

4. Pro Vyshchu Osvitu [On higher education]. (2014). *Zakon Ukrainy – Law of Ukraine* № 1556-VII . Retrieved from: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1556-18/page2> [in Ukrainian].

5. Pro Osvitu [On education]. (2017). *Zakon Ukrainy – Law of Ukraine*. Retrieved from: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/T172145.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T172145.html) [in Ukrainian].

6. Tyulpa, T. M. (2020). Struktura sotsialnoyi kompetentnosti maybutnikh fakhivtsiv sotsionomichnykh spetsialnostey [The structure of social competence of future specialists in socionomic specialties]. *Problemy pidhotovky suchasnoho vchytelya – Problems of modern teacher training*, 1, 193–204. [in Ukrainian].

Отримано редакцією 6.05.2022 р.

УДК 523.68, 520.373, 520.8, 621.37.+551.553.5

DOI: 10.31376/2410-0897-2022-2-49-26-41

## СПІВПРАЦЯ НАУКОВИХ УСТАНОВ ТА ЗАКЛАДІВ МОН УКРАЇНИ В СПОСТЕРЕЖЕННІ ЗА МЕТЕОРНИМИ ПОТОКАМИ: ІНСТРУМЕНТИ, МЕТОДИ ОБРОБКИ, СПОСТЕРЕЖНІ МОЖЛИВОСТІ

### Грудинін Борис Олександрович

доктор педагогічних наук, доцент кафедри технологічної і професійної освіти  
Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка  
e-mail: b.hrudynin@ukr.net  
ORCID ID: 0000-0001-8084-653X

### Відьмаченко Анатолій Петрович

доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
головний науковий співробітник  
Головна астрономічна обсерваторія НАН України  
e-mail: vida@mao.kiev.ua  
ORCID ID: 0000-0002-0523-5234

### Стеглов Олексій Федорович

старший науковий співробітник  
Головна астрономічна обсерваторія НАН України  
e-mail: stec36@i.ua  
ORCID ID: 0000-0002-5149-0500

### Калюжний Микола Панасович

кандидат фізико-математичних наук, завідувач сектору  
Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія»  
e-mail: nikalyuzhny@ukr.net  
ORCID ID: 0000-0002-6581-8255

*Розглянуто питання розвитку метеорної астрономії в сучасній Україні. Специфіка методів спостережень метеорів потребує організації мережі кореспондуючих пунктів спостережень. Для досягнення цієї мети об'єднано науково-технічні можливості організацій-учасників, а це сукупність двох або більше постійно діючих спостережних станцій, розташованих на території України, які мають технічне та програмне забезпечення для проведення базисних та односторонніх спостережень метеорів у різних діапазонах довжин хвиль і проводять такі спостереження. У цьому випадку вирішуються стратегічні проблеми дослідження метеорів, структури і еволюції метеорних роїв та потоків, взаємодії метеороїдів з атмосферою Землі та їх хімічного складу. Науково-технічною продукцією станцій є результати високоточних базисних або односторонніх спостережень метеорів у різних діапазонах довжин хвиль, фундаментальні й прикладні науково-технічні дослідження.*

**Ключові слова:** метеор, метеорний потік, метеорна спостережна мережа, оптичні відеоспостереження, пасивні радіоспостереження, метеорні каталоги.

**Постановка проблеми.** Перші масові експерименти щодо систематичного спостереження метеорів протягом тривалого часу, які давали найбільш точну інформацію про атмосферні траєкторії метеорів та елементи орбіт, проводилися з використанням фотографічної техніки. Такими були Гарвардська програма з фотографування метеорів у штатах Массачусетс та Нью-Мехіко (1936–1959 рр.), створення перших болідних мереж в Європі, США та Канаді. Результати цих спостережень разом із результатами радарних спостережень започаткували першу метеорну базу

даних, що містить близько 69000 метеорних орбіт.

Уперше телевізійну техніку в метеорній астрономії серед аматорів почали застосовувати в Голландії та Японії в середині 80-х років ХХ століття. Завдяки вищій точності позиційних вимірювань та можливості реєструвати слабші метеори використання телевізійної техніки набуло масового поширення. Нині як приймач випромінювання використовується апаратура на основі ТВ ПЗЗ-камер, яка є особливо ефективною для спостережень метеорів за рахунок більшої роздільної здатності у часі порівняно з іншими методами. Створені мережі наглядових станцій: IMO Video Meteor Network (IMO VMN) у рамках Міжнародної метеорної організації (країни Західної Європи), SonotaCo Network (Японія), Polish Fireball Network (PFN, Польща), Cameras for Allsky Meteor Surveillance (CAMS, США) та ін.

Оптичні системи, що використовуються для спостережень метеорів, поділяються на три типи:

1) відеосистеми з широким полем зору ( $>40^\circ$  у діаметрі), проникна здатність  $(5-7)^m$ , до них також відносяться об'єктиви типу «риб'яче око» та дзеркальні системи для спостереження всього неба (поле зору  $180^\circ$ );

2) стандартні відеосистеми (поле зору  $10^\circ-40^\circ$ ), проникна здатність  $(7-9)^m$ ;

3) телескопічні відеосистеми (поле зору  $<10^\circ$ ), проникна здатність яких краща, ніж  $9^m$ , як правило, використовуються світлосильні та довгофокусні об'єктиви.

Найчастіше у відеосистемах використовують електронно-оптичні перетворювачі (ЕОП), щоб підвищити чутливість системи. Найбільш поширеними ПЗЗ-камерами, що використовуються без ЕОП, є Mintron 12V6-EX і Watek 902H2 Ultimate, які мають порівняно високу чутливість і низьку вартість.

**США – Канада.** На території Північної Америки функціонувало кілька фотографічних та телевізійних метеорних мереж. Основною метою цих проєктів було відстеження падінь метеоритних тіл та уточнення параметрів їх орбіт. Одним з найбільших і успішних експериментів з організації болідної фотографічної мережі був канадський MORP (англ. Meteorite Observation and Recovery Project), що зареєстрував падіння метеорита в Іннісфрі (США) в 1977 р. Період активності мережі був з 1971 до 1984 рр. Усього було побудовано 12 станцій (по 5 камер на кожній станції). Камери були виготовлені на замовлення і використовували ширококутні об'єктиви з  $f=50$  мм, поле зору кожної камери  $54^\circ$ . Зображення фіксувалося на 70 мм фотоплівку з експозицією від 10 хв до 3 годин, залежно від яскравості фону неба. Камери були оснащені системами автоматичного детектування метеорів та контролю експозиції. Усього було зареєстровано понад 1000 болідів (щонайменше двома станціями), 56 з яких імовірно метеорити. Елементи орбіт для 218 болідів занесено до каталогу метеорів (Meteor Data Center, MDC).

Сучасні болідні мережі будуються на основі телевізійних технологій. У 2000-х рр. Університетом Західного Онтаріо була створена мережа наглядових станцій SOMN (Southern Ontario Meteor Network), частиною якої є проєкт ASGARD (All Sky and Guided Automatic Realtime Detection), що включає 7 «all-sky» (поле зору  $180^\circ$ , Rainbow L163VDC4 1.6–3.4 mm  $f/1.4$ , камера HiCam HB-710E), камери, програмне забезпечення для детектування об'єктів яскравіше  $-2^m$  та програмне забезпечення для розрахунку атмосферних траєкторій та елементів орбіт.

На території США у період 1963–1975 рр. діяла Прерійна мережа обсерваторій (PN, Prairie Network, Smithsonian Astrophysical Observatory), що складалася з 16 фотографічних станцій і займалася спостереженнями яскравих метеорів, відстеженнями падіння метеоритів. Як реєстратори використовувалися аерофотокамери з ширококутними об'єктивами Metrogon з  $f=6.3-12$  дюймів. Зображення фіксувалося на фотоплівку форматом  $9\times 18$  дюймів. Усього було зафіксовано понад 2700 болідів (мінімум із двох пунктів), але лише для 336 вдалося обчислити елементи орбіт. Одним із досягнень мережі була реєстрація падіння метеориту Lost City в 1970 р.

В даний час в США розгорнута мережа CAMS для моніторингу всього неба, основними цілями якої є реєстрація болідів, а також виявлення та підтвердження малих метеорних потоків.

CAMS – це три станції по 20 камер Watek Wat902 H2 Ultimate, обладнаних об'єктивами з  $f=12$  мм і встановленими на майданчику так, щоб охопити ними все небо. Поле зору камери  $20^\circ\times 30^\circ$ . На лютий 2012 р. мережею було отримано понад 30 000 орбіт метеороїдів  $(0-3)^m$ . За даними спостережень, у MDC були надіслані звіти про затвердження 5-ти малих потоків та відкриття лютневого потоку  $\eta$ -Драконіди.

