

## ВИЯВЛЕННЯ ДИНАМІКИ ХВИЛЬОВИХ ПРОЦЕСІВ В АТМОСФЕРІ НА ОСНОВІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Б. І. Каліта, Л. М. Каратаєва, М. О. Мельник

Львівський центр Інституту космічних досліджень НАН та ДКА України

E-mail: karat@isr.lviv.ua, melnykmo@isr.lviv.ua

Показано, що для аналізу напрямку розповсюдження, просторової форми та періоду зміни акусто-гравітаційних хвиль можна використовувати реєстрацію ультрафіолетового випромінювання, яке проникає через атмосферу. Ультрафіолетове випромінювання частково розсіюється на акусто-гравітаційних хвилях, його інтенсивність набуває часового профілю, який збігається з формою акусто-гравітаційних хвиль. Потіки ультрафіолетового випромінювання чутливі до динаміки хвильових процесів в атмосфері.

**Ключові слова:** *ультрафіолетове випромінювання, акусто-гравітаційні хвилі, реєстратор ультрафіолетового випромінювання, динаміка хвильових процесів.*

## DETECTION THE WAVE PROCESSES IN ATMOSPHERE ON THE BASIS OF ULTRAVIOLET SUPERVISION

B. I. Kalita, L. M. Karatayeva, M. O. Melnyk

Lviv Centre of the Institute of Space Research NAS and SSA of Ukraine

It is proved that the electromagnetic ultraviolet radiation, penetrating through an atmosphere, can be recorded by the analysis of the direction, spatial form and the period of change of acousto-gravitational waves. An ultraviolet radiation is partly dissipated into acousto-gravitational waves and its intensity acquires a time profile that coincides with the form of acousto-gravitational waves. The ultraviolet radiation fluxes are sensitive to the dynamics of wave processes in the atmosphere. Based on supervision the ultraviolet using the multichannel concentrator allow one to set the direction, spatial form and period of change of acousto-gravitational waves.

Based on the supervision of the ultraviolet (UV) using the multichannel concentrator one can set the direction, spatial form and period of change of acousto-gravitational waves.

The purpose of the research is to investigate the relation between UV photons in the range from 200 to 400 nm, solar activity, and processes in the atmosphere.

Experiments showed that maximum daily variations of UV photons values in the range from 200 to 400 nm are out of phase with solar activity. One can suppose that a part of UV photons are the result of interaction of the galactic cosmic rays with atmosphere.

**Keywords:** *ultraviolet, acousto-gravitation waves, recorder of ultraviolet, dynamics of wave processes.*

Важливу роль у багатьох атмосферних процесах відіграють акусто-гравітаційні хвилі (АГХ). Протяжність АГХ може доходити до декількох тисяч кілометрів. Значною мірою АГХ пов'язані з космічною погодою. Аналіз зареєстрованих АГХ дає змогу зрозуміти закономірності та взаємозв'язок багатьох атмосферних процесів і вплив різних проявів космічної погоди на атмосферу Землі.

Для спостереження за АГХ можна використовувати реєстрацію ультрафіолетового випромінювання (УФВ), яке проникає через атмосферу. УФВ частково розсіюється на АГХ, його інтенсивність набуває часового профілю, який збігається з формою АГХ.

Для реєстрації потоку фотонів УФВ у Львівському центрі Інституту космічних досліджень розроблено багатоканальний реєстратор (рис. 1). Кожен з каналів реєструє надходження потоків фотонів з різних напрямів. Це створює можливість після виявлення циклічних змін у різних каналах визначати напрямок пересування хвильових процесів в атмосфері. Реєстратор потоку фотонів в ультрафіоле-

товій області призначений для перетворення УФВ у послідовність електричних імпульсів за температури навколишнього середовища  $-30^{\circ}\dots+30^{\circ}\text{C}$ , відносної вологості  $65\pm 10\%$  та атмосферного тиску  $100\pm 10$  кПа або  $750\pm 75$  мм.рт.ст.



Рис. 1. Багатоканальний реєстратор ультрафіолетового випромінювання.

