

<https://doi.org/10.15407/knit2021.03.085>
УДК 621.37.+551.553.5

Ф. І. БУШУЄВ¹, наук. співроб., магістр
E-mail: felix.bushuev@ukr.net
М. П. КАЛЮЖНИЙ¹, зав. сектору, канд. фіз.-мат. наук
E-mail: nikalyuzhny@ukr.net
М. О. КУЛІЧЕНКО¹, зав. сектору, канд. фіз.-мат. наук
О. В. ШУЛЬГА¹, директор, старш. наук. співроб., д-р фіз.-мат. наук
E-mail: shulga-av@ukr.net
Є. В. МАЛИНОВСЬКИЙ², зав. природничо-математичного відділу, магістр
E-mail: malinovskyyeugeny@gmail.com
С. Г. САВЧУК³, проф., д-р техн. наук
Л. М. ЯНКІВ-ВІТКОВСЬКА³, доцент, канд. техн. наук
Б. О. ГРУДИНІН⁴, декан факультету технологічної і професійної освіти, доцент, д-р пед. наук

¹ Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія»
вул. Обсерваторна 1, Миколаїв, Україна, 54030

² Рівненська Мала академія наук учнівської молоді
вул. Симона Петлюри 17, Рівне, Україна, 33013

³ Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери 12, Львів, Україна, 79000

⁴ Глухівський національний педагогічний університет ім. Олександра Довженка
вул. Києво-Московська 24, Глухів, Україна, 41400

СТАНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТОК УКРАЇНСЬКОЇ МЕРЕЖІ РАДІОСПОСТЕРЕЖЕНЬ МЕТЕОРІВ

За десятирічний період досліджень в науково-дослідному інституті «Миколаївська астрономічна обсерваторія» (НДІ МАО) було розроблено апаратне і програмне забезпечення для спостереження, виділення і обчислення параметрів метеорних явищ з використанням прямого розсіяння на іонізованих слідах метеорів сигналів загоризонтних FM-станцій радіомовлення в діапазоні 88...108 МГц. Це дозволило створити мережу спостережень метеорних явищ в радіодіапазоні, яка складається з шести станцій, розташованих у Миколаєві (три станції), Рівному, Львові і Глухові. Станції мають ідентичне апаратне та програмне забезпечення. Для прийому радіосигналів використовуються антени типу «хвильовий канал» з шести або восьми горизонтальних вібраторів та SDR приймачі на основі мікрочипу RTL2832U. Програмне забезпечення станцій проводить безперервну реєстрацію та аналіз радіосигналів, отриманих на виході квадратурних детекторів приймачів, автоматичне виявлення моментів появи метеорних віддзеркалень, формування та e-mail-розсилку щодобових звітів про виявлені метеорні явища. Налаштування обладнання та поточний контроль функціонування станцій здійснюється НДІ МАО з використанням віддаленого інтернет-доступу до комп'ютерів станцій. Щомісячні звіти про кількість метеорних явищ, зареєстрованих кожною станцією, розміщуються на сайті RMOB (Radio Meteor Observation Bulletin).

Наводяться результати роботи мережі в 2017—2019 рр., що підтверджують відповідність добових варіацій кількості метеорів, зареєстрованих станціями мережі, відомій залежності (спостереження метеорів у апексі та антиапексі), а також відповідність отриманих мережею характеристик трьох метеорних потоків (Персеїди, Гемініди та Квадрантиди) очікуванім у часі і інтенсивності. Приводяться рекомендації проведення додаткових досліджень, направлених на оцінювання кінематичних параметрів (швидкості, радіанти) метеороїдів і їхнього зв'язку з потенційно небезпечними астероїдами.

Ключові слова: метеороїд, метеорний потік, радіоспостереження, FM-радіомовлення.

Цитування: Бушуєв Ф. І., Калюжний М. П., Куліченко М. О., Шулга О. В., Малиновський Є. В., Савчук С. Г., Янків-Вітковська Л. М., Грудинін Б. О. Становлення та розвиток української мережі радіоспостережень метеорів. *Космічна наука і технологія*. 2021. 27, № 3 (130). С. 85—92. <https://doi.org/10.15407/knit2021.03.085>

ВСТУП

У світі зростає зацікавленість до вивчення метеорних явищ, пов'язаних із вторгненням малих тіл Сонячної системи (метеороїдів) в атмосферу Землі. Серед таких тіл періодично трапляються й такі, що становлять загрозу для функціонування космічних апаратів, кількість яких у навколоземному просторі стрімко зростає.

