

**В.С. Вовк, О.В. Шульга,  
Є.С. Сибірякова, М.П. Калюжний, Ф.І. Бушуєв, М.О. Куліченко**

Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія», вул. Обсерваторна, 1, Миколаїв, 54030, Україна,  
тел.: +38(0512) 47-70-14

## НИЗЬКОТЕХНОЛОГІЧНІ ВИСОКОЕФЕКТИВНІ РАДІОТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ МЕТЕОРІВ ТА СУПУТНИКІВ



*Розроблено методику однопозиційного спостереження метеороїдів за допомогою недорогих приймачів. Ці приймачі зручні також для спостережень активних штучних супутників Землі на сонячно-синхронній орбіті при вимірюванні доплерівського зміщення частоти, на котрій вони випромінюють.*

*Ключові слова: штучні супутники, метеори, доплерівське зміщення, радіотехнічні приймачі випромінювання.*

У сонячній системі існує велика кількість небесних тіл, котрі можна розділити на основні групи: *планети, комети, астероїди та метеороїди*. На сьогодні планети вивчені найкращим чином, астероїди та комети досліджуються активно та результативно, а от з метеороїдами ситуація значно складніша. Причинами такого стану досліджень є деяка невизначеність розмірів метеороїдів (від 100 мкм до декількох десятків метрів [1]), складність їх спостережень через малі розміри, низька зацікавленість астрономічного співтовариства та відносна складність методик спостережень і обробки отриманих даних. Проте останнім часом у зв'язку з високою інтенсивністю використання ближнього космосу у технологічних цілях виникла зацікавленість у вивченні метеорної активності та її впливу на працездатність штучних супутників Землі (ШСЗ).

Бурхливий розвиток цифрових телекомунікацій, обчислювальної техніки та програмного

забезпечення (ПЗ) привів до технологічного спрощення виготовлення, здешевлення та використання радіотехнічних засобів усіма бажаними. Прикладом широкого використання таких засобів є програмно-керований радіоприймач (ПКРП) Realtek RTL2832U – дуже зручний для спостережень метеорної активності та випромінювань ШСЗ. Подібні спостереження доступні з застосуванням навіть недорогого та простого обладнання.

### СПОСТЕРЕЖЕННЯ МЕТЕОРІВ

Основним моментом дослідження метеорної активності у радіодіапазоні є той факт, що реєструється не частина енергії, яка випромінюється під час згорання метеороїда у атмосфері, а частина перевипроміненої енергії від наземних трансляторів телерадіомовлення [2, 3]. Даний метод називається *розсіянням вперед* (РВ) і має ряд переваг над розсіянням назад у плані енергоефективності на відміну від радіолокаторів, які витрачають до десятків кіловат енергії на підсвічування метеорного сліду, але потребують складніших математичних розрахунків [4].

В Науково-дослідному інституті «Миколаївська астрономічна обсерваторія» (НДІ «МАО») реалізовано автоматизований комплекс спостережень метеорів — апаратно-програмний комплекс (АПК), який має в своєму складі:

1) персональний комп'ютер з параметрами: жорсткий диск — 500 Гб, процесор з тактовою частотою 2,5 ГГц, ОЗП 4 Гб та 64-бітна операційна система (ОС);

2) програмно керований приймач Realtek RTL2832U;

3) направлену антену типу Ягі-Уда, розраховану на потрібний діапазон частот (88—108 МГц);

4) встановлену програму HDSDR для управління приймачем та збереження інформації, отриманої ним у комп'ютері;

5) встановлений інтерпретатор мови програмування Python 3.4 з такими бібліотеками: numpy, matplotlib, wave;

6) програми обробки отриманих з ефіру масивів даних, розроблені на мові програмування Python.

Збережені дані мають довжину 65 536 000 семплів з частотою дискретизації 250 кГц на кожен файл. Далі потрібно акцентувати увагу на алгоритмі обробки даних. Алгоритм розроблений в НДІ «МАО» на мові програмування Python-3, що дає змогу без особливих зусиль з використанням бібліотек, багатих алгоритмами, обробляти отримані дані на будь-якій 64-бітній ОС, під яку є даний інтерпретатор. На практиці обробку реалізовано на операційних системах Linux та Windows 7. Автоматизацію обробки ре-

лізовано штатними засобами згаданих ОС. Алгоритм обробки виконується в декілька етапів:

1) частота вибірки приводиться до дійсної шляхом введення коефіцієнта поправки для звільнення спостережень від похибок ходу внутрішнього генератора приймача;