**Європа.** З 1959 р. у Європі працює Європейська болідна мережа (EN, EFN, European Fireball

Network). Вона була організована на основі кількох болідних станцій, розташованих у Чехословаччині. Після того, як декількома з цих станцій було зафіксовано падіння метеориту в Пржибрамі (Чехія), їх кількість збільшилася і на даний момент мережа складається з 34 станцій-камер типу «риб'яче око» (Opton Distagon,  $f=30$  мм,  $f/3.5$ ), розташованих у Чехії (Ondrejov Observatory), Словаччині, Німеччині (German Aerospace Research Establishment, DLR), Австрії, Швейцарії та країнах Бенілюксу. Відстань між станціями становить в середньому близько 100 км. Конструкція камер більш ніж за 50 років роботи двічі оновлювалася з удосконаленням технологій обробки зображень. Зараз зображення фіксується на фотоплівку формату  $9 \times 12$  см, потім проходить оцифровку та автоматично обробляється програмними пакетами, розробленими в DLR та в обсерваторії Ондрейов (Чехія). За період роботи мережею зареєстровано падіння більш ніж 8 метеоритів. Щорічно реєструється близько 50 болідів. Результати періодично відправляються до Fireball Data Center (FIDAC) Міжнародної метеорної організації ІМО. Також до мережі належать камери, що реєструють болідні спектри.

Другою великою європейською мережею є Video Meteor Network (ІМО VMN) – аматорська організація, основне джерело даних телевізійних спостережень метеорів в ІМО. На даний момент у VMN функціонує 81 камера, 46 спостерігачів у 15 країнах Європи. Основні цілі мережі: безперервний моніторинг метеорної активності, визначення положень радіантів великих та малих метеорних потоків, реєстрація аномальних сплесків метеорної активності, реєстрація та підтвердження нових метеорних потоків, дослідження активності спорадичних метеорів, спостереження болідів.

Об'єктиви, що використовуються спостерігачами, зазвичай ширококутні ( $67^\circ \times 89^\circ$  або  $43^\circ \times 57^\circ$ ) COMPUTAR ( $f=4$  мм,  $f/1.2$ ), PENTAX ( $f=8$  мм,  $f/1.2$ ), SIEMENS ( $f=12$  мм,  $f/1.2$ ) та ін. Камери – типу Mintron MTV-13V3 або Watec Wat902 H2. Іноді, щоб підвищити чутливість системи та збільшити поле зору за рахунок масштабування зображення, використовують електронно-оптичні перетворювачі (ЕОП). Всі учасники мережі використовують програмне забезпечення MetRes, яке виконує функції детектора, первинної обробки, ототожнення метеора з потоком та формування вихідного файлу у форматі PosDat, що надсилається до бази даних VMN.

За період роботи мережі (1993–2012 рр.) було зареєстровано понад 1.000.000 метеорів. Періодично публікуються звіти в журналі ІМО. У 2009 р. під управлінням ІМО та Європейського космічного агентства (ESA) було створено Віртуальну метеорну обсерваторію (VMO), до якої включено базу даних ІМО VMN.

**Японія.** Активні базисні фотографічні спостереження метеорів у Японії розпочалися у 60-ті рр. У першому з експериментів, що тривав із 1964 р. до 1989 р., аматорами використовувалися короткофокусні об'єктиви (35–50 мм) з дволопатевиими обтюраторами, що забезпечують 25/50 переривань за секунду. Орбіти 325 метеорів були опубліковані в MDC, точність визначення лінійної швидкості становила близько 3–5%, позиційних вимірювань – 30–60». З метою підвищення точності визначення орбіт у 1989 р. розпочала свою діяльність Токійська метеорна мережа (TMN). Використовувалися фотографічні установки з об'єктивами з  $F=85$ –100 мм, похибка за швидкістю становила 2–3%, за положенням – 10–20». До сьогоднішнього дня в Японії функціонує аматорська фотографічна болідна мережа (Japan Fireball Network, JN) з використанням об'єктивів з  $F$  порядку 35 мм.

Перші телевізійні спостереження метеорів аматорами в Японії розпочато в 1986 р., а в Токійській астрономічній обсерваторії – у другій половині 70-х рр. З початку 90-х було розпочато експеримент із регулярного спостереження метеорів декількома станціями [1, 2, 3]. Базис між станціями становив 33 км, використовувалися фотографічні об'єктиви Canon 85  $f/1.2$  та Nikon 85  $f/1.8$ , електронно-оптичний перетворювач другого покоління Hamamatsu Photonics (V3287P) та 8 мм відеокамера як приймач випромінювання. Поле зору відеосистеми –  $16.9^\circ$ , гранична зоряна величина для зірок – +8, для метеорів – +7. Також використовувалися додаткові об'єктиви із  $F=24$  мм (FOV  $53.0^\circ$ )  $F=58$  мм (FOV  $23.9^\circ$ ). Похибка вимірювання положень (3–4)', зоряних величин –  $0.2^m$ . З грудня 1992 р. до жовтня 2009 р. зафіксовано 3770 орбіт базисних метеорів. Також у грудні 1991 р. проводилося одночасне спостереження метеорів телевізійними та радіо методами [4].

У 2004 р. почала працювати телевізійна метеорна мережа, що базується на програмному забезпеченні детектування, обробці та розрахунку елементів орбіт UFO Tool Suite, розробленому SonotaCo [5]. Організація та цілі SonotaCo подібні до ІМО VMN, але не обмежуються тільки

метеорами. До 2008 р. кількість станцій досягла 31, а кількість камер >130. В основному використовувалися короткофокусні (3.8–12 мм) об'єктиви зі світлосилою  $f/0.8$ . Поле зору телевізійних систем від  $30^\circ$  до  $90^\circ$ . Разом із ІМО, VMN є однією з найактивніших аматорських метеорних мереж у світі [5]. За даними офіційного сайту мережі, з 2009 р. публікуються в середньому 90000 орбіт базисних метеорів.

**Пострадянські країни.** Найбільші центри метеорної астрономії в колишньому СРСР були зосереджені в Душанбе (Інститут Астрофізики Академії Наук Республіки Таджикистан, ІА АНРТ) та Одесі (Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова). У 1957–63 рр. на базі зазначених обсерваторій проводилися базисні фотографічні спостереження яскравих метеорів (яскравіше  $+1^m$ ). Використовувалися об'єктиви з  $D=100$  мм,  $F=250$  мм та полем зору  $40^\circ \times 50^\circ$ , фотоплівка шириною 19 см, величина експозиції становила 30–60 хв, відстань між станціями варіювалася від 20 до 40 км. Спостереження проводилися як у режимі гідуювання, так і стаціонарно. Точність позиційних вимірів – (5–6)». Усього було визначено близько 500 орбіт метеорів, сфотографованих в Одесі та Душанбе. За результатами багаторічних спільних спостережень були визначені основні мінералогічні характеристики метеороїдів, що належать до 9 метеороїдних потоків та спорадичного фону.

У 1964–65 рр. академіком АН ТаджРСР П. Б. Бабаджановим і професором Є. Н. Крамером був розроблений метод миттєвих експозицій, що дав можливість отримати більш детальну інформацію про фізику руйнування метеорного тіла та встановити факт дроблення метеороїду в атмосфері [6; 7; 8]. Метеорний патруль складався з камер з  $F=750$  мм і  $F/3.5$ , фотографування велося з експозицією 0.00056 с кожні 0.02 с, що дозволяло отримувати зображення метеорної траєкторії, які слабо відрізнялися від точкових. Фотографувалися також метеорні спектри (з експозиціями 0.00056 та 0.0033 с). До 1983 р. методом миттєвих експозицій було отримано близько 3000 зображень 147 метеорів з граничною абсолютною зірковою величиною  $-2^m$ .

Фотографічне патрулювання болідів у Душанбе триває й у теперішній час разом із телевізійними спостереженнями. Використовуються об'єктиви фірми Zeiss Distagon типу «риб'яче око» ( $F/3.5$ ,  $F=30$  мм) з полем зору  $180^\circ$ . Вивчаються особливості руйнування метеороїдів в атмосфері, розробляються методики астрометричної редукції для спостережень всього неба, встановлюється зв'язок метеорних потоків з астероїдами.

Перший фотографічний метеорний патруль був змонтований в Одеській астрономічній обсерваторії Є. Н. Крамером і механіком Н. І. Тимченко в 1953 р. Він складався з чотирьох аерофотокамер з об'єктивами F-24 (фокусна відстань об'єктива 200 мм, світлосила 1:2.9, поле зору –  $48$  градусів). Перед об'єктивами обертався об'єктиватор з кутовою швидкістю 24 об/с. Тоді було отримано перші зображення метеорних явищ. Одеська обсерваторія брала участь у програмі Міжнародного Геофізичного Року (МГР). Метеорне патрулювання в Одесі проводилося понад сорок років, з 1953 р. до 1993 р.

Зафіксовано понад 600 зображень базисних метеорів та кілька тисяч небазисних метеорів. Отримані на Одеських метеорних патрулях дані стали основою для публікації кількох сотень наукових статей та повідомлень.