Найінформативнішим наземним засобом спостереження метеорів у радіодіапазоні є радар зворотного розсіяння. В Україні такі спостереження проводилися в Харкові за допомогою МАРС (метеорна автоматизована радіолокаційна система) [4]. Отримані МАРС елементи орбіт 5317 метеороїдів входять до міжнародної бази даних IAU MDC (International Astronomical Union Meteor Data Center) та є предметом інтенсивних досліджень [11, 14, 16]. Високі експлуатаційні витрати є основним недоліком та стримувальним фактором для широкого розповсюдження таких спостережень.

Доступність технічного обладнання сприяла появі як великої кількості спостерігачів метеорних явищ в оптичному і радіодіапазонах, так і можливості онлайн-моніторингу метеорних потоків. При цьому в радіодіапазоні для спостережень стали широко використовувати сигнали радіо- та телемовлення, відбиті плазмовими слідами метеорів. В Європі є можливість використовувати також сигнали французького радара GRAVES. За даними Європейського радіоастрономічного клубу (ERAC, European Radio Astronomy Club) близько 350 користувачів із 19 країн Європи активно займаються різними напрямками радіоастрономії, зокрема й спостереженням радіометеорів; 46 користувачів проекту відстеження метеороїдів RMOB (Radio Meteor Observing Bulletin) з усього світу надають дані цих спостережень в режимі онлайн [10, 15]. В деяких країнах активно функціонують мережі спостерігачів радіометеорів: BRAMS (Бельгія), Bolidozor (Чехія) [7, 8, 9, 12]. Головною інформацією, яку отримують спостерігачі радіометеорів є кількість зареєстрованих явищ за годину, що дає можливість як оцінити параметри метеорних потоків (період і пік активності, функція спостережності), так і відстежувати розподіл метеорної

речовини впродовж добового й річного циклів руху Землі.

НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» з 2010 р. проводить систематичні спостереження метеорів у радіодіапазоні методом прийому сигналу FM-станції, що перебуває за горизонтом [1]. Такий метод носить назву прямого розсіювання сигналу (forward scattering). За десятирічний період досліджень було розроблено апаратне і програмне забезпечення для спостереження, виділення й обчислення параметрів метеорних явищ. Успішно налагоджено роботу зі спостережень метеорних явищ і автоматичної обробки результатів дозволила розширити кількість станцій і створити мережу радіоспостережень метеорів в Україні. Основною метою є розширення інформації про метеорні явища, зокрема оцінювання кінематичних параметрів (швидкості, радіанти) тіл і їхнього зв'язку з іншими малими тілами Сонячної системи (потенційно небезпечними астероїдами, які зближуються із Землею). Важливим аспектом функціонування мережі є залучення молоді до наукових досліджень з використанням сучасних технічних засобів, оскільки з'являється можливість безпосередньої участі молоді як у проведенні спостережень, так і в їхній обробці та аналізі [3]. Прикладом може бути Рівненська Мала академія наук учнівської молоді, де станція радіоспостережень метеорів працює з 2015 р. Слухачі Академії використовують отриманий станцією матеріал для написання науково-дослідних робіт, з якими беруть участь у Всеукраїнських конкурсах-захистах науково-дослідних робіт, займаючи призові місця.

МЕТЕОРНИЙ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС

Функціонування метеорного апаратно-програмного комплексу (МАПК) базується на безперервному, цілодобовому прийомі сигналів радіомовної FM-станції, відбитих від іонізованих метеорних слідів, що виникають в атмосфері Землі на висотах 80...100 км [1, 2]. Метеорний апаратно-програмний комплекс НДІ МАО на трасі довжиною 903 км приймає сигнал FM-станції «Radio Muzyka Fakty Sp. z o.o.» [18], розташованої біля міста Кельце (Польща) — азимут 302° відносно Миколаєва.