2) розрахунок амплітудно-частотно-часової розгортки з нормалізацією вибраного діапазону проводиться за алгоритмами, описаними в [2];

3) у амплітудно-частотно-часовій розгортці виділяється потрібний діапазон  $\pm 5$  кГц, де знаходяться основні спектри фонем, оскільки діапазон ультракороткохвильової станції має всього  $\pm 20$  кГц від несучої частоти (88,2 МГц);

4) середні значення усіх спектрів знаходяться за моментом часу (сума як аналог енергетики сигналу в розглянутій частині спектру);

5) серед знайдених середніх значень відбираються усі значення, які перевищують 5 СКВ, що відповідає часу життя метеора у 5 с;

6) зберігаються початковий момент часу метеорного відлуння та всі значення вихідного сигналу, в яких знайдено відлуння;

7) наостанок проводиться розрахунок часових чисел метеорів та їх розсилка на пошту для контролю роботи всієї системи загалом.

### СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ШСЗ ТА ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Такий же за складом апаратно-програмний комплекс використовується для реєстрації сигналів від активно випромінюючих у радіодіапазоні супутників, таких, як CUTE-1. Але робочі

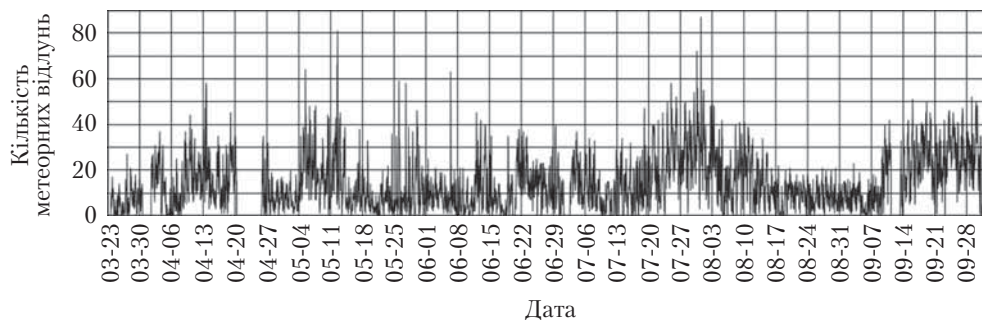


Рис. 1. Погодинна метеорна активність

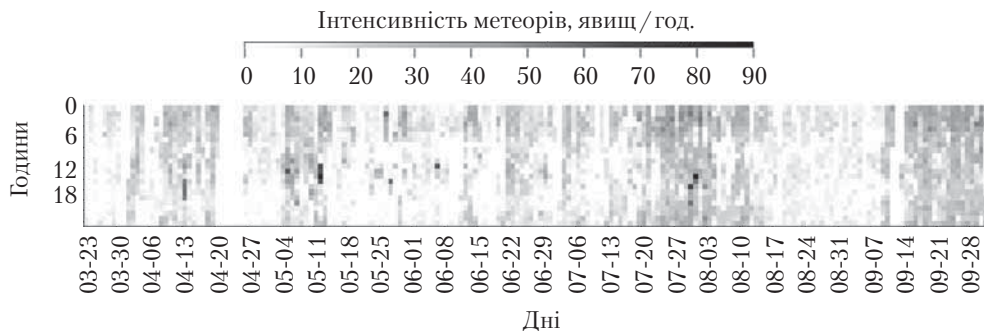


Рис. 2. Денно-годинна розгортка інтенсивностей метеорних явищ

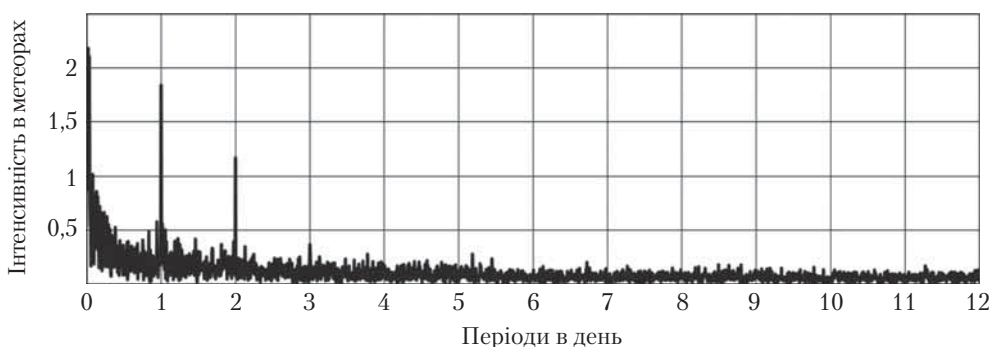


Рис. 3. Періодичність метеорних явищ

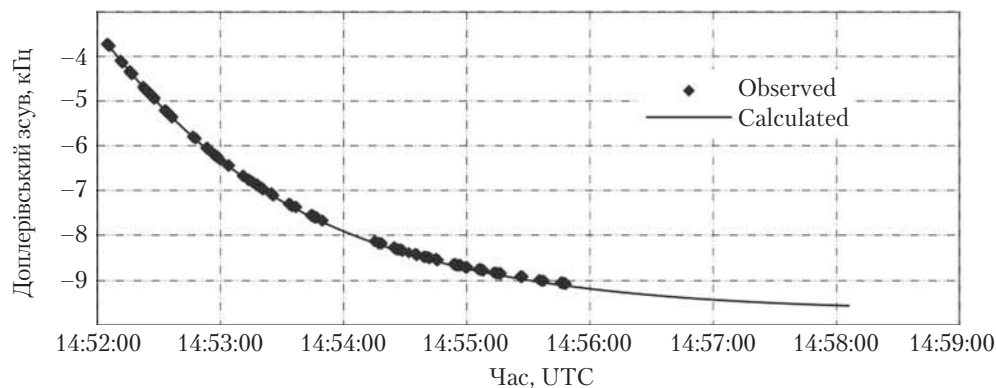


Рис. 4. Приклад вимірної кривої (репліки) доплерівського зміщення частоти (*observed*), побудованої поряд з розрахунковою (*calculated*)

частоти (436.808–436.815 МГц) та алгоритм обробки масивів даних відрізняються. Етапи алгоритму по виявленню активного ШСЗ такі:

1) шляхом введення коефіцієнта поправки для звільнення спостережень від похибок хо-

ду внутрішнього генератора приймача приводиться частота вибірки до дійсної;

2) проводиться розрахунок амплітудно-частотно-часової розгортки з нормалізацією вибраного діапазону за алгоритмами, описаними в [2];

3) проводиться очищення амплітудно-частотно-часової розгортки від шумів з подальшою її бінаризацією, де значення «один» мають частини розгортки, що задовольняють умовам виявлення сигналу;