У 2003 р. метеорний патруль було модернізовано та оснащено високочутливими ПЗЗ-камерами, також зазнала змін структура оптичного вузла. Особлива увага приділяється вивченню слабких (або телескопічних) метеорів ( $>6^m$ ), а також розробленню методики визначення радіантів і швидкостей за однопунктними спостереженнями. У визначенні екваторіальних координат радіантів вдалося досягти точності  $4'-5'$  для системи Шмідта.

Ще одним великим центром радянської та пострадянської метеорної астрономії була обсерваторія КНУ ім. Т. Шевченка, яка також брала участь у спільних спостереженнях з обсерваторіями Одеси та Душанбе. Тут із 80-х рр. для базисних спостережень метеорів використовується апаратура на основі електронно-оптичних перетворювачів першого покоління – телевізійних трубках ізоконного типу («Інтроскоп»). Поле зору такої системи –  $20^\circ \times 28^\circ$ , проникна здатність  $+9.5^m$ . Помилки координатних спостережень більше  $3'$ , помилки визначення радіантів та швидкостей – близько  $2^\circ$  та  $3$  км/с відповідно.

Наразі у багатьох вищих навчальних та наукових установах Міністерства освіти і науки України активно приділяють увагу спостереженням метеорів різними методами та апаратурою. Кожна обсерваторія оснащена усіма можливими засобами спостережень. Це дає змогу об'єднати наукові зусилля з вивчення метеорів у вигляді Української Метеорної Спостережної Мережі (рис. 1).

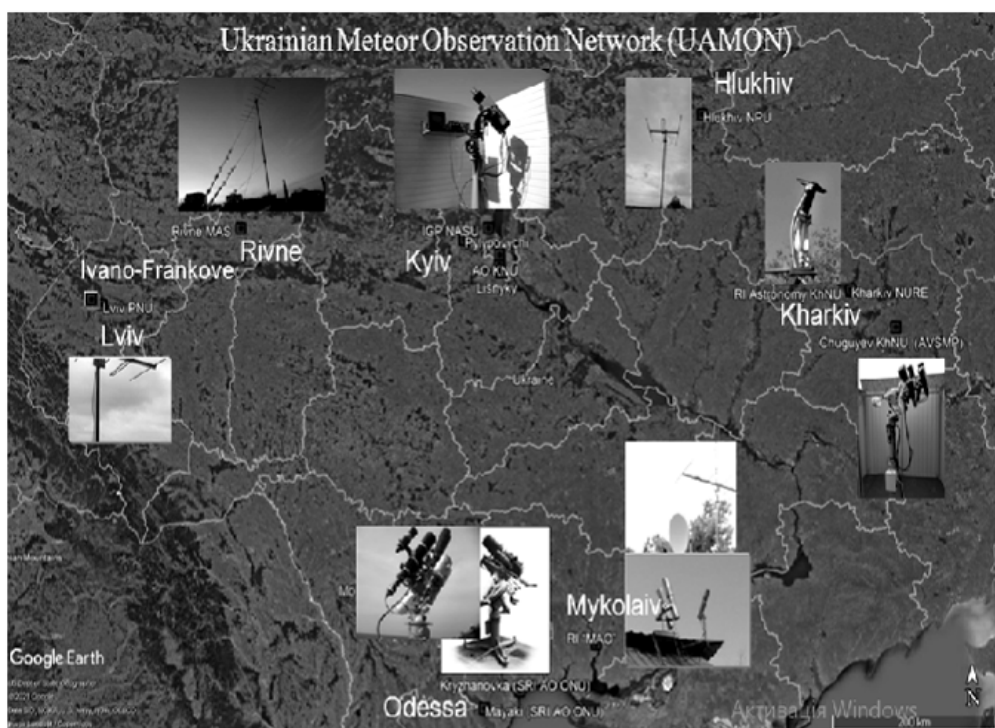


Рис. 1. Українська мережа спостережень метеорів (УМСМ)

**Формулювання мети статті.** Мета статті – розглянути співпрацю наукових установ та закладів МОН України у спостереженні за метеорними потоками (інструменти, методи обробки, спостережні можливості), а саме: в Науково-дослідному інституті «Миколаївська астрономічна обсерваторія», Глухівському національному педагогічному університеті імені Олександра Довженка, Національному університеті біоресурсів і природокористування України, Головній астрономічній обсерваторії НАН України, що мають технічне та програмне забезпечення для проведення базисних та односторонніх спостережень метеорів у різних діапазонах довжин хвиль.

**Виклад основного матеріалу.** *Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія».* Регулярні спостереження метеорів у оптичному діапазоні розпочато в 2011 році. За цей час було розроблено конструкцію статичного метеорного телескопа, що не потребує укриття, на базі якого побудовано комплекс метеорних телескопів НДІ «МАО». В якості світлоприймача використовувалася камера Watec LCL902H2 (768×576, 8.6×8.3μ, чутливість 0.0001 Лк). Об'єктиви, що були успішно застосовані для спостереження метеорів протягом усього періоду функціонування комплексу мають наступні характеристики: Canon-85mm (D=47 мм, F=85 мм, поле зору 3.2°×4.2°); Ломо-0501 (D=50 мм, F=100 мм, поле зору 2.7°×3.6°), PO-109A (D=42 мм, F=50 мм, поле зору 5.4°×7.2°). Електронно-оптичні підсилювачі не застосовувались. Камера працює у режимі через-строкової розгортки (50 напівкадрів/с) для забезпечення більшого часового розділення траєкторії. Програмне забезпечення (ПЗ) для автоматичного виявлення метеорів було розроблено в НДІ «МАО» у 2010 р. на основі досвіду обробки відео потоку в режимі реального часу. Паралельно з процесом детектування в режимі реального часу сумуються кадри із зображеннями зір за 20–30 с, використовуючи техніку накопичення зі зміщенням. Середня кількість ототожнених опорних зір для кадрів з полем зору 5.6°×7.4° становить від 100 до 300. Стандартне відхилення опорної системи становить (6–10)», стандартне відхилення за зоряною величиною – 0.35<sup>m</sup>. Проникна здатність для зір становить 12–13<sup>m</sup>. Синхронізація спостережень забезпечується портативною службою часу на базі GPS-приймача Resolution-T, з якого на LPT-порт комп'ютера подається PPS-імпульс, що використовується для калібрування тактової частоти процесора.

У 2013–2016 рр. проводились базисні спостереження метеорів з довжиною бази 11.7 км. Отримано близько 10000 односторонніх метеорних реєстрацій. За результатами базисних спостережень обчислювались екваторіальні координати радіантів, параметри атмосферної траєкторії, вектор руху та елементи геліоцентричної орбіти з відповідними похибками, для цієї мети

було створене окреме ПЗ. Отримано каталог елементів геліоцентричних орбіт для 1055 метеороїдів. Серед наукових результатів можна виділити такі:

1) виявлено маломасивні метеороїди ( $<0.01$  г), що рухаються з геоцентричними швидкостями  $<50$  км/с, та мають орбіти з ексцентриситетами біля 0.9 та нахилами  $(50-70)^\circ$ ;

2) проведено порівняльний аналіз каталогу, отриманого в НДІ «МАО», із каталогами з відкритих джерел для діапазону мас метеорних тіл  $< 0.01$  г і проведена оцінка співвідношення тіл астероїдного та кометного типів для даного діапазону мас. Частка орбіт астероїдного типу становить 38 % для всіх метеороїдів і 2.5% для метеороїдів з масами  $< 0.01$  г.

У 2017–2018 рр. розпочато новий етап спостереження метеорів в оптичному діапазоні з урахуванням досвіду, отриманого в попередній період досліджень. Було обрано варіант телескопа зі світлосильними об'єктивами ( $f = 50$  mm,  $f/1.2$ ) та телевізійними ПЗЗ-камерами WAT-902H2. 8 метеорних телескопів розташовані на трьох станціях з базисними відстанями 11.7 км та 100 км (рис. 2): 1) Миколаїв, НДІ «МАО», 4 телескопи ( $\varphi=46.972667$ ,  $\lambda=31.972055$ ); 2) Миколаїв, Вітовка, 2 телескопи ( $\varphi=46.871598$ ,  $\lambda=32.018309$ ); 3) Одеса, Крижанівка, станція АО ОНУ, 2 телескопи ( $\varphi=46.560722$ ,  $\lambda=30.806500$ ). Об'єктиви також оснащені широкополосними синіми або червоними фільтрами таким чином, щоб кожна пара телескопів спостерігала одну й ту саму область неба в різних діапазонах спектра. Таким чином планується проводити колориметричні вимірювання метеорних явищ.

