

holding of such a seminar will be of particular importance, since it provides them with an introduction to the latest achievements of physics, as well as a test of themselves in professional activity.

Keywords: *competence in the discipline "General Physics", students' research work, seminars, polymers with new physical properties.*

УДК 373.096(545)+52-13(15)

Грудинін Б. О.

НИЗЬКОТЕХНОЛОГІЧНІ ВИСОКОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ ВІДСТЕЖЕННЯ ВТОРГНЕНЬ МЕТЕОРІВ У АТМОСФЕРУ ЗЕМЛІ

Описано результати наукових розвідок щодо проблеми фіксування входжень метеорних тіл в атмосферу Землі. Пропонуються методи розв'язування даної проблеми, а саме: візуальне спостереження фактів вторгнень космічних об'єктів і спостереження в радіодіапазоні електромагнітних хвиль. Представлено результати фіксування входжень метеорних тіл в атмосферу Землі центром спостережень космічних вторгнень при кафедрі фізико-математичної освіти та інформатики Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка (далі – Глухівський НПУ імені О. Довженка). Спостереження виконано в форматі ідей усесвітньо відомого науковця в області астрономії К. І. Чурюмова.

Описано особливість дослідження метеорної активності в радіодіапазоні, що полягає в реєстрації частини перевипроміненої енергії від наземних трансляторів телерадіомовлення (так зване розсіяння вперед, від англ. – forward scattering). Представлено результати роботи автоматизованого комплексу спостережень метеорів у рамках Угоди про співпрацю між Науково-Дослідним Інститутом "Миколаївська Астрономічна Обсерваторія" і Глухівським НПУ імені О. Довженка.

Ключові слова: *метеор, метеорна активність, космічні вторгнення, радіодіапазон, автоматизований комплекс спостережень метеорів.*

Дослідження метеорних тіл та їхньої взаємодії з атмосферою Землі для сучасної науки має велике значення при вирішенні цілого ряду астрономічних, геофізичних і прикладних задач: вивчення походження та еволюції Сонячної системи, оцінка впливу метеоритної речовини на Землю, використання розсіяння радіохвиль на іонізованих метеорних слідах для потреб радіозв'язку, безпека польотів космічних апаратів тощо [1].

Кожну добу в атмосферу Землі входить біля 400 метеороїдів з масами не менше 1 кг. Приблизно 30% з них досягають висоти 30 км і менше, а біля 0,5% – залишають на поверхні Землі метеорити. Космічні прибульці кожного року залишають на нашій планеті близько 800 метеоритів (на поверхню Землі щодоби "випадає" з космосу до 50 тон великих і дрібних метеоритів), хоча знаходять всього 10–20. Більше 75% яскравих болідів в нашій атмосфері є фрагментами ядер комет, які рідко долітають до поверхні Землі. Залежно від хімічного складу метеорити поділяють на кам'яні, залізні та залізокам'яні. Кам'яні метеорити складають близько 92%, залізні – приблизно 6%, залізокам'яні – біля 2%.

Метеорні потоки спостерігається щорічно, коли Земля проходить точку перетину їх орбіт. Час спостереження метеорних потоків може тривати від кількох годин до кількох тижнів і залежить від напрямку поперечного перетину їх орбіт. Періодичність зустрічей нашої планети з космічними тілами наведено в табл. 1 [2].

Таблиця 1

Середній період (Т) між двома падіннями тіл в залежності від маси (m)

m	T
10 ⁻² г	7,2·10 ⁻³ с (~ 140 за с)
0,1 г	
1 г	
100 г	
1 кг	
10 кг	
100 кг	5,6·10 ⁻² с (~ 18 за с)
1 т	
4,3 т (болід над Україною)	0,44 с 0,44 хвилини 3,44 хвилини 26,8 хвилини 3,50 годин 27,2 годин 4,16 доби 8,84 доби 50 (44) доби 2,3 місяців 1 рік 6,2 року 1300 років 80 тис. років 0,5 млн років 37 млн років 240 млн років
10 т	
70 (60) т (метеорит Гоба)	
100 т (Сіхоте-Алінь)	
650 т	
5·10 ³ т	
2·10 ⁶ т (Тунгуський, Аризонський)	
2·10 ⁸ т (діаметр ~ 0.5 км)	
1,6·10 ⁹ т (діаметр ~ 1 км)	
2·10 ¹¹ т (діаметр ~ 5 км)	
1,6·10 ¹² т (діаметр ~ 10 км)	