4) отримана розгортка очищується бінарними масками, котрі залишають правильні нахили груп пікселів, що відповідають дійсному доплерівському зміщенню;

5) поліном третього порядку накладається на отримані з попередніх етапів дані, що допомагає відсіяти точки, які не відповідають тренду прийнятого сигналу доплерівського зміщення;

6) порівнюються значення доплерівського зміщення частоти, отримані з виділеного сигналу, з розрахованими значеннями за початковими умовами, взятими з джерела NORAD [5] та проводиться ототожнення ШСЗ;

7) за вимірними значеннями доплерівського зміщення частоти проводиться уточнення початкових умов, взятих з джерела NORAD у форматі TLE, для ототожненого ШСЗ.

В НДІ «МАО» спостереження з використанням розглянутого вище АПК почали 23 березня 2016 р. На початок жовтня було вже зареєстровано 63 892 метеорних відлунь, котрі зображені на рис. 1. Середнє значення метеорних відлунь за годину складає 13,74 при середньоквадратичному відхиленні 3,26 метеори. Зауважимо, що на період спостережень припало два метеорних потоки з великою інтенсивністю: ета-Акваріди з тривалістю від 19 квітня до 28 травня і максимумом 5 травня та Персеїди — з тривалістю від 17 липня до 24 серпня і максимумом 12 серпня [6]. Інтенсивності даних потоків видно на рис. 2.

Ще одним важливим фактом, що впливає з оброблених даних, є наявність добової (1,84 метеори) та півдобової (1,17 метеори) гармонік інтенсивності метеорних явищ, (рис. 3).

У квітні 2016 р. було проведено експеримент зі спостереження активно випромінюючого радіоаматорського супутника CUTE-1 (NORAD ID 27844), робоча частота якого 436 837,5 кГц.

Було зареєстровано 20 проходів супутника від 05.04.2016 до 13.04.2016. Внутрішня похибка вимірювання радіальної швидкості складає в середньому 2 м/с. Синхронізація забезпечена з точністю до 1 с. Максимальне відхилення від розрахункової кривої, отриманої за початкових умов (елементів орбіти супутника у форматі TLE) NORAD складає 50 м/с, максимальне відхилення після уточнення початкових умов — 16 м/с. Приклад реєстрації наведено на рис. 4.