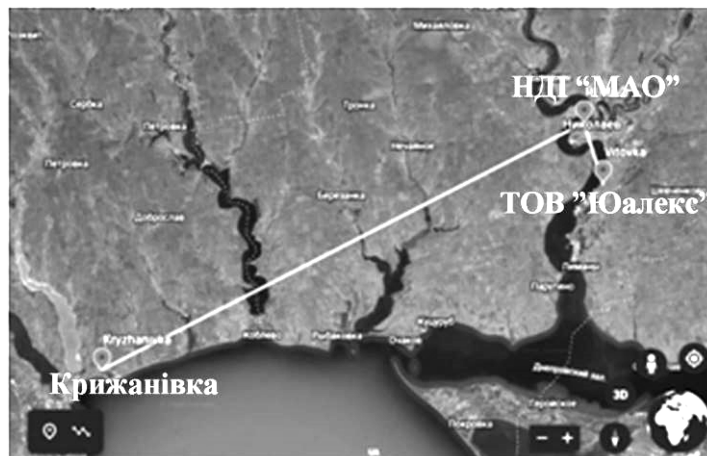


Рис. 2. Розташування базисних станцій метеорного відеокomплексу НДІ «МАО»

У 1980-ті роки ефект відбиття радіохвиль іонізованими слідами метеорів використовувався для щодобової синхронізації еталонів точного часу і частоти Пулковської і Миколаївської обсерваторій. До складу відповідної системи синхронізації входило два метеорні радари «Мітка», розташовані в Пулково і в Миколаєві. Принцип дії системи базувався на вимірюванні затримки радіоімпульсів, випромінених в одному пункті, відбитих іонізованими слідами метеорів та прийнятих в іншому пункті. Похибка синхронізації шкал часу становила  $\pm 300$  нс. Після розпаду СРСР радар було повернено власнику Пулковській обсерваторії.

Безпосередні систематичні спостереження метеорів в радіодіапазоні було розпочато в 2010 році з використанням методу прямого розсіювання на метеорних слідах сигналів потужних FM-станцій радіомовлення, які знаходяться за горизонтом. Функціонування відповідного метеорного апаратурно-програмного комплексу (МАПК), розробленого в НДІ «МАО», базується на безперервній цілодобовій реєстрації радіосигналів на частоті загоризонтної FM-станції та на автоматичному виявленні (за даними реєстрації) сигналів, відбитих метеорними слідами. Основним вимірюваним параметром є час появи метеора. Було запропоновано та впроваджено також алгоритм визначення частоти Френелівських коливань амплітуди радіосигналу та відповідної швидкості метеороїда вздовж траєкторії руху.

У 2013 році МАПК було суттєво модернізовано. Для прийому радіосигналів стали використовувати SDR технологію на базі приймача «DVB-T+DAB+FM» з мікрочіпом RTL2832 та стали реєструвати сигнал з виходу квадратурного детектора приймача, тобто, сигнал, який не пройшов частотну демодуляцію та характеристики якого повністю відповідають сигналу на несучій частоті. Методика обробки та виділення метеорних явищ описана в роботах. Успішно налагоджена

робота з проведення безперервних спостережень метеорних явищ та їхньої автоматичної обробки дозволила створити мережу радіоспостережень метеорів, до складу якої увійшло 6 приймальних станцій, розташованих в Миколаєві (три станції), в Рівному, Львові і Глухові. На кожній станції проводиться цілодобова автоматична обробка даних спостережень та автоматична розсилка по e-mail зацікавленим споживачам щодобових даних про кількість зареєстрованих метеорних явищ. Щомісяця дані про кількість метеорів, виявлених кожною станцією, розміщуються на сайті RMOB (Radio Meteor Observation Bulletin). У 2017–2019 рр. мережею зареєстровано 912765 метеорних явищ. Достовірність даних спостережень в роботі підтверджується: 1) відповідністю добових варіацій кількості метеорів, зареєстрованих станціями мережі, відомій залежності, а саме, спостереженню метеорів в апексі та антиапексі, 2) відповідністю отриманих мережею характеристик трьох метеорних потоків (Персеїди, Гемініди та Квадрантиди) очікуваним, як у часі появи, так і в інтенсивності. Наразі проводяться дослідження можливості використання методу відновлення несучої FM-сигналу для оцінки швидкості метеороїдів вздовж траєкторії руху за даними однопозиційних спостережень сигналів загоризонтних FM-станцій, відбитих метеорними слідами.

**Національний університет біоресурсів і природокористування України, Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України.** Потенційними об'єктами, які викликають утворення метеорних явищ в земній атмосфері, можуть бути метеороїди, залишки комет і астероїдів, космічне сміття, об'єкти невідомої природи тощо. Для їх реєстрації ми використовуємо фотоприймачі видимого діапазону спектра, спеціалізовані кольорові камери, електронні модулі для обробки отриманих спостережень в реальному масштабі часу, спеціалізоване програмне забезпечення для виявлення та розпізнавання окремих об'єктів, визначення їх горизонтальних координат, напрямку і швидкості руху, приблизних розмірів, характеру їх випромінювання, оцінки загальної енергії їх оптичного випромінювання та розрахунків значень загальної енергії, котра виділяється при утворенні метеорного явища. В основі використовуваної апаратури для проведення спостережень за метеорними явищами покладено розроблений і виготовлений в ГАО НАН України макет автоматизованого спостережного комплексу, котрий можна використовувати для виявлення як наземних, так і повітряних об'єктів невеликих розмірів в умовах денної і нічної освітленості на відстанях у десятки кілометрів. Цей спостережний комплекс оснащений ширококутною (поле зору до  $50^\circ$ ) і малоформатною (поле зору близько  $1^\circ$ ) апаратурою оптичного діапазону. Даний комплекс апаратури дозволяє надійно виявляти освітлені сонячним світлом об'єкти із видимою площею у кілька квадратних сантиметрів на відстані до 5 км, та спостерігати інші об'єкти з високою просторовою роздільною здатністю пропорційно до їх площі і на більших відстанях. А спостерігати метеорні явища, входження в атмосферу космічного сміття тощо, при згорянні яких температура у плазмових слідах, за нашими оцінками, сягає від кількох тисяч до 12 тисяч кельвінів, стає можливим як у нічний, так і в денний час. Спостережний комплекс використовує фотоприймачі видимого діапазону спектра з чутливістю до однієї мільйонної люкса, дозволяє проводити 2D і 3D фільтрацію спостережуваних зображень, усунення можливих перешкод, викликаних атмосферою турбулентністю. Також комплекс дозволяє автоматично виявляти новоутворені метеорні сліди в режимі реального часу, проводити їх попередню обробку в інтерактивному режимі з характерним часом кілька секунд та повідомляти про проведені спостереження. У розробці даної апаратури, її випробуванні та у проведенні спостережень за утворюваними у земній атмосфері плазмовими слідами приймають участь такі співробітники ГАО НАН України: А. П. Відьмаченко, Б. Ю. Жиляєв, О. Ф. Стеклов, С. М. Похвала, В. М. Петухов, І. А. Верлюк, О. О. Святогоров, П. В. Неводовський та інші.

Усім добре відомим є так зване челябінське вторгнення 2013 року, коли метеорне тіло розміром 20 м увійшло у земну атмосферу. Вважалося, що подібне явище відбудеться через кілька сотень років, проте вже у березні того ж року нам вдалося на кількох зображеннях зареєструвати прямо над Києвом падіння і згорання з кількома почерговими спалахами трьох двометрових тіл. А 27 жовтня 2013 року ми спостерігали протягом 5 секунд входження в атмосферу і згорання деякого метеороїдного тіла (рис. 3). Сім отриманих зображень (як і попередні березневі п'ять зображень) К. І. Чурюмова передано до міжнародної групи експертів, котрі оцінили початкові розміри цього тіла у 15 м (!).

Наші теоретичні розробки деяких питань фізики утворення плазмових слідів при входженні метеороїдного тіла в земну атмосферу показали, що спеціальний підбір значень динамічних

характеристик метеороїда для отриманих світних слідів при нічних спостереженнях, або інверсійних слідів при денних спостереженнях, дозволяє нам достатньо впевнено оцінити ряд важливих характеристик як самого метеороїда, так і особливостей земної атмосфери, в якій ми і спостерігаємо дане явище. Наприклад, значення амплітуди і частоти відхилення від прямолінійної траєкторії у видимих слідах метеора, які можуть бути легко виміряні по отриманих нами зображеннях, дозволяють оцінити розмір метеорного тіла, його масу, а зі спектральних спостережень (навіть із RGB кольоровою камерою) – ще й відстань до сліду і його висоту з точністю до 0.4 км; базові спостереження метеорного явища з двох пунктів підвищують точність визначення висоти до 0.1 км.



**Рис. 3.** Зображення сліду сутінкового боліда над Києвом 27 жовтня 2013 року. За оцінками міжнародної групи експертів, падало і зорало тіло діаметром до 15 м

Для прикладу розглянемо характеристики космічного вторгнення метеорного тіла, яке досягло нижньої тропосфери Землі. Базисні спостереження виконані в передмісті Києва 26 листопада 2019 року, 11:43 UT. У роботі наводяться наші оцінки відстані до сліду 7 км і висоти нижньої частини сліду близько 2 км. У припущенні кам'яного складу метеора і швидкості 3-М (М – число Маха) були отримані такі оцінки розміру метеорного тіла – 0.4 см, маси – 0.13 г. Виконаний по отриманих кількох кольорових зображеннях підбір значень динамічних характеристик метеороїдного тіла дозволив визначити такі характеристики метеорного тіла: частота відхилення від прямолінійної траєкторії при його польоті становила 8.4 Гц, радіус гвинтової траєкторії становив близько 17 м. Оцінки також показали, що метеороїд перебував поблизу граничної швидкості обертання, при якій відбувається його руйнування (вибух).