Оскільки в Сонячній системі переважають дрібні тіла (кількість частинок певної маси обернено пропорційна квадрату маси), то вони й частіше за все і влітають в атмосферу Землі. Якщо малі тіла практично повністю згоряють на висотах 120–80 км над поверхнею Землі, то більші тіла, створюючи боліди, можуть проникати значно глибше: до висот 40–30 км. Практично всі тіла в процесі польоту інтенсивно руйнуються і утворюють в нижніх шарах атмосфери потужні теплові вибухи і спалахи блиску. На думку учених-астрономів теплові вибухи великих тіл в земній атмосфері відбуваються тоді і там, коли метеороїд досягає максимального гальмування. Теплові вибухи в атмосфері Землі створюють як монолітні (кам'яні чи залізні), так і крихкі тіла з малою густиною. Після теплового вибуху метеороїда в атмосфері Землі, як правило, на поверхню планети випадають його залишки-фрагменти, які утворюють ударні кратери.

Так, однією з останніх таких подій стала поява яскравого боліда над Південним Уралом (Челябінського метеорита) 15 лютого 2013 р. у часовому інтервалі 03:20:20–03:20:36 UT (о 9^h 20^m 33^s за місцевим часом). Політ цієї несподіваної вогненної кулі закінчився на висоті 15–30 км потужним вибухом, після якого в небі залишився інверсійний слід, який з часом розсіявся [3–6]. До того ж, явище супроводжувалося ударною хвилею, руйнуванням тіла, збуреннями іоносфери та іншими ефектами. Сенсори, встановлені на геостаціонарних

супутниках, працюючих в інтересах Міністерства оборони США і Міністерства енергетики США, зафіксували повітряний вибух від Челябінського боліду і визначили його світимість, яка за даними НАСА (NASA) склала $E_0 = 3,75 \cdot 10^{14}$ Дж.

Учені Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна астрономи Ю. Мілованов і Л. Черногор проаналізували траєкторію падіння Челябінського об'єкта на основі рівнянь метеорної фізики і розробленого алгоритму оцінили висотно-часову залежність його швидкості від висоти руху [7] (рис. 1).

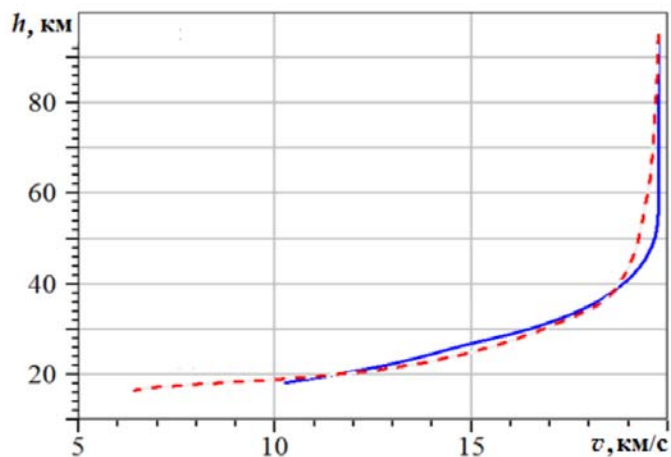


Рис. 1. Висотна залежність швидкості Челябінського метеороїда:
пунктирна лінія – спостережувальна, суцільна лінія – розрахована з урахуванням
тільки пружних стикань з частинками повітря

Взагалі челябінська подія як локальне явище з точки зору небезпеки є звичайним явищем, наслідки якого вражають – від ударної хвилі постраждало півтори тисячі людей. Метеори не стали частіше з'являтися, їх просто стали частіше фіксувати – відеореєстратори, камери, телефони фіксують небесні явища. До того ж невідомо, скільки болідів не зафіксовано, тому що вони засвітилися над безлюдними територіями. Отже, “локальні катастрофи” відбуваються регулярно [8].

Сьогодні проблема фіксування входжень метеорів у земну атмосферу розв'язується декількома методами, серед яких на особливу увагу заслуговують два: візуальне спостереження фактів вторгнень космічних об'єктів і спостереження в радіодіапазоні.