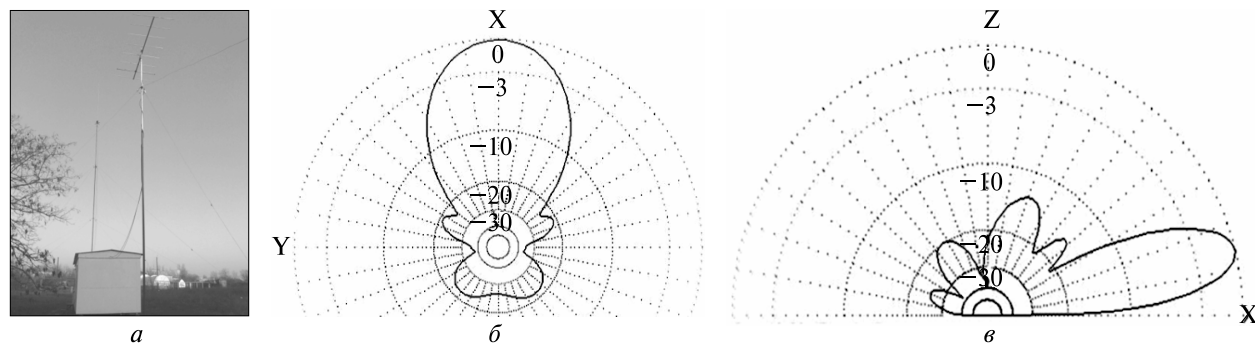


Рис. 1. Приймальна антена МАПК станції WAGON НДІ МАО (а) та її розрахункова діаграма спрямованості в горизонтальній (б) і вертикальній (в) площинах. (Значення діаграми спрямованості — в дБ, крок зміни кута — 10°)

Випромінювач станції RMF FM встановлено на телевізійній вежі «Святий хрест», яка має висоту 126.5 м [13]. Висота встановлення антени передавача 100 м, частота несучого сигналу 88.2 МГц, потужність випромінюваного сигналу 120 кВт.

Для прийому сигналу використовується антена типу «хвильовий канал» з вісьмома елементами (рис. 1). Коефіцієнти підсилення антени 13.2 дБ. Ширина діаграми спрямованості (за рівнем -3 дБ) у горизонтальній і вертикальній площинах становить 40° і 20° відповідно. Придушення заднього пелюстка — 20 дБ. Вертикальний кут (кут місця) максимуму головного пелюстка діаграми дорівнює 15° .

У 2013 р. приймальне обладнання та програмне забезпечення для автоматичного виявлення метеорних явищ і комп'ютерної обробки метеорних даних були суттєво модернізовані, порівняно з МАПК, описаним у роботі [1]. З того часу для прийому радіосигналів загоризонтних FM-станцій, відбитих метеорним слідом, використовується SDR-приймач DVB-T+DAB+FM з мікрочіпом RTL2832U [6]. Використання цього приймача та SDR-технології дало змогу поліпшити чутливість і частотну вибірковість прийому радіосигналів.

Вхідною інформацією для пошуку сигналів, відбитих від метеорних слідів, є сигнал із виходу квадратурного детектора приймача, тобто сигнал, який ще не пройшов FM-демодуляцію та характеристики якого повністю відповідають сигналу на несучій частоті. Завдяки використанню такого сигналу з'являється принципова можливість визначення амплітуди та доплерів-

ського зсуву частоти сигналу, відбитого від метеорного сліду, в результаті відновлення несучої по відомому модуляційному сигналу. У випадку прийому загоризонтних FM-станцій модуляційний сигнал є априорі невідомим. Для його визначення пропонується використовувати сигнали, віддзеркалені метеорним слідом. Визначення модуляційного сигналу за віддзеркаленими сигналами базується на стійкості FM-модуляції до амплітудних спотворень сигналу. Для його визначення потрібно пропустити віддзеркалений сигнал через частотний детектор, на виході якого отримаємо шуканий модуляційний сигнал. Відновлену несучу хвилю отримаємо на виході частотного модулятора, через який пропускається початковий віддзеркалений сигнал, а як модуляційний використовується раніше визначений сигнал з протилежним знаком. Отже, можливе визначення параметрів френелівських коливань амплітуди радіосигналу, зумовлених інтерференцією на метеорному сліді, що дозволить оцінити значення швидкості метеороїда вздовж траєкторії руху за однопозиційними спостереженнями. При цьому залишається можливість багатопозиційного визначення координат метеороїда методом мультилатерації при вирішенні, перш за все, проблем синхронізації спостережень географічно рознесеними приймальними станціями і забезпечення стабільності та ідентичності амплітудно-фазових характеристик їхніх приймачів.

Для реєстрації радіосигналів використовується програма HSDR, що перебуває у вільному доступі. Програма дозволяє формувати записи амплітуд квадратурних каналів приймача у ви-



Рис. 2. Радіотраси мережі реєстрації метеорних явищ: D — довжина, км, A — азимуту, градуси

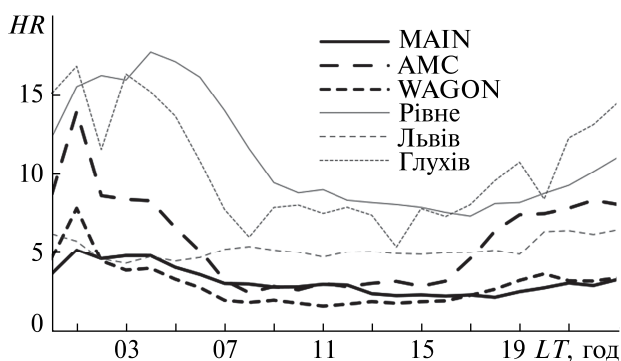


Рис. 3. Криві варіацій протягом доби середньої за рік кількості метеорів, обчислені за спостереженнями станцій мережі в 2019 р. Час — локальний. Кількість метеорів за годину (HR) ненормована