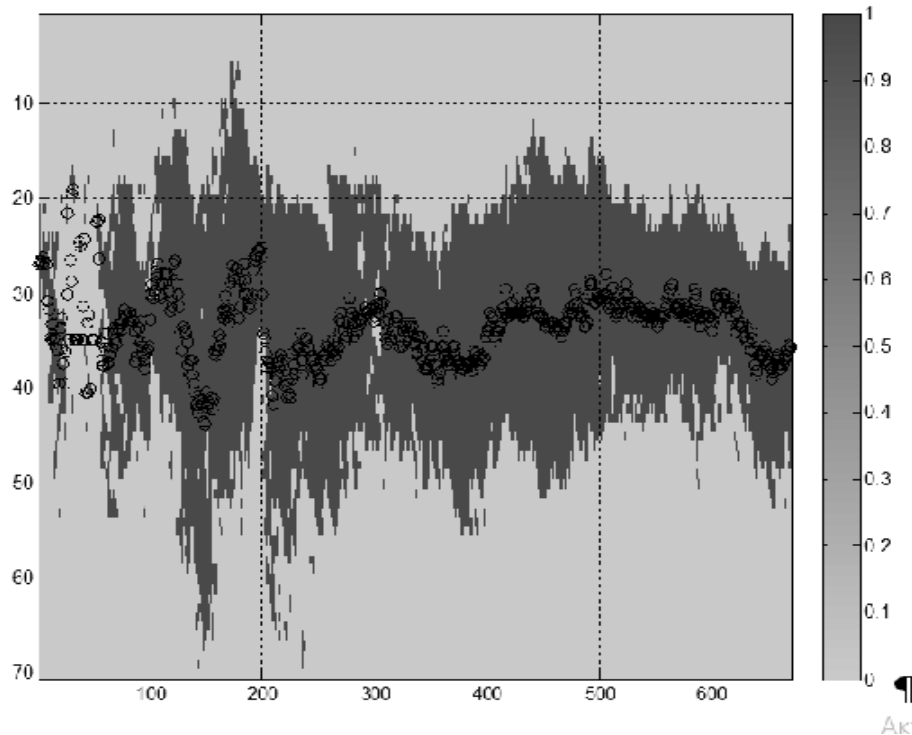
На рис. 4 наведено одне із десяти кольорових (RGB) зображень інверсного сліду, отримане А. Ф. Стекловим (камера Xiaomi Redmi 6A, розміри (пікселів) 1066x799x3 (зум = 4), розмір пікселя 2.1 мкм, фокусна відстань 3.5 мм, роздільна здатність 124''). Метеороїд летів протягом майже семи секунд, спалахував кілька разів і зник за горизонтом, залишивши на частині траєкторії інверсійний слід; останнє свідчить про його рух вже у тропосфері Землі.



**Рис. 4.** Одне із десятка RGB зображень болідного сліду



Слід метеора на цьому зображенні досить «свіжий», котрий ще не піддався вітровій деструкції і зберіг типові характеристики. Інверсійний слід метеора відображає просторовий розподіл матеріалу розпаду метеороїда, на якому сталася конденсація парів води в тропосфері. Він візуалізує утворення плазмового хвоста, який добре видно в нічний час, але який важче побачити вдень. Для аналізу просторової структури яскравості зображення ми виконали розріз зображення на рівні 0.6 від його максимальної яскравості і проаналізували трансверсальну структуру сліду. На отриманих графіках (рис. 5) добре помітні контури перетину і криву центру маси зображення у фільтрі G, а також сама крива центру маси отриманого зображення. На рисунку чорними кружками чітко показані відхилення від прямолінійної траєкторії при польоті метеорного тіла у метеорному сліді з амплітудою 3.6 пікселів.



**Рис. 5. Фотометрична крива (чорні кружки) уздовж центру траєкторії метеорного сліду відповідно до отриманого у фільтрі G зображення (голова метеора ліворуч)**

Під час руху метеороїдів часто спостерігаємо відхилення від прямолінійного руху. Іноді траєкторії набувають навіть характерного вигляду «штопора». Відхилення від прямолінійного руху свідчать про присутність сили, перпендикулярної до напрямку траєкторії. Таке явище відоме як ефект Магнуса, що виникає при обтіканні обертового тіла потоком газу [9]. Зазначимо, що для тіл невідомої форми таке завдання проблематичне.

Якщо метеорне тіло вважати повітряною турбіною, що перетворює енергію повітряного потоку на обертальну енергію, то аеродинамічні властивості метеорного тіла залежать від порівняння підйомної сили і динамічного опору. Важливо, що ці аеродинамічні характеристики зберігаються, в основному як при надзвуковому, так і гіперзвуковому русі метеора [9]. Вважаючи, що метеор рухається зі швидкістю звуку, то при густині повітря на нижній границі тропосфери рівній  $1.2 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, густині речовини метеора 5 г/см<sup>3</sup>, моменти інерції як для диска і, вважаючи, що на обертання метеора, зазвичай йде близько половини максимальної потужності  $P$  потоку газу, ми отримуємо оцінку кутової швидкості обертання метеорного тіла [9], рівну близько 9 кГц. Більшість метеорних тіл закінчують своє існування вибухом. Вибух, або руйнування метеорного тіла, відбуваються тоді, коли виникаюча при обертанні відцентрова сила стає рівною нормальній силі, яка визначає межу міцності матеріалу конкретного метеорного тіла. Розрахувавши динамічні характеристики космічного вторгнення і порівнявши їх з результатами наших спостережень при отриманій нами вище частоті обертання  $f = 8.4$  Гц і кутовій частоті обертання  $\Omega = 2\pi f \approx 50$  Гц [9], отримуємо, що граничне значення швидкості обертання метеора  $v_{m} \approx 3$  км/с досягається для

кам'яного метеорного тіла радіусом 0.28 см. При цьому частота обертання метеороїда отримується як  $f \approx 0.44$  Гц, тоді як спостереження дають частоту  $f = 8.4$  Гц. Для збігу цих розрахунків зі спостережними даними необхідно збільшити значення швидкості метеорного тіла. Для швидкості метеора  $\approx 3 \cdot M$  частота коливання навколо прямолінійної траєкторії сліду  $f \approx 8.4$  Гц досягається для метеорного тіла радіусом 0.4 см, масою 1.3 г при швидкості обертання метеорного тіла близько 10 км/с. Для металевих метеорних тіл з модулем Юнга на порядок вищим [9] – гранична швидкість обертання становить вже 10.7 км/с.

Вище ми навели ряд теоретичних висновків щодо деяких питань фізики утворення плазових слідів при взаємодії метеороїдного тіла з атмосферою Землі. Нами показано, що спеціальний добір динамічних характеристик метеороїдних тіл при дослідженнях світних слідів при нічних спостереженнях або інверсійних слідів при денних спостереженнях дозволяє оцінити ряд важливих характеристик метеороїдного тіла. Такий добір полягає в узгодженому виборі швидкості вторгнення і густини атмосфери в оточенні метеорного сліду.

*Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка.* Проблема організації роботи зі спостережень входження об'єктів космосу в земну атмосферу була однією з пріоритетних проблем, якою займався видатний астроном, першовідкривач комет 67P / Чурюмова-Герасименко (1969 р.) та С / 1986 N1 / Чурюмова-Солодовнікова (1986 р.), член-кореспондент НАН України Клим Чурюмов. У 2013 році група вчених під керівництвом К. Чурюмова (В. Кручиненко, А. Відьмаченко, О. Стеклов, Е. Стеклов та ін.) виступила з пропозицією про необхідність створення служби наземного аерокосмічного моніторингу під назвою «Єдина Мережа Чурюмова».

У жовтні 2016 року в Глухові в ході проведення I Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми сучасної астрономії та методики її викладання», присвяченої 100-річчю від дня народження всесвітньо відомого радіоастронома Йосипа Шкловського, було активно обговорено формат участі Глухівського НПУ ім. О. Довженка в наземному аерокосмічному моніторингу входжень об'єктів космосу в земну атмосферу (Єдиній Мережі Чурюмова – ЄМЧ).

Сьогодні аматорськими колективами північного регіону Сумської області накопичено і надіслано для подальшої обробки (розрахунку амплітуди і частоти коливання середовища в слідах метеора, розміру метеорного тіла, маси, відстані до сліду, висоти елементів траєкторії, радіусу гвинтової траєкторії тощо) фотознімки треків входжень космічних об'єктів у зонах спостережень – див. для прикладу цю публікацію в частині «Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України».

У квітні 2019 року Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія» уклав угоду про співпрацю з Глухівським НПУ імені О. Довженка. У межах цієї угоди організовано роботу автоматизованого комплексу спостережень метеорів у радіодіапазоні за допомогою методу прийому відлунь сигналів загоризонтних радіостанцій (FM, Frequency Modulation), який 5 серпня 2019 року з успіхом запущено в дію. Відтак, 5 серпня 2019 року в Україні почала працювати п'ята радіотраса Глухів (Україна) – Кельце (Польща), частота 88.2 МГц, довжина 960 км, створена за ініціативи НДІ «МАО» (перші чотири: 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) [10].