Візуальне спостереження метеорів в оптичному діапазоні. Проблема організації роботи по спостереженню вторгнень об'єктів космосу в земну атмосферу була однією з пріоритетних проблем, якою переймався видатний астроном, першовідкривач декількох комет, член-кореспондент НАН України К. І. Чурюмов (рис. 2).

У 2013 р. група вчених (В. Кручиненко, А. Відьмаченко, О. Стеклов, Є. Стеклов та ін.) під керівництвом К. Чурюмова виступила з пропозицією про необхідність створення служби наземного аерокосмічного моніторингу з назвою “Єдина Мережа Чурюмова”. Того ж року в Українському молодіжному аерокосмічному об'єднанні “Сузір'я” під керівництвом Є. Стеклова була створена перша молодіжна група фотомисливців на сутінкові боліди.



Рис. 2. Першовідкривач комет 67P / Чурюмова-Герасименко (1969 р.) і С / 1986 N1 / Чурюмова-Солодовнікова (1986 р.), член-кореспондент НАН України К. Чурюмов. Останній виступ ученого на конференції, присвяченій 100-річчю від дня народження Й. Шкловського, м. Глухів (фото О. Бахмата, 7.10.2016 р.)

Сьогодні до “Єдиної Мережі Чурюмова” входять окремі пункти (регіональні центри), у яких “космічні патрулі” накопичують, зберігають і обробляють всі матеріали аерокосмічних вторгнень в зоні своєї відповідальності і обмінюватися такими ж даними з усіма подібними центрами інших регіонів України та за її межами. На кінець 2018 р. бази даних “Єдиної Мережі Чурюмова” містять вже понад сорок тисяч знімків сутінкових і денних слідів всіх видів небезпечних вторгнень. У забезпеченні робіт “Єдиної Мережі Чурюмова” бере участь більше сотні фотомисливців. Особливістю роботи окремих пунктів “Єдиної Мережі Чурюмова” є обмеження погодними умовами, звичайним везінням, вольовими якостями спостерігача, а також вмінням вдало підібрати місця для моніторингових зйомок (рис. 3, 4).



Рис. 3. Явище трьох болідних слідів у небі над м. Київ, які утворилися в результаті падіння доволі крупних метеорних тіл (фото Є. Стеклова, 29.03.2013 р.)



*Рис. 4. Вигляд боліду в небі над м. Київ
(фото О. Стеклова, 27.10.2013 р.)*

У жовтні 2016 р. у м. Глухів Сумської області у ході проведення в I Міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми сучасної астрономії та методики її викладання”, присвяченій 100-річчю від дня народження Й. Шкловського, між науковою групою К. Чурюмова і професорсько-викладацьким складом кафедри фізико-математичної освіти та інформатики Глухівського НПУ ім. О. Довженка досягнуто домовленості щодо створення регіонального центру спостережень космічних вторгнень. Нині центр спостережень космічних вторгнень активно працює, фотоархів центру постійно поповнюється новими даними (рис. 6, 7).



*Рис. 6. Траєкторія руху космічного боліда. 12.02.2018 р. м. Глухів
(фото Б. Грудиніна)*



Рис. 7. Траєкторія руху космічного боліда. 24.01.2019 р. м. Глухів
(фото Б. Грудиніна)

Спостереження космічних вторгнень в радіодіапазоні. Особливістю дослідження метеорної активності у радіодіапазоні є той факт, що реєструється не частина енергії, яка випромінюється під час згорання метеороїда в атмосфері, а частина перевипроміненої енергії від наземних трансляторів телерадіомовлення (так зване розсіяння вперед, від англ. – forward scattering) [2; 3; 9; 10].

Сьогодні в Україні реєстрація відлунь радіохвиль від іонізованих слідів метеорів в радіодіапазоні за допомогою метода прийому відлунь сигналів загоризонтних радіостанцій (FM, Frequency Modulation) проводиться з використанням чотирьох радіотрас, створених за ініціативою Науково-дослідного інституту “Миколаївська астрономічна обсерваторія” (далі – НДІ “МАО”): Кельце–Миколаїв, частота 88.2 МГц, довжина 910 км; Стамбул–Миколаїв, частота 88.2 МГц, довжина 700 км; Соннеберг (Німеччина)–Львів, частота 91.7 МГц, довжина 900 км; Будапешт–Рівне, частота 94.8 МГц, довжина 635 км.