Технічні характеристики реєстратора УФВ:

Діапазон спектральної чутливості – 205...265 нм.

Максимальна частота спрацьовування – 25 Гц.

Власний фон – 1 імп/с.

Чутливість до сонячного світла 50000 Лк – 3 імп/с.

Чутливість до світла ламп розжарення 10000 Лк – 3 імп/с.

Напруга живлення – 220 В, 50 Гц.

Час готовності вимірювача до роботи після включення анодної напруги не більше 15 хв.

Спряжене зовнішнє навантаження – не менше 10 кОм.

Структурна схема реєстратора потоку фотонів (РПФ) наведена на рис. 2. У склад РПФ входять:

1. Детектор УФВ (перетворює інтенсивність потоку в послідовність електричних імпульсів (СИ45-Ф)).
2. Узгоджувальний пристрій (перетворює рівні електричних імпульсів, які надходять з детектора УФВ).
3. Формувач імпульсу гасіння (формує часовий інтервал  $\sim 0,04$  с для гасіння детектора і запуску формувача вихідних імпульсів).
4. Схема гасіння (відключає високовольтну напругу 280 В з детектора УФВ).
5. Формувач вихідних імпульсів за переднім фронтом імпульсу (формує імпульси тривалістю  $\sim 20$  мкс для запису в комп'ютер).
6. Блок живлення (забезпечує подачу необхідних напруг до всіх функціональних вузлів).

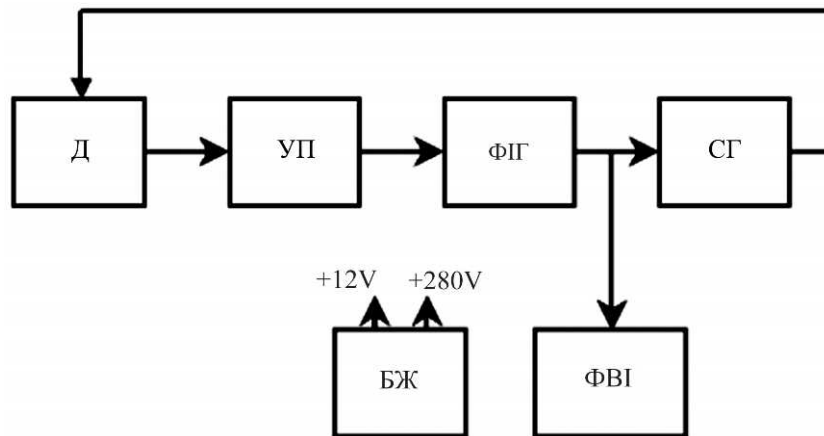


Рис. 2. Структурна схема РПФ (Д – детектор УФВ; УП – узгоджувальний пристрій; ФІГ – формувач імпульсу гасіння; СГ – схема гасіння; ФВІ – формувач вихідних імпульсів; БЖ – блок живлення).

**Аналіз реалізацій УФВ у атмосфері.** Основними джерелами ультрафіолетового випромінювання в атмосфері є сонячне та обумовлене природною радіоактивністю УФВ, а також сонячні (корпускулярне випромінювання) та галактичні космічні промені. УФВ від Сонця є найбільшим, тому реалізація надходження фотонів УФВ за декілька діб має виражений добовий хід (рис. 3, крива 1), на фоні якого виявити ритмічні зміни, які відбуваються за хвилини або за десятки хвилин, дуже складно.

Добовий хід у реалізації необхідно подавити (відфільтрувати). Цю задачу можна вирішити за допомогою вейвлетів [1], що дає змогу врахувати властивості реалізацій УФВ. На рис. 3, крива 2 подана реалізація 20-хвилинних відліків кількості фотонів  $N$ , в якій фільтрацією подавлений добовий хід, але збережено височастотніші коливання. Саме цю реалізацію, тільки з меншим кроком дискретизації (наприклад 4 хв), використовують для виявлення стійких коливань кількості фотонів УФВ.

