Значення коефіцієнта детермінації та середньоквадратичної похибки.

	Значення коефіцієнта детермінації	Координати коефіцієнта детермінації	Значення середньоквадратичної похибки	Координати середньоквадратичної похибки
Максимум	0,9978	-44.7, -49	0,2701	27.3, 77.2
Мінімум	0	24, 159.3	0,0006831	-49.3, 69
Середнє	0,6238	-	0,04322	-

Висновки

В результаті дослідження було отримано статистичну модель для розрахунку сезонних змін середньої хмарності. Також були розраховані коефіцієнти для роботи цієї моделі. Додатково було проаналізовано якість моделі. Була виконана візуалізація параметрів моделі, для більш зручної оцінки. Ця модель в першу чергу направлена на використання в програмному

забезпеченні для розрахунку сонячної інсоляції. Хоча для більшої частини поверхні землі, середнє відхилення моделі від статистичних даних не перевищує 5%, є місця для яких точність цієї моделі не перевищує точність при звичайному усередненні статистичних даних. Це накладає деякі обмеження на використання цієї моделі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Cloud Fraction. (23.01.2020). *NASA Earth Observatory*. <https://earthobservatory.nasa.gov>
2. Cloud Fraction. (23.01.2020). *NASA Earth Observations* <https://neo.sci.gsfc.nasa.gov>
3. Hu C., White, R. M. *Solar Cells: From Basic to Advanced Systems* (p. 23). New York: McGraw-Hill, 1983.

4. Ma, Z., Liu, Q., Zhao, C., Shen, X., Wang, Y., Jiang, J. H., ... Yung, Y. (2018). Application and Evaluation of an Explicit Prognostic Cloud-Cover Scheme in GRAPES Global Forecast System. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10(3), 652–667. doi: 10.1002/2017ms001234
5. Mishra, A. K. (2018). Investigating changes in cloud cover using the long-term record of precipitation extremes. *Meteorological Applications*, 26(1), 108–116. doi: 10.1002/met.1745
6. Pepe, D., Bianchini, G., & Vicino, A. (2017). Model estimation for solar generation forecasting using cloud cover data. *Solar Energy*, 157, 1032–1046. doi: 10.1016/j.solener.2017.08.086

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Повод Яков

аспирант, ХНТУ, Херсон, Украина

E-mail: elornau@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8403-5945

Шерстюк Владимир

доктор технических наук, профессор, ХНТУ, Херсон, Украина

E-mail: vgsherstyuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9096-2582

Аннотация. При определении количества солнечной энергии достигающей поверхности Земли среди рассматриваемых факторов атмосферных явлений наибольшее значение имеет облачность. Исследуя влияние облачного покрова на расчеты солнечной инсоляции вблизи поверхности Земли, с помощью усредненных данных был разработан алгоритм, который дает возможность учитывать уровень облачности для прогнозирования солнечной инсоляции.

Для исследования и разработки алгоритма, были проанализированы существующие методы получения данных, и определено, что наибольшее влияние на колебания солнечной инсоляции имеет именно облачность. Для разработки математической модели были использованы данные, которые есть на сайте NASA Earth Observations, полученные со спутников Terra и Aqua с помощью инструмента MODIS. Для применения в качестве статистических данных были выбраны данные в формате CSV, за период с февраля 2000г. по июнь 2019г. В результате было получено карту усредненной облачности. Для учета изменений облачности были построены графики зависимости уровня облачности от времени. Для этого были использованы среднемесячные данные для города Херсона, для точки с географическими координатами 46.7, 32.6; для точки на Аляске - с координатами 67, -147.4; для точки с координатами 38.7,36.5, что находится на территории Турции.

В результате было сделано аппроксимацию этих данных. В качестве функции аппроксимации была использована функция Фурье первого порядка. Чтобы получить данные для всей поверхности Земли было использовано библиотеку ALGLIB и алгоритм Левенберг - Марквардта. Полученные данные были отражены на рисунках с картами коэффициентов детерминации, также на карте значений среднеквадратичной погрешности.