## ВИСНОВКИ

З вищесказаного можна зробити такі висновки:

1. Використання доступних ПКПП є виправданою практикою для спостережень за метеорною активністю та активно випромінюючими ШСЗ.

2. За період часу від 23 березня до 3 жовтня 2016 р. зареєстровано 63 892 метеорних явищ з середньогодинним значенням 13,74 з середньоквадратичним відхиленням 3,26 метеори.

3. За період часу від 05 квітня до 13 квітня 2016 р. було зареєстровано 20 проходів супутника CUTE-1. При цьому внутрішня похибка вимірювання радіальної швидкості складала 2 м/с, а максимальне відхилення після уточнення початкових умов — 16 м/с.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Rubin A., Grossman J. Meteorite and meteoroid: New comprehensive definitions. *Meteoritics and Planetary Science*. 2010. № 45. С. 114–122.
2. Вовк В.С., Каложный Н.А., Козырев Е.С., Шульга А.В. Автоматическая обработка сигналов при наблюдении метеоров методом загоризонтного зондирования. *Вісник астрономічної школи*. 2012. № 2. С. 166–170.
3. IMO. Radio Observations [Електронний ресурс] / IMO. — 2016. URL: <http://www.imo.net/radio/reflection>.
4. Мак-Кинли Д. *Методы метеорной астрономии*. Москва: Мир, 1964. 384 с.
5. Space-Track. Two-line element set [Електронний ресурс] / Space-Track. — 2016. URL: [www.space-track.org](http://www.space-track.org).
6. Rendtel J. 2016 Meteor Shower Calendar [Електронний ресурс] / Jurgen Rendtel. — 2015. URL: [www.imo.net/files/meteor-shower/cal2016.pdf](http://www.imo.net/files/meteor-shower/cal2016.pdf).

REFERENCES

1. Alan E. Rubin, Jeffrey N. Grossman Meteorite and meteoroid: New comprehensive definitions. *Meteoritics & Planetary Science*. 2010. 45(1): 1–156.
2. Vovk V.S., Kalyuzhnyi N.A., Kozyrev E.S., Shulga A.V.. Avtomaticheskaya obrabotka signalov pri nablyudeniі meteorov metodom zagorizontnogo zondirovaniya. *Visnik astromichnoyi shkoly*. 2012. 8(2): 166–170 [in Russian].
3. IMO. *Radio Observations*. 2016. URL: [www.imo.net/radio/reflection](http://www.imo.net/radio/reflection).
4. Mak Kinli D. *Metodyi meteornoy astronomii*. Moskva: Mir, 1964 [in Russian].
5. Space-Track. *Two-line element set*. 2016. URL: [www.space-track.org](http://www.space-track.org).
6. Rendtel J. *2016 Meteor Shower Calendar*. 2015. URL: [www.imo.net/files/meteor-shower/cal2016.pdf](http://www.imo.net/files/meteor-shower/cal2016.pdf).

V.S. Vovk, O.V. Shulga, Ye.S. Sybiryakova,  
M.O. Kaliuzhnyi, F.I. Bushuev, M.O. Kulichenko

Research Institute «Mykolaiv Astronomical Observatory»,  
1, Observatorna Str., Mykolaiv, 54030, Ukraine,  
tel. +38(0512) 47-70-14

LOW-TECH HIGHLY EFFICIENT  
RADIOTECHNICAL SOLUTIONS FOR METEORS  
AND SATELLITE OBSERVATIONS

Single-station technique of meteors' observation using inexpensive receivers is developed. The receivers are also

suitable for observing active artificial Earth's satellites on solar-synchronous orbits when measuring the Doppler shift frequency at which they emit.

Keywords: artificial satellites, meteors, Doppler shift, radio-technical solutions.

V.S. Vovk, A.V. Shulga, E.S. Sibiryakova,  
N.A. Kaluzhnyi, F.I. Bushuev, N.A. Kulichenko

Научно-исследовательский институт  
«Николаевская астрономическая обсерватория»,  
ул. Обсерваторная, 1, Николаев, 54030, Украина,  
тел.: +38(0512) 47-70-14

НИЗКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ  
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА  
ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТЕОРОВ  
И СПУТНИКОВ

Разработана методика однопозиционных наблюдений с использованием недорогих приемников. Эти приемники удобны также для наблюдений активных искусственных спутников Земли на солнечно-синхронной орбите при измерении доплеровского смещения частоты, на которой они излучают.

*Ключевые слова:* искусственные спутники, метеоры, доплеровское смещение, радиотехнические приемники излучения.

Стаття надійшла до друку 17.10.16