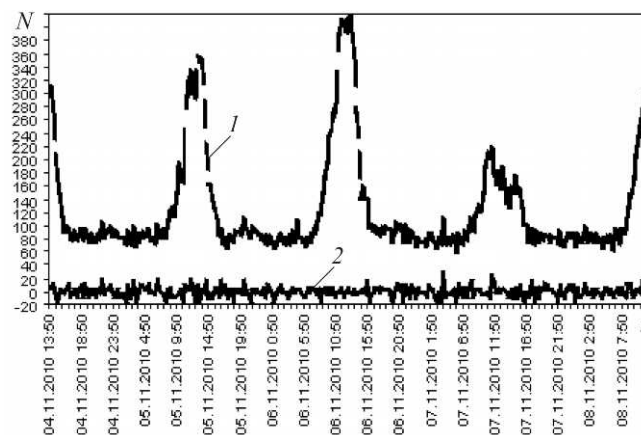


Рис. 3. Реалізація 20-хвилинних відліків кількості фотонів (2010 р.): 1 – з добовим ходом; 2 – після фільтрації (без добового ходу).

Характеризуючи в цілому відфільтровану реалізацію, відмітимо, що загальний характер нерегулярних коливань залишається таким же впродовж всього періоду спостереження: крива не має середнього систематичного ходу (тренду),

розмах коливань не зростає і не зменшується упродовж реалізації, типові періоди коливань, які спостерігаємо, помітно не міняються. Таким чином, можна розглядати цю криву як реалізацію деякого стаціонарного випадкового процесу [2].

Властивості реалізацій у межах моделі стаціонарного випадкового процесу описують кореляційною функцією та спектральною густиною процесу.

Для більшості ділянок реалізації УФВ (рис. 4) оцінка кореляційної функції відрізняється хаотичним затухаючим характером. Це значить, що коливання кількості зареєстрованих фотонів мають випадковий характер без ознак регулярності, тобто вони мають характер шуму.

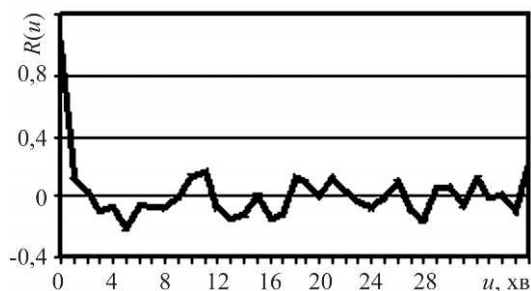


Рис. 4. Оцінка кореляційної функції стаціонарного випадкового процесу кількості імпульсів реєстратора фотонів.

**Виявлення динаміки хвильових процесів в атмосфері на основі спостереження за УФВ.** Під час аналізу реалізації УФВ можна зустріти ділянки із зовсім іншим характером поведінки кореляційної функції і спектральної густини (рис. 5) стаціонарного випадкового процесу.

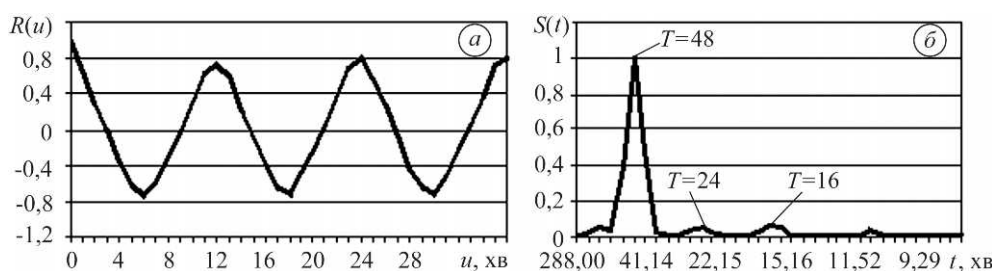


Рис. 5. Оцінка кореляційної функції (а) і спектральної густини (б) ділянки реалізації УФВ.