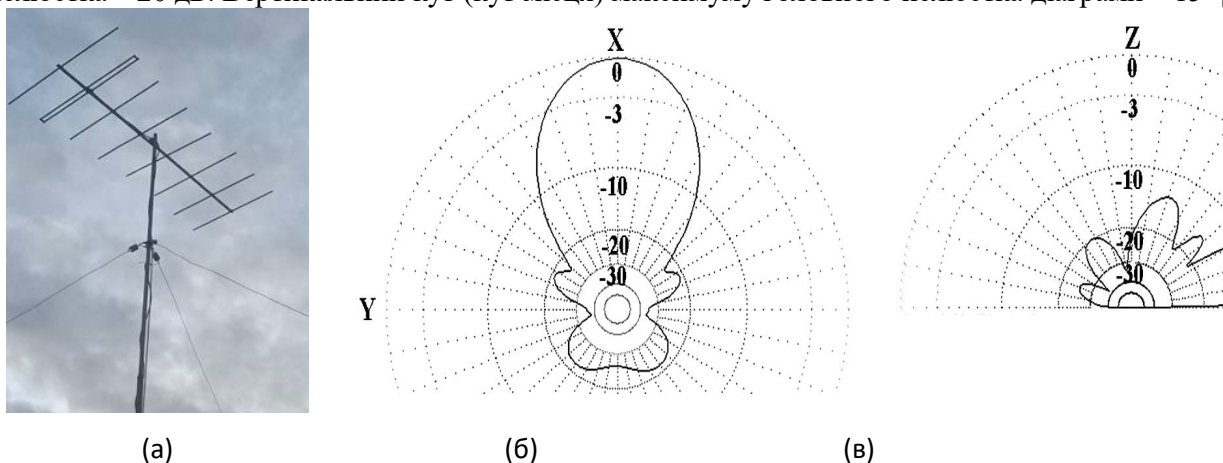
Складниками комплексу з реєстрації радіовідлунь є програмно керований приймач Realtek RTL2832U; направлена антена типу Ягі-Уда, розрахована на потрібний діапазон частот (88 – 108 МГц); програмне забезпечення для управління приймачем та збереження інформації; встановлений інтерпретатор мови програмування Python 3.4 з бібліотеками numpy, matplotlib, wave; програми обробки отриманих з ефіру масивів даних, розроблені на мові програмування Python. 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 у 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).

Функціонування метеорного апаратурно-програмного комплексу (МАПК) базується на безперервному, цілодобовому прийманні сигналів радіомовної FM станції, відбитих від іонізованих

метеороїдних слідів, що виникають в атмосфері Землі на висотах 80–100 км. МАПК НДІ «МАО» на трасі довжиною 903 км приймає сигнал FM-станції «Radio Muzyka Fakty Sp. z o.o.», розташованої біля міста Кельце (Польща). Відносно Миколаєва передавач знаходиться на азимуті 302°.

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

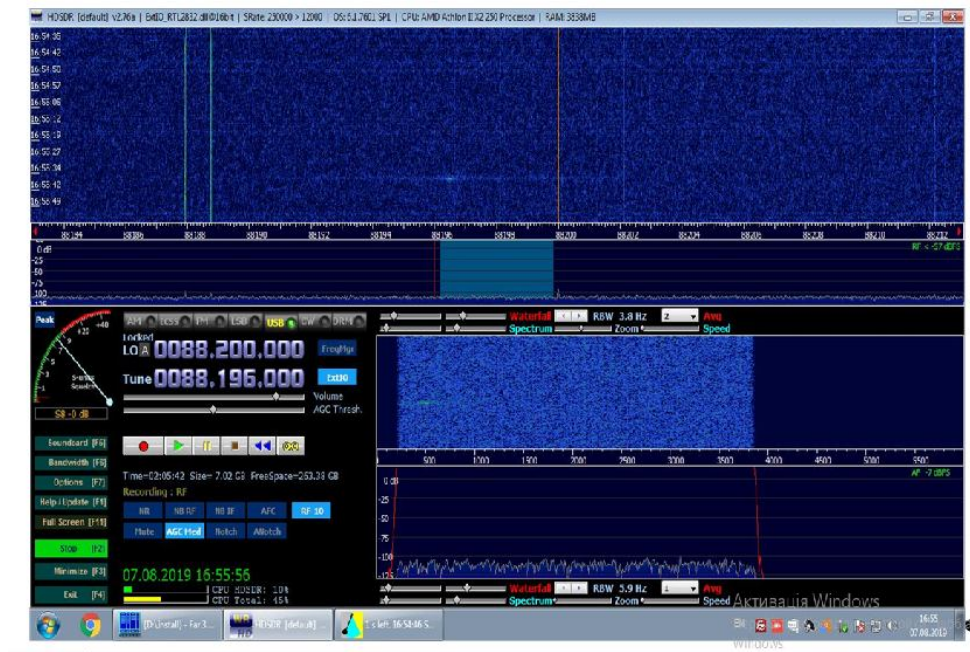
Для прийому сигналу використовується антена типу «хвильовий канал» з вісьмома елементами (рис. 6). Коефіцієнти підсилення антени 13.2 дБ. Ширина діаграми спрямованості складає в горизонтальній площині – 40°, вертикальній – 20°, за рівнем – 3 дБ. Придушення заднього пелюстка – 20 дБ. Вертикальний кут (кут місця) максимуму головного пелюстка діаграми – 15° [10].



**Рис. 6. Приймальна антена МАПК станції «WAGON» НДІ «МАО» (а) та її розрахункова діаграма спрямованості в горизонтальній (б) і вертикальній (в) площинах. Значення діаграми спрямованості наведені в дБ, крок змінювання кута становить 10°**

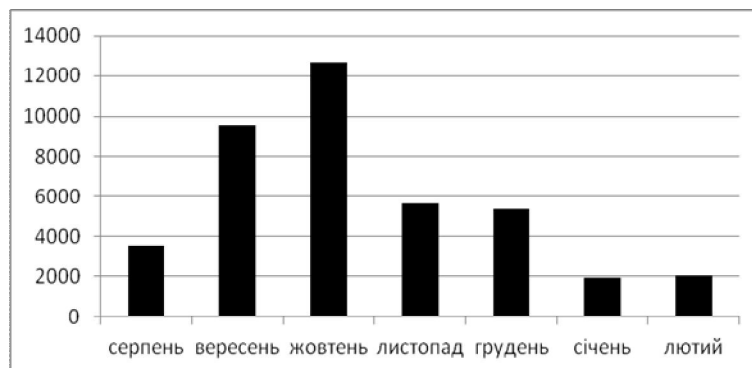
Вхідною інформацією для пошуку сигналів, відбитих від метеороїдних слідів, є сигнал із виходу квадратурного детектора приймача, тобто, сигнал, який ще не пройшов FM-демодуляцію та характеристики якого повністю відповідають сигналу на несучій частоті. Завдяки використанню такого сигналу з'являється принципова можливість визначення амплітуди та доплерівського зсуву частоти сигналу, відбитого від плазмового сліду метеороїда, в результаті відновлення несучої по відомому модуляційному сигналу, що неможливо для сигналу, який пройшов FM-демодуляцію. У випадку невідомого модуляційного сигналу, враховуючи стійкість частотної модуляції до амплітудних спотворень сигналу, на нашу думку, можливе одночасне визначення модуляційного сигналу та відновлення несучої. Отже, можливе визначення параметрів Френелівських коливань амплітуди радіосигналу, обумовлених інтерференцією на метеороїдному сліду, що дозволить оцінити швидкість метеороїда за однопозиційними спостереженнями. Виміряні значення амплітуди відновленої несучої на вході приймача дозволять також оцінити масу метеороїда за відомими значеннями потужності випромінювання FM-станції та за відомими характеристиками діаграм спрямованості антен передавача і приймача. 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 вільно розповсюджувана програма HSDR. Інтерфейс програми показано на рис. 6. Програма дозволяє формувати записи амплітуд квадратурних каналів приймача у вигляді wav-файлів та файли зображень амплітудно-частотно-часової розгортки для цілодобового моніторингу метеороїдної 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.



**Рис. 7. Інтерфейс вільно розповсюджаної програми HSDR з моментом реєстрації метеора станцією в м. Глухів**

Результати роботи комплексу з реєстрації радіовідлунь за період із серпня 2019 р. до лютого 2020 р. представлено на рис. 8–10.



**Рис. 8. Діаграма розподілу загальної кількості вторгнень (вісь ординат) за днем місяця (вісь абсцис). Серпень 2019 р. – лютий 2020 р.**

Щомісячно результати поточних спостережень в установленому форматі відправлялись на сайт міжнародного проекту RMOB (Radio Meteor Observing Bulletin). 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 знань, які передають свій досвід молодому поколінню «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.