Научная новизна заключается в получении более точных данных колебания облачности с помощью выбранного метода; и с помощью разработанной математической модели прогнозировать плотность облачного покрова в любой точке планеты. Итак, разработан алгоритм дает возможность анализировать и прогнозировать периодические колебания уровня облачности в зависимости от месяца (времени года).

Практическое значение разработанного алгоритма заключается в использовании его в программном обеспечении, которое поможет получать более точные расчеты прогнозируемой мощности солнечного излучения с учетом колебания облачности для возможного использования в отраслях, где требуются данные солнечной инсоляции.

Ключевые слова: алгоритм, погрешность, график, карта, инсоляция, аппроксимация, климат, облачность.

INVESTIGATION OF THE PERIODICITY OF THE ATMOSPHERIC PHENOMENA

Povod Yakiv

PhD student, KNTU, Kherson, Ukraine
Email: elornau@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8403-5945

Volodymyr Sherstiuk

Doctor of Technical Sciences, Professor, KNTU, Kherson, Ukraine
Email: vgsherstyuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9096-2582

Abstract. The purpose of the study in determining the amount of solar energy reaching the Earth's surface among the considered factors of atmospheric phenomena, cloudiness is of greatest importance. When studying the influence of cloud cover on calculations of solar insolation near the Earth's surface, using averaged data, an algorithm was developed that makes it possible to take into account the level of cloudiness for predicting solar insolation.

For research and development of the algorithm, the existing methods for obtaining data were analyzed, and it was determined that cloudiness has the greatest influence on the fluctuations of solar insolation. To develop a mathematical model, we used the data available on the NASA Earth Observations website, obtained from Terra and Aqua satellites using the MODIS tool. For use as statistical data, data in the CSV format were selected for the period since February 2000. to June 2019. As a result, an average cloud cover map was obtained. To account for changes in cloudiness, graphs of the dependence of cloudiness on time were constructed. For this, monthly average data were used for the city of Kherson, for the point with geographical coordinates 46.7, 32.6; for a point in Alaska - with coordinates 67, -147.4; for the point with coordinates 38.7.36.5, which is located in Turkey.

As a result, an approximation of these data was made. The first-order Fourier function was used as the approximation function. To obtain data for the entire surface of the Earth, the ALGLIB library and the Levenberg-Marquardt algorithm were used. The data obtained were reflected in the figures with maps of the determination coefficients, as well as on the map of the mean square errors.

Scientific novelty is to obtain more accurate cloud fluctuation data using the selected method; and using the developed mathematical model to predict the density of cloud cover anywhere in the world. So, the developed algorithm makes it possible to analyze and predict periodic fluctuations in the level of cloudiness depending on the month (season).

The practical significance of the developed algorithm lies in its use in software that will help to obtain more accurate calculation of solar radiation power prediction, taking into account cloud fluctuations for possible use in industries where solar insolation data is required.

Keywords: *algorithm, error, graph, map, insolation, approximation, climate, cloud cover.*

REFERENCES:

1. Cloud Fraction. *NASA Earth Observatory*: веб сайт. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov> (дата звернення: 23.01.2020).
2. Cloud Fraction. *NASA Earth Observations*: веб сайт. URL: <https://neo.sci.gsfc.nasa.gov> (дата звернення: 23.01.2020).
3. Hu C., White, R. M. *Solar Cells: From Basic to Advanced Systems*. New York: McGraw-Hill, 1983. 23 с.
4. Ma, Z., Liu, Q., Zhao, C., Shen, X., Wang, Y., Jiang, J. H., ... Yung, Y. (2018). Application and Evaluation of an Explicit Prognostic Cloud-Cover Scheme in GRAPES Global Forecast System. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10(3), 652–667. doi: 10.1002/2017ms001234
5. Mishra, A. K. (2018). Investigating changes in cloud cover using the long-term record of precipitation extremes. *Meteorological Applications*, 26(1), 108–116. doi: 10.1002/met.1745
6. Pepe, D., Bianchini, G., & Vicino, A. (2017). Model estimation for solar generation forecasting using cloud cover data. *Solar Energy*, 157, 1032–1046. doi: 10.1016/j.solener.2017.08.086