гляді wav-файлів та файли зображень амплітудно-частотно-часової розгортки для цілодобового моніторингу метеорної активності. Мінімальна смуга аналізу при цьому становить 250 кГц, а максимальна — 3.2 МГц. Це значно більше за ширину спектру FM-сигналу, яка не перевищує 75 кГц, що дозволяє проводити оптимальну обробку цього сигналу.

Було також істотно розширено мережу приймальних станцій за рахунок двох додаткових станцій у Миколаєві (НДІ МАО), а також за рахунок встановлення типового обладнання у Рівному (Рівненська Мала академія наук учнівської молоді), у Львові (Національний університет «Львівська політехніка») і в Глухові (Глухівський національний педагогічний університет ім. Олександра Довженка).

Станції побудовано за однаковою структурою і включають в себе направлені шести- або восьмиелементні антени типу «хвильовий канал» з підсиленням близько 13 дБ, SDR-приймачі DVB-T+DAB+FM і комп'ютери з програмним забезпеченням, розробленим у НДІ МАО. На рис. 2 показано розташування станцій мережі реєстрації метеорних явищ та відповідних передавачів FM-радіостанцій, а також наведено довжини D і азимуту A радіотрас (довжини радіотрас наведено в кілометрах, азимуту — в градусах від напрямку на північ зі станцій мережі на передавачі FM-радіостанцій).

У табл. 1 представлено місцезнаходження та географічні координати приймальних станцій мережі та відповідних передавачів, потужність

Таблиця 1. Координати приймальних станцій мережі та відповідних передавачів, потужність випромінювання передавачів, висоти антен над рівнем моря, робочі частоти

Місцезнаходження	Широта	Довгота	Висота антени, м	Потужність, кВт	Частота, МГц
Кельце (Польща)	50°51'36.29"	21°02'54.76"	697	120	88.2
Будапешт (Угорщина)	47°29'30.17"	18°58'44.00"	592	100	94.8
Зоннеберг (Німеччина)	50°26'48.29"	11°00'15.78"	1005	100	91.7
Стамбул (Туреччина)	41°00'58.75"	29°03'56.11"	384	100	88.2
Миколаїв (Україна)	46°58'17"	31°58'22"	65	—	88.2
Рівне (Україна)	50°37'23"	26°14'55"	205	—	94.8
Львів (Україна)	49°50'11"	24°00'52"	316	—	91.7
Глухів (Україна)	33°54'56"	51°40'43"	175	—	88.2

випромінювання передавачів, висоти антен над рівнем моря, робочі частоти.

На кожній станції проводиться цілодобова автоматична обробка даних спостережень та автоматична e-mail-розсилка зацікавленим споживачам щодобових даних вторгнень об'єктів космосу в атмосферу Землі. Методику обробки та виділення метеорних явищ описано в робо-

тах [5, 17]. В НДІ МАО готуються також щомісячні звіти, які викладаються на сайті RMOV. При цьому для налаштування обладнання та поточного контролю функціонування станцій використовується віддалений інтернет-доступ до комп'ютерів станцій. Добовий обсяг обробленої інформації по одній станції становить близько 80 Гбайт.

Рис. 4. Кількість метеорів, що реєструвалися щогодини станцією WAGON під час потоку Персеїди (06...13 серпня 2019 р.)