У квітні поточного року НДІ “МАО” уклала Угоду про співпрацю з Глухівським НПУ імені О. Довженка. В межах цієї Угоди організовано роботу автоматизованого комплексу спостережень метеорів, який 5 серпня 2019 р. з успіхом запущено в дію. Складниками комплексу з реєстрації радіовідлунь є програмно керований приймач Realtek RTL2832U; направлена антена типу Ягі-Уда, розрахована на потрібний діапазон частот (88–108 МГц); програмне забезпечення для управління приймачем та збереження інформації; встановлений інтерпретатор мови програмування Python 3.4 з бібліотеками numpy, matplotlib, wave; програми обробки отриманих з ефіру масивів даних, розроблені на мові програмування Python [1].

Комплекс приймає сигнал потужної загоризонтної FM станції, розташованої в місті Кельце (Польща) на відстані приблизно 940 км від Глухова. FM станцію вибрано з урахуванням як азимутально-частотного розподілу шумів в місці розміщення комплексу, так і місць дислокацій, потужностей та частот випромінювання станцій передавачів і радіочастот. Відтак в Україні відкрито нову радіотрасу реєстрації відлунь радіохвиль від іонізованих слідів метеорів (траса Кельце–Глухів, частота 88.2 МГц).

Результати роботи комплексу впродовж трьох місяців представлено на рис. 8–13.

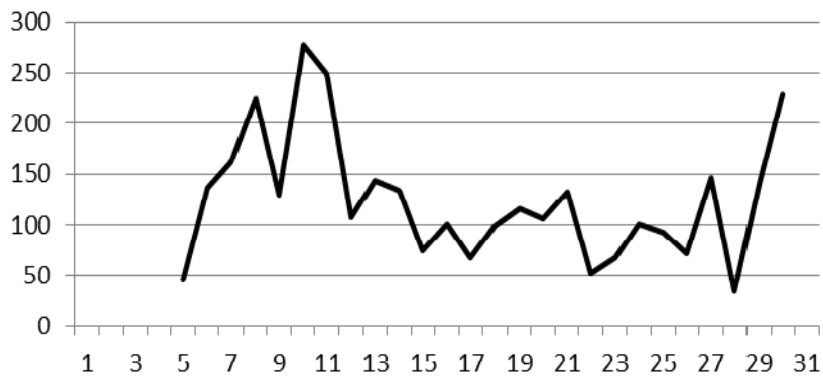


Рис. 8. Діаграма розподілу кількості вторгнень (вісь ординат) за днем місяця (вісь абсцис). Серпень 2019 р.

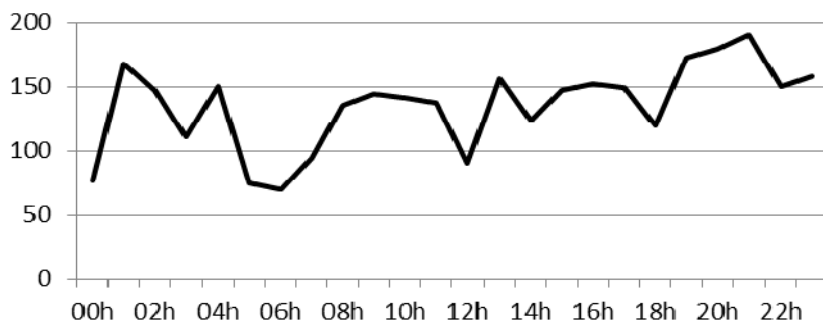


Рис. 9. Погодинна розкадровка кількості вторгнень за місяць. Серпень 2019 р.

