

## СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ БІОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ БАКТЕРІЙ ТА ВАРІАЦІЙ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

Дробот Г.Ю.<sup>1</sup>, Грецький І.О.<sup>2</sup>, Громозова О.М.<sup>2</sup>, Горго Ю.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорського, [yugorgo@ukr.net](mailto:yugorgo@ukr.net)

<sup>2</sup>Інститут мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України

Відомо, що сонячна активність викликає наднизькі коливання (ULF) геомагнітного поля в діапазоні частот  $10^{-3}$  -  $10^{-2}$  Гц. Моніторинг геомагнітної активності з використанням мікробіологічних біосенсорів дозволяє дослідити біологічний ефект варіацій геомагнітного поля. Біодатчики з використанням люмінесцентних бактерій привертають при цьому особливу увагу. Бактеріальна люмінесценція є ферментативним процесом, пов'язаним із загальним метаболізмом клітини, який реагує на зміни навколишнього середовища [1].

Дане дослідження пов'язане з можливістю проведення біологічного моніторингу для збору та аналізу даних геомагнітних збурень в магнітосфері та змін інтенсивності люмінесценції *Photobacterium phosphoreum*. У дослідженні використано люмінесцентні морські бактерії *P. phosphoreum* IMB B-7071 з колекції культури Інституту мікробіології та вірусології ім. Д.К.Заболотного НАН України. Для оцінки інтенсивності люмінесценції використовували фотопомножувач ФЕП-115. Геомагнітну активність оцінювали за ступенем варіацій значень X, Y та Z-компонент магнітного поля Землі, це дані Інституту геофізики НАН України (<http://www.igph.kiev.ua>) [1,2].

Розраховані кореляційні зв'язки між варіаціями геомагнітної активності і специфічної інтенсивності люмінесценції показали статистично значущу залежність з коефіцієнтом кореляції  $R = 0,69$  ( $p < 0,001$ ). Проте вивчення специфічного впливу геомагнітного поля на інтенсивність бактеріальної люмінесценції вимагає автоматизованих тривалих паралельних вимірювань в реальному часі. Для розробки такого моніторингу було створено комплекс безперервного культивування бактерій *P. phosphoreum* IMB-7071 [2]. При цьому використання цифрового мультиметру UNI-T UT171A дало можливість підключити персональний комп'ютер для реєстрації даних. Статистична обробка отриманих при моніторингу даних вимагає розробки спеціального програмного забезпечення.

Була розроблена програма розрахунку варіацій геомагнітного поля та інтенсивності біолюмінесценції. Програма реалізована на мові програмування R. Для роботи програми використано базову версію інтерпретатору R та додатково встановлено пакет "Seewave-1.7.6", що має у залежностях пакети "fft" та "signal", які дозволяють працювати з дискретними сигналами, в тому числі їх моделювати, фільтрувати, та проводити Фур'є перетворення. Всі залежності були вільно встановлені з репозиторіїв CRAN за допомогою команди `install.packages`.

Дані про магнітні бурі за 2010-2014 рр. отримані із файлу World Data Center for Geomagnetism. Ми вибирали сумарні добові значення напруженості МПЗ у дні магнітних бур, з якими ми порівнювали розраховані значення. Були

обчислені відхилення від середнього значення для коливань МПЗ на всіх частотах і для обчислених цих значень застосовано фільтр низьких частот з пакету для частот 0.1, 0.5, 0.01, 0.05, 0.001, 0.0001 Гц. Програма дозволяє розраховувати флуктуації МПЗ на вибраній частоті і в будь-якому вибраному періоді доби при не збурених станах магнітного поля та під час магнітних бур і передбачена адаптація програми до таких завдань.

Було проведено вибірку всіх днів, в яких проходили магнітні бурі за 2012-2014 роки, сформовано масив сумарних добових значень  $A_p$  та проведено їх кореляційний аналіз із визначеними середньо добовими значеннями інтенсивності ІНМПЗ на частоті 0.0001 Гц в ці дні. Отримані нами дані дозволили підтвердити, що зі зменшенням частоти збільшується інтенсивність МПЗ (з 0,03 нТл до 10 мкТл).

Визначення кореляцій проводилось у дні магнітних бур та зі зміщенням на 1 та 2 доби від дня магнітної бурі для визначення біоастрономічного ефекту Чижевського-Вельховера. Визначено також, що динаміка змін біолоюмінесценції зберігає високу ступінь подібності з контролем при екрануванні, що дозволяє припустити відсутність провідної ролі зовнішніх наведених електромагнітних полів на дію геомагнітного поля на біолоюмінесценцію.

Отримані дані моніторингу свідчать про наявність позитивного кореляційного зв'язку між показниками геомагнітної активності Землі та люмінесценцією фотобактерій *P. phosphoreum*. Розробка програми по округленню значень біолоюмінесценції по хвилинах, по годинах та по 3-х часових інтервалах дозволить порівнювати зміни функцій біологічних об'єктів при впливах різних фізичних факторів середовища.

Проведене порівняння коефіцієнтів кореляцій (за методами Пірсона, Кендалла та Спірмена) між інтенсивністю біолоюмінесценції та компонентами геомагнітного поля дозволило визначити, що розрахунки коефіцієнтів кореляцій при моніторингу даних в недетермінованих системах слід проводити методами Пірсона та Спірмена.

Розроблений програмний код на мові Python забезпечує автоматизоване отримання значень компонент геомагнітного поля з веб-сайтів обсерваторій у необхідному часовому періоді, що виключає похибки та збільшує швидкість оцифровки і процеси розрахунку коефіцієнтів кореляції моніторингових значень біолоюмінесценції та магнітного поля Землі.

### Список використаної літератури:

1. Горго Ю.П., Грецький І.О., Демидова О.І. Використання біолоюмінесценції бактерій *Photobacterium Phosphoreum* для біоіндикації геомагнітної активності. Innovative Biosystems and Bioengineering, 2018, vol.2, no. 4, 144-148. doi: 10.20535/ibb.2018.2.4.151459
2. Drobot Heorhii, Ihor Hretskyi, Yuriy Gorgo. Study of influence of geomagnetic field fluctuations on bacterial bioluminescence. Мат. XIV міжн. конф. по біоніці і прикладній біофізиці, 4-5 11 2021, Київ, 2021, с. 25-26.