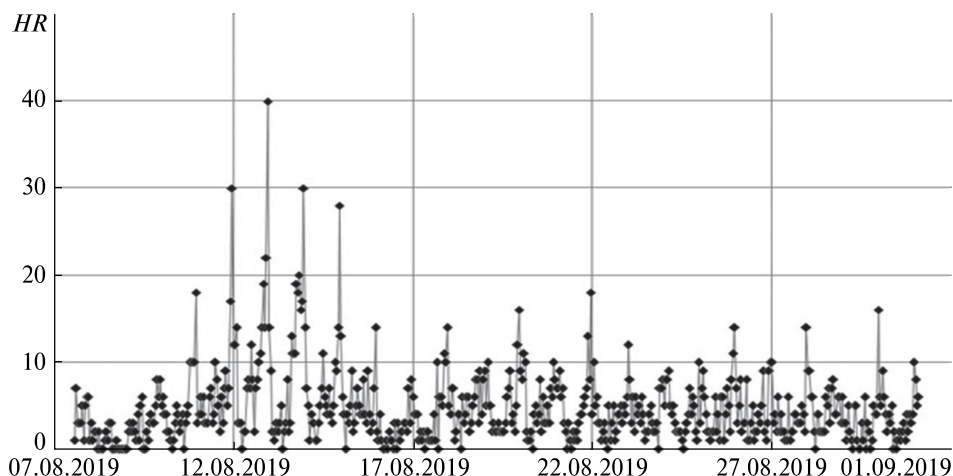
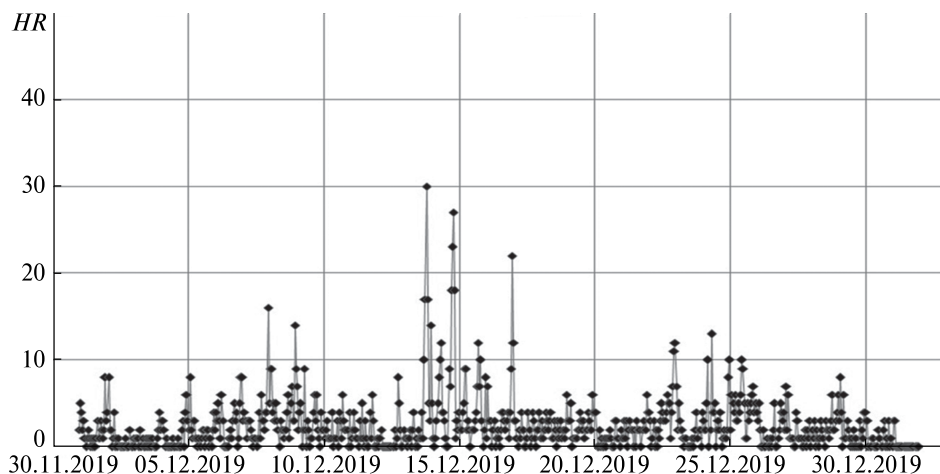


Рис. 5. Те ж для потоку Гемініди (12...16 грудня 2019 р.)



Таблиця 2. Кількість метеорів, зареєстрованих кожною станцією мережі у 2017—2019 рр.

Рік	Рівне	Львів	Глухів	MAIN	AMC	WAGON	Сума
2017	40854	—	—	79115	27768	51424	199161
2018	69904	27275	—	71151	70453	149776	388559
2019	69801	25408	46717	25387	46325	111407	325045
Сума	180559	52683	46717	175653	144546	312607	912765

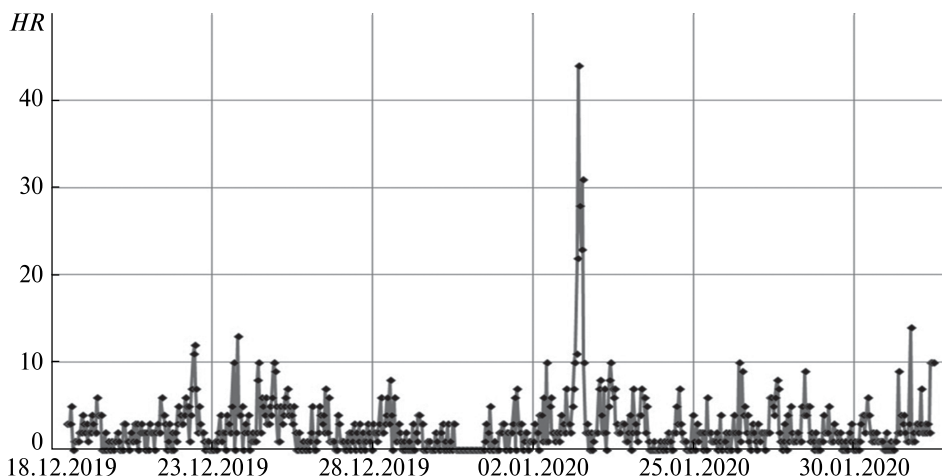


Рис. 6. Те ж для потоку Квадрантиди (30 грудня 2019 р. ... 07 січня 2020 р.)

РЕЗУЛЬТАТИ РЕЄСТРАЦІЇ МЕТЕОРНИХ ЯВИЩ МЕРЕЖЕЮ ПРИЙОМУ СИГНАЛІВ ЗАГОРИЗОНТНИХ FM-РАДІОСТАНЦІЙ

Кількість метеорів, зареєстрованих мережею прийому сигналів загоризонтних FM-радіостанцій у 2017—2019 рр., наведено у табл. 2. Три станції, розташовані у Миколаєві, мають назви MAIN, AMC і WAGON. Станції у Львові та Глухові введено в експлуатацію у травні 2018 р. і серпні 2019 р. відповідно. У 2017—2019 роках мережею зареєстровано 912765 метеорних явищ.