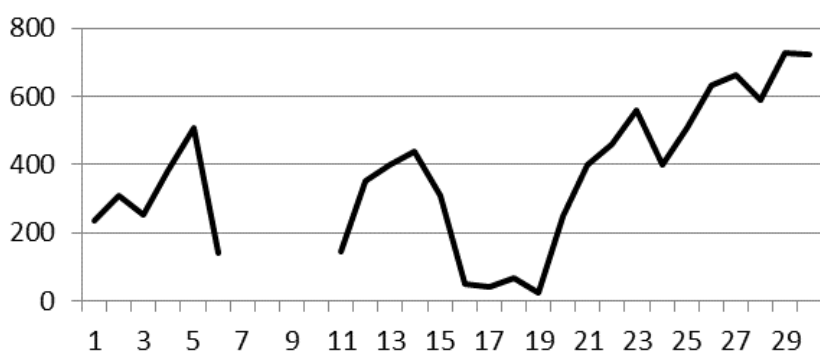


Рис. 10. Діаграма розподілу кількості вторгнень (вісь ординат) за днем місяця (вісь абсцис). Вересень 2019 р. Розрив кривої пов'язаний з налаштуванням комплексу

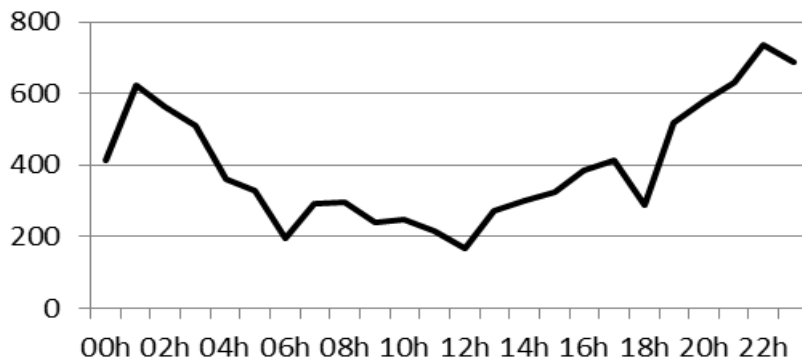


Рис. 11. Погодинна розкадровка кількості вторгнень за місяць. Вересень 2019 р.

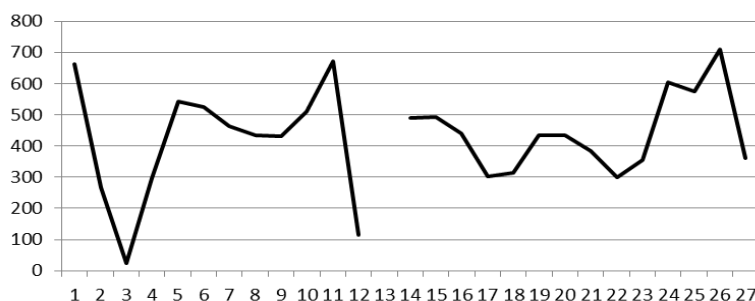


Рис. 12. Діаграма розподілу кількості вторгнень (вісь ординат) за днем місяця (вісь абсцис). Жовтень 2019 р. Розрив кривої пов'язаний з налаштуванням комплексу

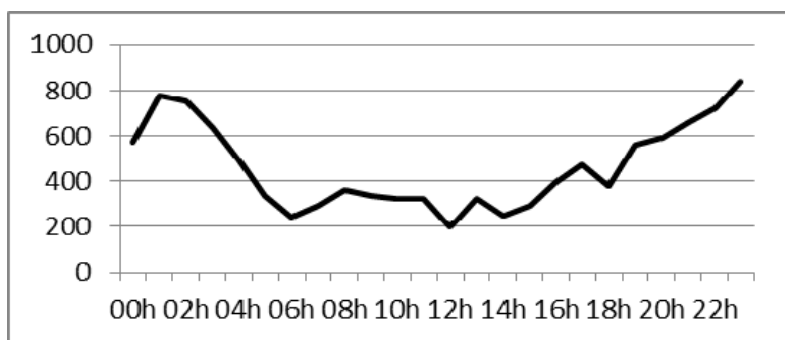


Рис. 13. Погодинна розкадровка кількості вторгнень за місяць. Жовтень 2019 р.

Загальна кількість вторгнень, зафіксованих комплексом за тримісячний термін роботи становить 23 949 одиниць (серпень – 3 238 од., вересень – 9 570 од., жовтень – 11 141 од.) Уточнимо, що деякі періоди комплекс не працював (розриви на діаграмах – рис. 8, 10, 12).

Дані представляються як у вигляді таблиць, так і у вигляді діаграм – на рис. 14. представлено кольорові діаграми розподілу інтенсивностей вторгнень за місяць.