**Висновки.** Метеорна астрономія є спостережною і експериментальною наукою. Це вимагає постійної технічної модернізації, залучення колективів фахівців, удосконалення методик спостережень і обробки баз даних. Історично Україна була великим науковим центром розвитку метеорної астрономії на пострадянській території з центрами в Одесі та Києві. Створювалися болідні мережі, новітні для свого часу спостережні інструменти, розроблялась методика спостережень і обробки даних. Це дало можливість брати участь у великих міжнародних

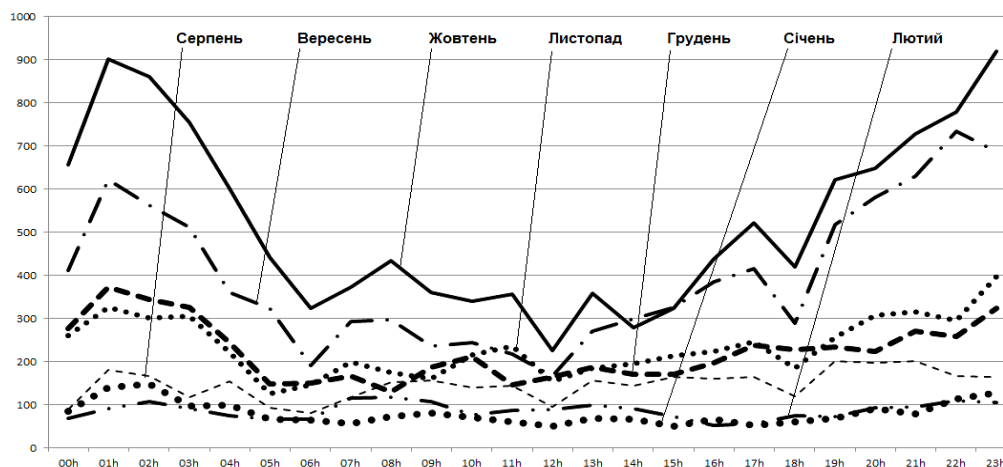


Рис. 9. Діаграма розподілу кількості вторгнень (вісь ординат) за годину доби (вісь абсцис). Серпень 2019 р. – лютий 2020 р.

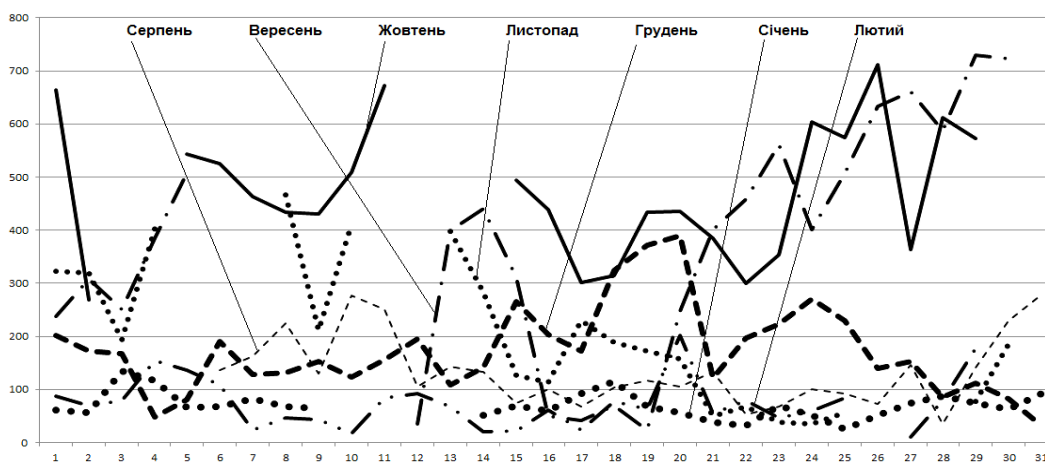


Рис. 10. Діаграма розподілу кількості вторгнень (вісь ординат) за днем місяця (вісь абсцис). Серпень 2019 р. – лютий 2020 р.

програмах: Міжнародний геофізичний рік (у 1957–1958 рр.) та його продовження – Міжнародна геофізична співпраця (з 1959 р.). Вітчизняними та закордонними фахівцями було отримано величезну кількість знань про фізику метеорних явищ, про властивості верхньої атмосфери Землі, про природу пилової хмари Сонячної системи, про природу комет і астероїдів, у вивченні поверхні тіл Сонячної системи, і навіть знайшов практичне застосування – метеорний радіозв'язок. Багато з цих знань неможливо було отримати іншими методами астрономії та фізики. Це доводить, що метеорна астрономія, поряд з іншими галузями науки, є потужним науковим інструментом у вивченні природи тіл Сонячної системи і Землі.

Після 1990-х рр. розвиток цього напрямку в астрономії значно згас. Спостереження стали рідкісними і епізодичними. Для цього існувало багато об'єктивних і суб'єктивних причин. Спостережні інструменти морально застаріли і практично припинили використовуватися. Економічний спад, також мав свій вплив. В Україні метеорна астрономія перейшла з розряду потужного наукового інструменту пізнання космічних об'єктів в таку собі «наукову екзотику». Якщо уважно простежити який період історії метеорної астрономії дав найбільш продуктивний результат, то можемо впевнено назвати період з 1950 по 1990 роки. Саме ця наукова інформація передруковується в даний час з одних джерел в інші, часто з перекручуваннями або втратою найбільш важливих з наукової точки зору моментів. Тільки іноді з'являються нові результати спостережень метеорів, але частіше за все, уточнюючого характеру раніше відомого факту. На сьогоднішній день доводиться обмежуватися інформацією про метеори, отриманою окремими спостерігачами або групами спостерігачів. Виникає стійке відчуття, що метеорна астрономія як науковий метод пізнання тіл Сонячної системи більше не важливий. Але ж така думка є глибокою помилковою!

Приблизно з 2000-х років з'явилися зовсім нові технічні можливості для розвитку метеорної астрономії. У всіх розвинених країнах з доступною технічною модернізацією і популяризацією метеорної астрономії стало можливим створення великих метеорних мереж, які на багато порядків збільшили поповнення баз даних спостережень метеорних явищ. Навіть в останні роки у науковому суспільстві зріє думка про об'єднання Світових метеорних мереж в одну Глобальну мережу. В основному спостереження віддані на відкуп величезній армії любителів астрономії. Але все ж таки ці спостереження курують наукові організації та обсерваторії в цих країнах.

Описані в роботі сучасні можливості окремих наукових установ України для виконання досліджень в області метеорної астрономії дозволяють здійснювати фундаментальні і прикладні науково-технічні дослідження метеорних явищ на високому рівні, отримувати результати високоточних базисних або односторонніх спостережень метеорів в різних діапазонах довжин хвиль.

#### Список використаної літератури

1. Ueda M., Fujiwara, Y. Double-station observations of the TV meteors. *Meteoroids and their parent bodies, Proceedings of the International Astronomical Symposium held at Smolenice*. 1993. № 5. P. 268–281.
2. Ueda M., Fujiwara Y., Sugimoto M., Kinoshita M. Results of double-station TV observations in 1998 and 1999. *Proceedings of the Meteoroids 2001 Conference*. 2001. P. 325–330.
3. Ueda M., Fujiwara Y. Television Meteor Radiant Mapping. *Earth, Moon, and Planets*. 1995. Vol. 68, Issue 1–3. P. 585–603.
4. Fujiwara Y., Ueda M., Nakamura T., Tsutsumi M. Simultaneous Observations of Meteors with the Radar and TV Systems. *Earth, Moon, and Planets*. 1995. Vol. 68, Issue 1–3. P. 277–282.
5. Molau Sirko, Sonota Co. On the average altitude of (video) meteors. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*. 2008. Vol. 36. № 6. P.124–130.
6. Babadzhанov P.B. Fireballs photographed in Dushanbe by the method of instantaneous exposure. *Asteroids, comets, meteors; Proceedings of the Meeting*. 1983. P. 439.
7. Babadzhанov P.B., Getman, V.S. Orbit, chemical composition and atmospheric fragmentation of a meteoroid from instantaneous photographs. *Solid particles in the solar system; Proceedings of the Symposium*. 1980. Vol. 6, №. 2. P. 111–115.
8. Babadzhанov P.B., Kramer E.N. Instantaneous Meteor Photography-Preliminary Results. *Soviet Astronomy*. 1965. Vol. 9. P. 506.
9. Zhilyaev B.E., Vidmachenko A.P., Steklov A.F., Pokhvala S.M., Verlyuk I.A. The physics of space intrusions. *Astronomical School's Report*. 2020. Vol. 16, Iss. 1. P. 8–15.
10. Бушувєв Ф. І., Калюжний М. П., Куліченко М. О., Шульга 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. № 3. С. 85–92.