Розподіл кількості реєстрацій метеорів по годинах доби, отриманий шляхом усереднення щоденних даних мережі за 2019 р., показано на рис. 3. Видно, що для станцій у Львові і Миколаєві добовий розподіл кількості реєстрацій метеорів не відповідає очікуваному розподілу, згідно з яким максимум мав би бути о 6-й годині, а мінімум — близько 17—18-й годині локального часу, що відповідає спостереженням метеорів в апексі та антиапексі відповідно. Вказані особливості можуть бути зумовлені появою на станціях значних радіоперешкод в окремі періоди протягом року. Для усунення цього недоліку потрібно провести додаткові дослідження, тим більше що наведені нижче на рис. 4—6 дані реєстрації станцією WAGON трьох потужних метеорних потоків Персеїди, Гемініди і Квадрантиди свідчать про цілком задовільну відповідність отриманих характеристик цих потоків очікуваним, як за часом появи, так і за піком інтенсивності.

ВИСНОВКИ

Створено мережу спостережень метеорних явищ в радіодіапазоні, яка складається з шести станцій, розташованих в Миколаєві (3 станції), Рівному, Львові і Глухові. У 2017—2019 роках мережею зареєстровано 912765 метеорних явищ. Результати реєстрацій розміщено на сайті RMOV. Для підтвердження достовірності даних спостережень проведено: а) перевірку добових варіацій кількості метеорів, зареєстрованих станціями мережі, на відповідність відомій залежності (спостереження метеорів в апексі та антиапексі); б) порівняння отриманих мережею характеристик трьох метеорних потоків (Персеїди, Гемініди та Квадрантиди) на відповідність очікуваним, як за часом появи, так і за інтенсивністю. Для підвищення достовірності реєстрації метеорних явищ пропонується провести додаткові дослідження характеристик радіоперешкод, що діють у місцях дислокації станцій, з метою розробки методів їхнього придушення.

Рекомендується також провести дослідження можливості оцінки швидкості метеороїдів вздовж траєкторії руху за даними однопозиційних спостережень відбиття сигналів загоризонтних FM-станцій від метеорних слідів з використанням методу відновлення несучої частоти FM-сигналу.

Мережа спостережень метеорних явищ в радіодіапазоні має великий педагогічний потенціал із залучення учнівської та студентської молоді до наукових досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бушуев Ф. И., Калюжный Н. А., Сливинский А. П., Шульга А. В. Использование сигналов вещательных FM-станций для исследований численности метеоров. *Космична наука і технологія*. 2011. **17**, № 3. С. 60—70.
2. Вовк В. С., Калюжный Н. А., Козырев Е. С., Шульга А. В. Автоматическая обработка радиосигналов при наблюдении метеоров методом загоризонтного зондирования. *Вісник Астрон. школи*. 2012. **8**, № 2. С. 166—170.
3. Грудинін Б. О., Калюжный М. П. Організація роботи «Космічного патруля»: від початкової школи до рівня науково-дослідного інституту. *Фізика та астрономія в рідній школі*. 2019. № 4. С. 23—30.
4. Кашеев Б. Л., Волощук Ю. И., Ткачук А. А. и др. Метеорная автоматизированная радиолокационная система. *Метеор. исслед.* 1977. № 4. С. 11—61.
5. Патент на корисну модель № 117155. Шульга О. В., Бушуев Ф. И., Вовк В. С., Куліченко М. О. Спосіб пасивної реєстрації метеорних явищ у радіодіапазоні. Зареєстровано в державному реєстрі патентів України на корисні моделі 12.06.2017.
6. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 75962. Вовк В. С., Куліченко М. О. Автоматичне виявлення метеорів та штучних супутників землі по даним радіоприймача RTL2832. Зареєстровано у державному реєстрі України 07.12.2017. URL: http://www.nao.nikolaev.ua/articles/2017/2017_75258_Vovk.pdf (дата звернення: 10.05.2020).
7. Bolidozor, radiometeor detection network. URL: <http://www.bolidozor.cz/> (дата звернення: 10.05.2020).
8. BRAMS (Belgian RAdio Meteor Stations). URL: <http://brams.aeronomie.be> (дата звернення: 10.05.2020).
9. Calders S., Lamy H., De Keyser J., Verbeeck C., Martinez Picar A., Tetard C. The Radio Meteor Zoo: involving citizen scientists in radio meteor research. *European Planetary Science Congress EPSC2018-148* (2018).
10. European Radio Astronomy Club. URL: <http://www.eraacnet.org/> (дата звернення: 10.05.2020).
11. Hajduková M. *Meteors in the IAU Meteor Data Center on Hyperbolic Orbits*. Advances in Meteoroid and Meteor Science. Trigo-Rodríguez J. M., Rietmeijer F. J. M., Llorca J., Janches D. (Eds). New York, NY: Springer, 2007.
12. Kakona J., Kovar P., Kakona M. Bolidozor — distributed radio meteor detection system. URL: <https://arxiv.org/abs/1606.02052> (дата звернення: 10.05.2020).
13. Kielce *Święty Krzyż*. URL: http://radiopolska.pl/wykaz/pokaz_lokalizacja.php?pid=155 (дата звернення: 10.05.2020).
14. Kolomiyets S. V. Uncertainties in MARS Meteor Orbit Radar Data. *J. Atmos. and Solar-Terr. Phys.* 2015. **124**. P. 21—29.
15. Radio Meteor Observing Bulletin. URL: <https://www.rmob.org/index.php> (дата звернення: 10.05.2020).
16. Steel D. Meteoroid orbits. *Space Sci. Rev.* 1996. **78**. P. 507—553.
17. Vovk V. S., Shulga O. V., Sybiryakova Ye. S., Kaliuzhnyi M. P., Bushuev F. I., Kulichenko M. O. Low-tech Highly Efficient Radiotechnical Solutions for Meteors and Satellite Observations. *Sci. Innov.* 2017. **13**(1). P. 65—68.
18. Wszystkie emisje obiektu. URL: http://emi.emitel.pl/EMITEL/obiekty.aspx?obiekt=DODR_S3T (дата звернення: 10.05.2020).