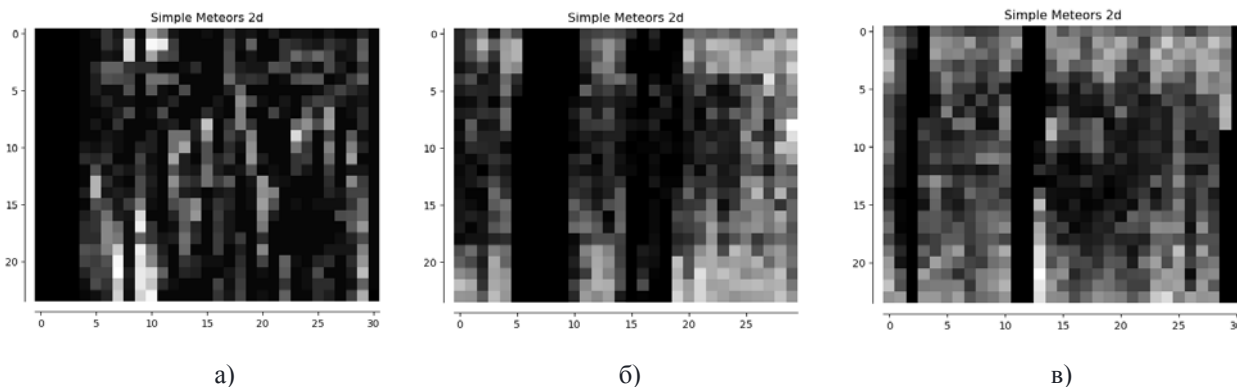
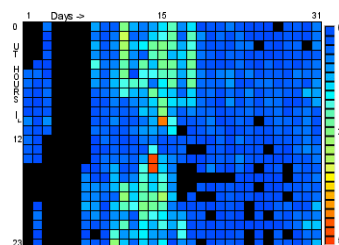


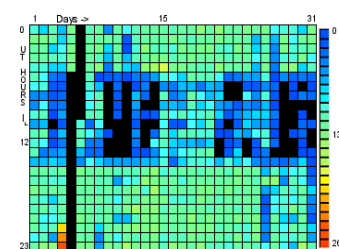
Рис. 14. Кольорові діаграми розподілу інтенсивностей вторгень (а – серпень, б – вересень, в – жовтень)

Щомісячно результати поточних спостережень в установленому форматі відправлялись на сайт міжнародного проекту RMOB (англ. – Radio Meteor Observing Bulletin) – <https://www.rmob.org/index.php> (рис. 15).

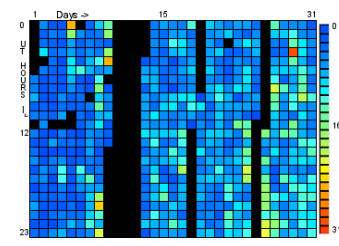
Observer : ri_nao
This datas in Text Format for Colorgramme On Line



Observer : ri_nao-amc
This datas in Text Format for Colorgramme On Line



Observer : ua-lviv-polytechnic-obs
This datas in Text Format for Colorgramme On Line



Observer : ua-rivne-man-space
This datas in Text Format for Colorgramme On Line

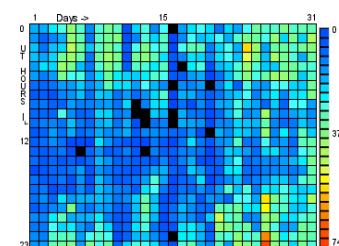


Рис. 15. Загальний вигляд результатів спостережень радіовідлунь від іонізованих метеороїдних слідів (колорограм), отриманих в грудні 2018 р. чотирма радіотрасами та представлених на сайті RMOB

Як бачимо, реалізація ідеї моніторингу космічних вторгнень має великий педагогічний потенціал, оскільки дає можливість навчати, спостерігати за допомогою сучасних технічних засобів, виховувати не тільки учнів від початкової школи до ліцею, але й студентів. На нашу думку, це особливо важливо для школярів, які активно залучаються до навчально-наукової роботи, спілкуються з науковцями, спеціалістами в певних галузях знання, які знання молодому поколінню передають “з рук в руки”, доносять важливість проблеми космічних вторгнень для майбутнього нашої цивілізації, що, в свою чергу, сприяє соціалізації юних науковців, виховує в них почуття відповідальності за майбутнє планети Земля.