Розглянемо особливості поведінки цих характеристик. Оцінку спектральної густини визначає наявність одного піка. Із рис. 5б видно, що пік відповідає періоду 48 хв. Два інших невиразних піки відповідають кратним періоду  $T = 48$  хв. значенням 24 і 16 хв. Таким чином, випадкові коливання кількості зареєстрованих фотонів групуються біля однієї частоти, а реалізація в цілому наближається до періодичної функції. Відмічені властивості реалізації на цій ділянці можна виявити і в поведінці оцінки кореляційної функції (рис. 5а): правильні, регулярні коливання. Незатухаючий характер оцінки кореляційної функції випадкового стаціонарного процесу вказує на те, що реалізація містить в собі регулярну (детерміновану) складову, а правильні коливання оцінки свідчать, що ця складова періодична.

Фізично це відповідає тому, що випадковий за своєю природою потік фотонів УФВ здебільшого розсіюється на потужному хвильовому процесі зміни атмосферного тиску – АГХ. Тому зареєстрований потік фотонів набуває ритмічного характеру і часової форми АГХ. Однак періодичність і часова форма спотворені випадковим характером самого потоку УФВ. Апарат математичної моделі стаціонарного випадкового процесу не має засобів для їх оцінки, а тільки дозволяє якісно виявити настання ритмічності властивостей потоку УФВ.

Рішення задачі оцінювання періоду коливань хвилі та її часової форми можна знайти, якщо звернути увагу на те, що обчислені вище властивості ділянки ритмічних змін у реалізації потоку УФХ повністю відповідають вимогам до реалізації періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП) [3, 4]. Це вже нестационарний випадковий процес  $\xi(t)$ , тому його математичне сподівання  $m(t) = E\xi(t)$  і кореляційна функція  $r(t, s) = E\overset{\circ}{\xi}(t)\overset{\circ}{\xi}(s)$ , де  $\overset{\circ}{\xi}(t) = \xi(t) - m(t)$ ,  $E$  – знак усереднення за ймовірнісним розподілом, є функціями часу. Зручніше користуватись кореляційною функцією  $b(t, u) = r(t+u, t)$ . Для ПКВП функції  $m(t)$  і  $b(t, u)$  періодичні з деяким періодом  $T$

$$m(t+T) = m(t), \quad b(t+T, u) = b(t, u),$$

де  $T$  – період корельованості.

Таким чином, ділянки реалізації потоку фотонів УФВ з ритмічною зміною вважаємо реалізацією ПКВП. Тоді часова форма оцінюваної хвилі асоціюється з математичним сподіванням ПКВП, а її період – з періодом корельованості ПКВП. За реалізацією спочатку оцінюємо період корельованості  $T$ , а після цього обчислюємо оцінку математичного сподівання  $\hat{m}(t)$ . У такому формулюванні задача має однозначний характер.

Для оцінювання періоду ПКВП (період зміни виявленої хвилі) можна застосувати відому схему Бюй–Балло [5], або скористатися оцінкою, яка базується на інтегральних перетвореннях Фур'є [6]. Доцільніше використовувати комбінований метод оцінювання періоду, який містить елементи обох вищезгадуваних методів та має ліпші резонансні властивості в поведінці функціонала, який застосований для вибору значення періоду корельованості. Такий функціонал має вигляд

$$F(\theta) = \frac{1}{\theta} \int_0^{\theta} |\hat{m}(\sigma)| d\sigma,$$

де  $\theta$  – максимальний пробний період корельованості;  $\hat{m}(\sigma)$  – компонентна оцінка математичного сподівання ПКВП [6], а інтеграл обчислюємо від абсолютного значення оцінки  $\hat{m}(\sigma)$ .

Доведено [6], що для періоду корельованості  $\theta$ , який збігається з істинним  $T$ , функціонал  $F(\theta)$  досягає свого максимуму.

На рис. 6 подано значення функціонала  $F(\theta)$  залежно від пробного періоду. З нього добре видно резонансні властивості функціонала  $F(\theta)$ , обчисленого на ділянці реалізації потоку фотонів УФВ, який частково розсіяний на АГХ. Максимального значення функціонал  $F(\theta)$  набуває при  $T = 48$  хв. Отже, період виявленої АГХ  $T = 48$  хв.