### COOPERATION OF SCIENTIFIC INSTITUTIONS AND INSTITUTIONS OF THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE IN THE OBSERVATION OF THE METEORAL STREAMS: INSTRUMENTS, METHODS FOR PROCESSING, OBSERVATION POSSIBILITIES

#### Hrudynin Borys

Docent, Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor at the Department of Technological and Vocational Education  
*Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University*

#### Vidmachenko Anatolii

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor at the Department of Physics  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Chief Researcher

*Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine*

#### Steklov Oleksii

Senior Researcher

*Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine*

#### Kaliuzhnyi Mykola

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of Department  
*Research Institute «Mykolaiv Astronomical Observatory»*

**Introduction.** *The first experiments on systematic observations of meteors were conducted using photographic techniques. These were the Harvard program in Massachusetts and New Mexico, the first fireball networks in Europe, the United States and Canada. Modern observation networks are built on the basis of television technologies. The field of vision of these systems is 30-90°. The largest centres of meteor astronomy in the former USSR were concentrated in Dushanbe (Institute of Astrophysics of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan) and Odessa (Odessa Mechnikov National University).*

**Purpose.** The aim of the article is to consider the cooperation of scientific institutions and establishments of the Ministry of Education and Science of Ukraine in the observation of meteor phenomena (tools, Monitoring potential, processing methods). These include the Mykolaiv Astronomical Observatory Research Institute (MAO Research Institute), the Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, and the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine. They have the hardware and software to perform basic and unilateral observations of meteors in different wavelength ranges.

**Methods.** Empirical, theoretical and general scientific methods were used in the study of meteor phenomena.

**Results.** Since 2010, the MAO Research Institute has been conducting systematic observations of meteors in the radio range using the method of direct scattering on meteor tracks signals of powerful FM radio stations which are far beyond the horizon. The Relevant appropriate meteor hardware and software complex was developed at the MAO Research Institute. It is based on the continuous recording of radio signals and the automatic detection of signals reflected by meteor tracks. The National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine and the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine are conducting theoretical research on some issues of physics of plasma trace formation when a meteoroid body enters the Earth atmosphere.

It was shown that a special selection of values of dynamic characteristics of the meteoroid in luminous traces during night observations, and in inversion traces during day observations, allows to assess a number of important characteristics of the meteoroid and the Earth atmosphere - in which this phenomenon is being observed.

Since 2019, Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University has been working within the framework of the Cooperation Agreement with the MAO Research Institute at the automated complex of meteors observations in the radio rang. This station became the fifth one on the Hlukhiv (Ukraine) – Kielce (Poland) radio route with a base length of 960 km; it was created on the initiative of the MAO Research Institute.

**Originality.** Every month the results of current observations are sent in the prescribed format to the website of the Radio Meteor Observing Bulletin international project. The realization of the idea of monitoring space invasions has great pedagogical potential, as it provides an opportunity to teach, observe with the help of modern technologies, educate students ranging from primary school to lyceum, and University. In our opinion, this is especially important for schoolchildren, who are actively involved in educational and scientific work, communicate with scientists, specialists in certain fields of knowledge, who pass their experience to the younger generation «from hand to hand», convey the importance of «space invasion» for future of our civilization. This, in turn, promotes the socialization of young scientists, instils their sense of responsibility for the future of the Earth.

**Conclusion.** The modern possibilities of scientific institutions of Ukraine for research in the field of meteor astronomy described in the work allow to carry out fundamental and applied scientific and technical research of meteor phenomena at the high level, to obtain high-precision observations of meteors in different wavelength ranges.

**Key words:** meteor, meteor stream, observation network, optical video observations, radio observations.

### References

1. Ueda, M., Fujiwara, Y. (1993). Double-station observations of the TV meteors. *Meteoroids and their parent bodies, Proceedings of the International Astronomical Symposium held at Smolenice*, 5, 268–281. [in English].
2. Ueda, M., Fujiwara, Y., Sugimoto, M., Kinoshita, M. (2001). Results of double-station TV observations in 1998 and 1999. *Proceedings of the Meteoroids 2001 Conference*, 325–330. [in English].
3. Ueda, M., Fujiwara, Y. (1995). Television Meteor Radiant Mapping. *Earth, Moon, and Planets*, 68(1–3), 585–603. [in English].
4. Fujiwara, Y., Ueda, M., Nakamura, T., Tsutsumi, M. (1995). Simultaneous Observations of Meteors with the Radar and TV Systems. *Earth, Moon, and Planets*, 68(1–3), 277–282. [in English].
5. Molau, Sirko, Sonota, Co. (2008). On the average altitude of (video) meteors. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, 36(6), 124–130. [in English].
6. Babadzhанov, P. B. (1983). Fireballs photographed in Dushanbe by the method of instantaneous exposure. *Asteroids, comets, meteors; Proceedings of the Meeting*. [in English].
7. Babadzhанov, P. B., Getman, V. S. (1980). Orbit, chemical composition and atmospheric fragmentation of a meteoroid from instantaneous photographs. *Solid particles in the solar system; Proceedings of the Symposium*, 6(2), 111–115. [in English].

8. Babadzhanyan, P. B., Kramer, E. N. (1965). Instantaneous Meteor Photography-Preliminary Results. *Soviet Astronomy*, 9, 506. [in English].
9. Zhilyaev, B. E., Vidmachenko, A. P., Steklov, A. F., Pokhvala, S. M., Verlyuk, I. A. (2020). The physics of space intrusions. *Astronomical School's Report*, 16(1), 8–15. [in English].
10. Bushuiev, F. I., Kaliuzhnyi, M. P., Kulichenko, M. O., Shulha, O. V., Malynovskyi, Ye. V., Savchuk, S. H., Yankiv-Vitkovska, L. M., Hrudynin, B. O. (2021). Stanovlennia ta rozvytok Ukrainiskoi merezhi radiosposterezhen meteoriv [Formation and development of the Ukrainian guardian of meteors]. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia – Space science and technology*, 3, 85–92. [in Ukrainian].

Отримано редакцією 21.05.2022 р.

УДК 378.011.3-051:51

DOI: 10.31376/2410-0897-2022-2-49-41-49

## ЗАСОБИ РОЗВИТКУ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ

**Кугай Наталія Василівна**

доктор педагогічних наук, доцент кафедри фізико-математичної освіти та інформатики  
Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка

e-mail: nkuhai@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-9193-1956

**Сліпущко Ольга Олексіївна**

викладач спеціальних дисциплін відділення економіки та інформаційних технологій  
ВСП «Глухівський агротехнічний фаховий коледж СНАУ»

e-mail: slipushko2002@gmail.com

У статті проаналізовано найважливіші м'які навички 21 століття, зокрема критичне мислення. Розглянуто засоби розвитку критичного мислення здобувачів освіти під час вивчення математики як у закладах загальної середньої освіти, так і в педагогічних закладах вищої освіти: задачі, в розв'язанні яких зроблена помилка і її треба знайти; задачі, в яких треба зробити «хорошу» помилку або її передбачити; система запитань. Наведено конкретні приклади. З'ясовано, що використання вказаних засобів покращує ставлення здобувачів освіти до вивчення математики.

**Ключові слова:** soft skills, критичне мислення, математика, засоби, здобувачі освіти, ставлення.

**Постановка проблеми.** Бурхливий розвиток технологій, всеохоплююча діджиталізація й автоматизація всіх сфер суспільства змушують керівників бізнесу, освітян і просто прогресивних представників суспільства переглянути перелік навичок, необхідних сьгоднішнім здобувачам освіти для успішного життя завтра. У зв'язку з цим з'явилося поняття «навички XXI століття». Це перелік тих навичок, які необхідні здобувачам освіти для успішної роботи й щасливого життя в нинішньому світі. Наразі єдності щодо переліку вказаних навичок нема. Так, у роботі [1] наведено сім навичок виживання для здобувачів освіти XXI століття: критичне мислення та розв'язування проблем; співробітництво у мережах і лідерство шляхом переконання; гнучкість та адаптивність; ініціативність та підприємництво; ефективне усне та письмове спілкування; оцінка та аналіз інформації; цікавість та уява.

У Рамці навчальних навичок XXI століття «P21 Framework for Learning of the 21<sup>st</sup> Century» [2; 3] серед знань і навичок, якими мають володіти здобувачі освіти для успішної кар'єри, життя й громадянства, наведено такі групи: навички навчання та інновацій (креативність та інновації, критичне мислення та вирішення проблем, комунікація, співпраця); інформаційні, медіа та технологічні навички (інформаційна й медіа грамотність, ІКТ (інформаційна, комунікаційна та технологічна) грамотність); навички життя і кар'єри (гнучкість та адаптивність, ініціатива та самокерованість, соціальні та міжкультурні навички, продуктивність та підзвітність, лідерство та відповідальність). Варто зазначити, що у названій Рамці акцентовано на значній ролі знань з основних предметів.

У звіті Всесвітнього економічного форуму, який відбувся у жовтні 2020 року, представлено 10 найкращих ключових навичок, які будуть затребувані у 2025 році [4]: аналітичне мислення та інноваційність; активне навчання та стратегії навчання; комплексне вирішення проблем; критичне мислення та аналіз; креативність, оригінальність та ініціативність; лідерство та соціальний вплив;