Стаття надійшла до редакції 11.06.2020; після доопрацювання 24.03.2021

REFERENCES

1. Bushuev F. I., Kaliuzhnyi N. A., Slivinsky A. P., Shulga A. V. (2011). The use of FM-signals of broadcasting stations for meteor activity investigation. *Kosm. nauka tehnol.*, **17**, № 3, 60—70 [In Russian].
2. Vovk V. S., Kaliuzhnyi N. A., Kozyrev Y. S., Shulga A. V. (2012). Automatic processing of radio signals when meteors are observed by the method of over-the-horizon sounding. *Visnyk Astronomichnoi Shkoly*, **8**, № 2, 166—170 [In Russian].
3. Hrudynin B. O., Kaliuzhnyi M. P. (2019). Organization of the work of space patrol: from primary school to the level of a research institute. *Fizyka ta astronomia v ridniy shkoly*, № 4, 23—30 [In Ukrainian].
4. Kashcheyev B. L., Voloschuk Yu. I., Tkachuk A. A. et al. (1977). Meteor Automated Radar System. *Meteornye issledovania*, № 4, 11—61 [In Russian].
5. Patent for utility model № 117155. Method of passive registration of meteor phenomena in radio range. Shulga O. V., Bushuev F. I., Vovk V. S., Kulichenko M. O. Registered in the state register of patents of Ukraine for utility models 12.06.2017 [In Ukrainian].
6. Certificate of copyright registration for the work № 75962. Automatic detection of meteors and artificial satellites of Earth using the radio receiver RTL2832. Registered in the state register of Ukraine 07.12.2017. Vovk V. S., Kulichenko M. O. URL: http://www.nao.nikolaev.ua/articles/2017/2017_75258_Vovk.pdf (Last accessed: 10.05.2020).
7. Bolidozor, radiometeor detection network. URL: <http://www.bolidozor.cz/> (Last accessed: 10.05.2020).
8. BRAMS (Belgian RAdio Meteor Stations). URL: <http://brams.aeronomie.be> (Last accessed: 10.05.2020).
9. Calders S., Lamy H., De Keyser J., Verbeeck C., Martinez Picar A., Tetard C. The Radio Meteor Zoo: involving citizen scientists in radio meteor research. *European Planetary Science Congress EPSC2018-148* (2018).
10. European Radio Astronomy Club. URL: <http://www.eraacnet.org/> (Last accessed: 10.05.2020).