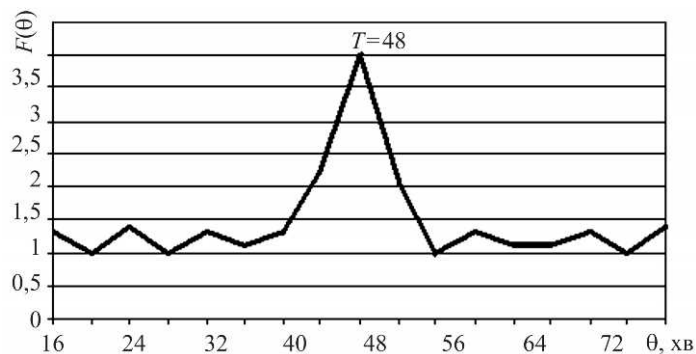


Рис. 6. Значення функціонала  $F(\theta)$  залежно від пробного періоду.

Після встановлення періоду хвилі залишається побудувати часовий профіль виявленої АГХ (компонентної оцінки математичного сподівання ПКВП потоку фотонів УФВ). На рис. 7 подано графіки ритмічної ділянки реалізації потоку фотонів УФВ та оцінки математичного сподівання ПКВП цього потоку, яка за формою збігається з виявленою АГХ. Із порівняння обох графіків зрозуміло, що можливість відновлення часової форми виявленої АГХ є наслідком того, що випадкові відхилення значень реалізації потоку фотонів УФВ від відповідних значень математичного сподівання часто мають протилежний знак, а оскільки оцінювання математичного сподівання обов'язково включає в себе усереднення цих флуктуацій з протилежними знаками, то в сумі вони нівелюються. Так виявляють неспотворену часову форму АГХ, яка збігається з формою математичного сподівання ПКВП потоку фотонів УФВ, який розсіюється на цій хвилі.

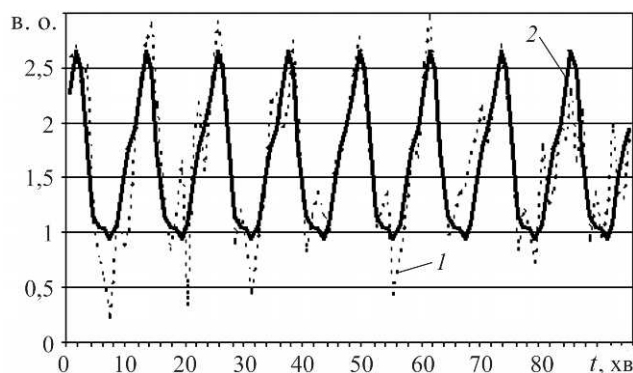


Рис. 7. Ритмічна ділянка реалізації потоку фотонів УФВ (1) та компонентна оцінка математичного сподівання ПКВП цього потоку (2).

З цих графіків (рис.7) добре видно, що за обраного кроку дискретизації реалізації форма потоку фотонів мало відхиляється від форми виявленої хвилі. І тільки на останній ділянці ці відмінності зростають, що свідчить про руйнування атмосферної АГХ.

Реєстратор потоку фотонів УФВ – багатоканальний. Кожен з каналів реєструє надходження потоків фотонів з різних напрямів. Це створює можливості після виявлення ділянок реалізацій з ритмічними змінами в різних каналах визначити напрямок пересування виявлених хвильових процесів в атмосфері.

### ВИСНОВКИ

Потоки фотонів в ультрафіолетовій області в діапазоні 200...400 нм чутливі до динаміки хвильових змін в атмосфері.

Реєстрація УФВ на багатоканальному концентраторі дає змогу встановити напрям розповсюдження, просторову форму та період зміни АГХ.

1. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 448 с.
2. Крамер Г., Либбеттер М. Стационарные случайные процессы. – М.: Мир, 1968. – 398 с.
3. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику. – М.: Физматгиз, 1976. – 494 с.
4. Драган Я. П., Рожков В. А., Яворский И. Н. Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 319 с.
5. Серебренников М. Г., Первозванский А. А. Выявление скрытых периодичностей. – М.: Наука, 1965. – 244 с.
6. Яворский И. Н. Об оценке периода периодически коррелированных случайных процессов // Отбор и передача информации. – 1986. – № 73. – С. 12–21.

Одержано 24.04.2017