Використана література:

1. *Вовк В. С.* Автоматическая обработка сигналов при наблюдении метеоров методом загоризонтного зондирования / В. С. Вовк, Н. А. Калужный, Е. С. Козырев, А. В. Шульга // Вісник астрономічної школи. – 2012. – № 2. – С. 166–170.
2. *Кручиненко В.* Фізика Челябінського боліду / В. Кручиненко, К. Чурюмов, А. Мозгова // Вісник Астрономічної школи. – Т. 9. – № 1. – 2013. – С. 43–47. – URL: http://astro.nau.edu.ua/papers/AstSR_2013_Vol_9_Iss_1_P_43.pdf (дата звернення 20.04.2019 р.).
3. *Кручиненко В. Г.* Математико-фізичний аналіз метеорного явища / В. Г. Кручиненко. – Київ, 2012. – 294 с.
4. *Черногор Л. Ф.* Эффекты Челябинского метеороида в геомагнитном поле / Л. Ф. Черногор // Геомагнетизм и аэрономия. – 2014. – Т. 54, № 5. – С. 658–669.
5. *Черногор Л. Ф.* Эффекты Челябинского метеороида в ионосфере / Л. Ф. Черногор // Геомагнетизм и аэрономия. – 2015. – Т. 55, № 3. – С. 370–385.
6. *Черногор Л. Ф.* Ионосферные возмущения, сопровождавшие пролет Челябинского тела. / Л. Ф. Черногор, В. В. Барабаш // Кинематика и физика небесных тел. – 2014. – Т. 30. № 3. – С. 27–42.
7. *Милованов Ю. Б.* Динамика падения Челябинского метеороида: материально-энергетический баланс / Ю. Б. Милованов, Л. Ф. Черногор // Радиофізика і радіоастрономія. – 2018. – Т. 23. – № 3. – С. 176–188 URL: file:///C:/Users/%D0%91%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%81/Downloads/rphra_2018_23_3_5.pdf (дата звернення 1.12.2019 р.).
8. *Churyumov K. I.* Observations of twilight fireballs over Kiev in 2013-2015. / K. I. Churyumov, A. F. Steklov, A. P. Vidmachenko, G. N. Dashkiev // Interregional Scientific and Practical Conference “Astronomy and present”. – 2016. – Vinnitsa, p. 2.
9. *Вовк В. С.* Низькотехнологічні високоефективні радіотехнічні рішення для спостережень метеорів та супутників / В. С. Вовк, О. В. Шульга, Є. С. Сибірякова, М. П. Калужний, Ф. І. Бушуєв, М. О. Куліченко // Наука та інновації. – 2017. – 13 (1). – С. 70–74.
10. Звіт НДІ МАО за 2016 рік. – URL: <http://www.nao.nikolaev.ua/reports/report2016.pdf> (дата звернення 25.04.2019 р.).

References:

1. *Vovk V. S.* Avtomatycheskaia obrabotka syhnalov pry nabliudenyu meteorov metodom zahoryzontnoho zondirovaniya / V. S. Vovk, N. A. Kaliuzhnyi, E. S. Kozыrev, A. V. Shulha // Visnyk astronomichnoi shkoly. – 2012. – № 2. – S. 166–170.
2. *Kruchynenko V.* Fyzyka Cheliabinskoho bolidu / V. Kruchynenko, K. Churiumov, A. Mozghova // Visnyk Astronomichnoi shkoly. – Т. 9. – № 1. – 2013. – S. 43–47. – URL: http://astro.nau.edu.ua/papers/AstSR_2013_Vol_9_Iss_1_P_43.pdf (data zvernennia 20.04.2019 r.).
3. *Kruchynenko V. H.* Matematyko-fyzychnyi analiz meteornoho yavyshcha / V. Kruchynenko. – Kyiv, 2012. – 294 s.
4. *Chernohor L. F.* Effekty Cheliabynskoho meteoroyda v heomahnytnom pole / L. F. Chernohor // Heomahnytyzm y aэronomyia. – 2014. – Т. 54, № 5. – S. 658–669.
5. *Chernohor L. F.* Эффекты Cheliabynskoho meteoroyda v yonosfere / L. F. Chernohor // Heomahnytyzm y aэronomyia. – 2015. – Т. 55, № 3. – S. 370–385.