11. Hajduková M. (2007). *Meteors in the IAU Meteor Data Center on Hyperbolic Orbits*. Advances in Meteoroid and Meteor Science. Eds J. M. Trigo-Rodríguez, F. J. M. Rietmeijer, J. Llorca, D. Janches. New York, NY: Springer.
12. Kakona J., Kovar P., Kakona M. (2016). Bolidozor — Distributed radio meteor detection system. URL: <https://arxiv.org/abs/1606.02052> (Last accessed: 10.05.2020).
13. Kielce *Święty Krzyż*. URL: http://radiopolska.pl/wykaz/pokaz_lokalizacja.php?pid=155 (Last accessed: 10.05.2020).
14. Kolomiyets S. V. (2015). Uncertainties in MARS Meteor Orbit Radar Data. *J. Atmos. and Solar-Terr. Phys.* **124**, 21—29.
15. Radio Meteor Observing Bulletin. URL: <https://www.rmob.org/index.php> (Last accessed: 10.05.2020).
16. Steel D. (1996). Meteoroid orbits. *Space Sci Rev.*, **78**, 507—553.
17. Vovk V. S., Shulga O. V., Sybiryakova Ye. S., Kaliuzhnyi M. P., Bushuev F. I., Kulichenko M. O. (2017). Low-tech Highly Efficient Radiotechnical Solutions for Meteors and Satellite Observations. *Sci. Innov.*, **13**(1), 65—68.
18. Wszystkie emisje obiektu. URL: http://emi.emitel.pl/EMITEL/obiekty.aspx?obiekt=DODR_S3T (Last accessed: 10.05.2020).

Received 11.06.2020

Revised 24.03.2021

F. I. Bushuev¹, Researcher, master

E-mail: felix.bushuev@ukr.net

M. P. Kaliuzhnyi¹, Head of Department, Ph.D. in Phys&Math.

E-mail: nikalyuzhnyi@ukr.net

M. O. Kulichenko¹, Head of Department, Ph.D. in Phys&Math.

O. V. Shulga¹, Director, Senior Researcher, Dr. Sci. in Phys&Math.

E-mail: shulga-av@ukr.net

Ye. V. Malynovskyi², Head of Department of Natural Sciences and Mathematics, master

E-mail: malinovskyyeugeny@gmail.com

S. G. Savchuk³, Professor, Dr. Sci. in Tech.

L. M. Yankiv-Vitkovska³, Docent, Ph. D. in Tech.

B. O. Hrudynin⁴, Dean of the Department of Technological and Professional Education, Docent, Dr. Sci. in Pedagogic Sciences

¹ Research Institute «Mykolaiv Astronomical Observatory»

1 Observatorna Str., Mykolaiv, 54030 Ukraine

² Rivne Minor Academy of Science of School-Age Youth

17 Simon Petliura Str., Rivne, 33013 Ukraine

³ Lviv Polytechnic National University

12 Stepan Bandera Str., Lviv, 79000 Ukraine

⁴ Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University

24 Kyivo-Moscovska Str., Hlukhiv, 41400 Ukraine

FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE UKRAINIAN NETWORK OF METEOR RADIO OBSERVATIONS

During the decade of research, the Research Institute “Mykolaiv Astronomical Observatory” (RI “MAO”) developed hardware and software for monitoring, extracting, and calculating the parameters of meteor phenomena using the forward scattering of signals from over-the-horizon FM-stations broadcasted in the frequency range of 88—108 MHz by ionized meteor trails. This made it possible to create a network of observations of meteor phenomena in the radio range, which consists of six stations located in Mykolaiv (three stations), Rivne, Lviv, and Hlukhiv. The stations have identical hardware and software. The reception of radio signals is carried out by Yagi-Uda antennas with six or eight horizontal vibrators and SDR receivers based at the RTR2832U microchip.

The station software performs continuous registration and analysis of received radio signals at the output of quadrature detectors of the receivers, automatic detection of moments of appearances of meteor reflections, preparation of daily reports on detected meteor phenomena, and sending them by e-mail. Equipment setup and current monitoring of station operations are carried out by the RI «MAO» using remote access to station computers via the Internet. Monthly reports on the number of meteor events recorded by each station are posted on the site of the Radio Meteor Observation Bulletin (RMOB).

The article presents the results, obtained by the network in 2017—2019, confirming a correspondence of daily variations in the number of meteors registered by network stations, to the known dependence (observation of meteors in the apex and antapex), as well as a correspondence between the expected characteristics (in time and intensity) of three meteor showers (Perseids, Geminids and Quadrantids) and that one obtained by the network. The article also gives recommendations for additional research aimed at achieving the main goal, namely, expanding information about meteor phenomena, including the estimation of kinematic parameters (velocities, radiant) of meteoroids and their relationship with potentially hazardous asteroids.

Keywords: meteoroid, meteor shower, radio observations, FM radio broadcasting.