6. Chernohor L. F. Yonosfernye vozmushcheniya, soprovozhdavshye prolet Cheliabynskoho tela / L. F. Chernohor, V. V. Barabash // Кунематыка у fyzыka nebesnykh tel. – 2014. – Т. 30. – № 3. – S. 27–42.
7. Mylovanov Yu. B. Dynamyka padeniya Cheliabynskoho meteoroyda: materyalno-enerhetycheskyi balans / Yu. B. Mylovanov, L. F. Chernohor // Radiofizyka i radioastronomiia. – 2018. – Т. 23. – № 3. – S. 176–188. – URL: file:///C:/Users/%D0%91%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%81/Downloads/rphra_2018_23_3_5.pdf (data zvernennia 1.12.2019 r.).
8. Churyumov K. I. Observations of twilight fireballs over Kiev in 2013-2015 / K. I. Churyumov, A. F. Steklov, A. P. Vidmachenko, G. N. Dashkiev // Interregional Scientific and Practical Conference “Astronomy and present”. – 2016. – Vinnitsa, p. 2.
9. Vovk V. S. Nyzkotekhnolohichni vysokoeffektyvni radiotekhnichni rishennia dlia sposterezhen meteoriv ta suputnykiv / V. S. Vovk, O. V. Shulha, Ye. S. Sybiriakova, M. P. Kaliuzhnyi, F. I. Bushuiev, M. O. Kulichenko // Nauka ta innovatsii. – 2017. – 13 (1). – S. 70–74.
10. Zvit NDI MAO za 2016 rik. – URL: <http://www.nao.nikolaev.ua/reports/report2016.pdf> (data zvernennia 25.04.2019 r.).

Грудинин Б. А. Низкотехнологические высокоэффективные решения отслеживания вторжений метеоров в атмосферу земли

Описаны результаты научных исследований проблемы фиксирования вхождений метеорных тел в атмосферу Земли. Предлагаются методы решения данной проблемы, а именно: визуальное наблюдение фактов вторжений космических объектов и их наблюдения в радиодиапазоне электромагнитных волн.

Представлены результаты фиксирования вхождений метеорных тел в атмосферу Земли центром наблюдений космических вторжений при кафедре физико-математического образования и информатики Глуховского национального педагогического университета имени А. Довженко. Исследования выполнены в формате идей всемирно известного ученого в области астрономии К. И. Чурюмова.

Описаны особенности исследования метеорной активности в радиодиапазоне, заключающиеся в регистрации части переизлученной энергии от наземных трансляторов телерадиовещания (так называемое рассеяние вперед, от англ. – forward scattering). Представлены результаты работы автоматизированного комплекса наблюдений метеоров в рамках Соглашения о сотрудничестве между Научно-Исследовательским Институтом “Николаевская астрономическая обсерватория” и Глуховским национальным педагогическим университетом имени А. Довженко.

Ключевые слова: метеор, метеорная активность, космические вторжения, радиодиапазон, автоматизированный комплекс наблюдения метеоров.

Hrudynin B. Low-technological solutions of high efficiency for tracking meteors entering the earth's atmosphere

The article presents the results of the scientific research on the problem of fixing the meteor bodies entering the Earth's atmosphere. The proposed methods for solving this problem are as follows: visual observing of the facts of intrusions of space objects and their tracking in the radio frequency range of electromagnetic waves.

The results of fixing the meteors entering the Earth's atmosphere by the center of observing space intrusion of the department of physical and mathematical education and informatics of Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv national pedagogical university are presented. The research is carried out in the format of the ideas of the world famous astronomer K. I. Churyumov.

The peculiarities of studying the meteor activity in the radio range are characterized. They lie in fixing the amount of the re-radiated energy from terrestrial broadcasting broadcasts. The results of work of the automated meteors observing complex in the framework of the cooperation agreement between the Scientific and research institute “Mykolayiv astronomical observatory” and Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv national pedagogical university are presented.

Keywords: meteor, meteor activity, space invasion, radio band, automated meteor observing complex.