

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Голубаєв Олександр Володимирович

УДК 523.62 + 523.682 + 523.683 + 520.84

**КІНЕМАТИЧНІ ТА ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТЕОРНИХ
ТІЛ З РАДІАНТАМИ ПОБЛИЗУ СОНЦЯ ЗА ДАНИМИ НАЗЕМНИХ
ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Науково-дослідному інституті астрономії Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник кандидат фізико-математичних наук
Горбаньов Юрій Михайлович,
НДІ "Астрономічна обсерваторія" Одеський
національний університет ім. І.І. Мечникова
старший науковий співробітник

Офіційні опоненти доктор фізико-математичних наук,
професор
Відьмаченко Анатолій Петрович
Головна астрономічна обсерваторія
Національної академії наук України,
головний науковий співробітник
кандидат фізико-математичних наук,
старший дослідник
Великодський Юрій Іванович
Національний авіаційний університет,
доцент кафедри аерокосмічної геодезії

Захист відбудеться «27» червня 2017 о 12:00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради - **К 26.062.13** при Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м.Київ, проспект Комарова, 1, корпус № 3, ауд. 3.506, кафедра аерокосмічної геодезії.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м.Київ, проспект Комарова, 1, корпус № 8.

Автореферат розісланий « 27 » травня 2017 р.

Учений секретар

спеціалізованої Вченої ради К 26.062.13

доцент, кандидат фізико-математичних наук



Л.С. Чубко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Існує комплекс міжпланетних тіл (астероїди, комети, метеороїди), що мають при можливому зіткненні із Землею радіанти поблизу положення Сонця на небесній сфері (на елонгаціях менше 30° від Сонця). Подібні об'єкти є найнебезпечнішими через відсутність сучасних технічних можливостей (наземної або космічних) їхньої завчасної фіксації ще на підльоті до Землі з геліоцентричних відстаней ≤ 1 а.о. з боку Сонця.

Для оцінки ступеня загрози важливо знати кінематичні й фізичні властивості потенційно-небезпечних космічних тіл, тому актуальним є розроблення експрес-методів для вимірювань і розрахунків кінематичних характеристик болідних тіл за спостереженнями у світлий час доби.

У найближчому майбутньому плануються запуски космічних зондів для вивчення Сонця на близьких від нього відстанях. Виявлені при обробці наземних телевізійних спостережень і представлені в дисертації особливості у фізико-хімічних властивостях речовини короткоперигелійних метеорних тіл додатково показують, що КА, запущений у геліоцентричну зону радіусом менше ніж 0,1 а.о. ($21 R_\odot$) буде відчувати найсильніші термодесорбційні навантаження: зміна фізико-хімічних властивостей і випаровування матеріалів конструкції КА. Таким чином, розглянуте у дисертаційній роботі питання про вивчення термічної десорбції метеорних тіл поблизу Сонця по наземним телевізійним спостереженням метеорів може мати практичне значення. Також, результати дисертаційної роботи актуальні у зв'язку з підвищеною увагою сучасної науки до області простору поблизу Сонця.

Крім того, представлені результати обробки спостережного матеріалу отриманого телевізійним телескопічним способом можна вважати актуальним у зв'язку з новітніми дослідженнями мікрометеороїдів (метеороїдів розміром від 10 мкм до 2 мм), які фіксуються в міжпланетному просторі за допомогою КА або наземними засобами спостережень (радіолокаційними й телескопічними). До цього часу метеори до $+12^m$ і навіть слабкіші виявлялися тільки радіолокаційним методом, але мова в цьому випадку йде про іонізований слід, а не оптичне зображення метеора.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота була складовою частиною наступних планових НДР НДІ “Астрономічна обсерваторія” Одеського національного університету імені І.І. Мечникова:

- “Дослідження фізики і кінематики малих тіл Сонячної системи й пилової складової атмосфери Землі” (2000 - 2002 рр.), № держ. реєстрації 0100U002881;
- “Дослідження міжпланетної речовини і його впливу на атмосферу Землі” (2003 - 2005 рр.), № держ. реєстрації 0103U003764;
- “Вивчення фізичних і кінематичних властивостей метеорної й пилової речовини й екологія верхньої атмосфери” (2006 - 2008 рр.), № держ. реєстрації 0107U006647;
- “Вивчення фізичних і кінематичних властивостей метеорних часток слабких метеорних потоків” (2009 - 2011 рр.), номер держаної реєстрації 0109U000919.

Дисертаційна робота була та є складовою частиною наступних планових НДР НДІ астрономії Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна в рамках контракту ХНУ імені В.Н. Каразіна з дослідницькою лабораторією армії США за темами:

- “Комп'ютерне моделювання розсіювання світла малими частинками довільної форми з використанням Sh-матричного підходу” (2015 р.), № держ. реєстрації W911NF1210344;

- “Метод фазових відносин для гранично шорстких поверхонь стосовно до виявлення людської присутності” (2016 р.), № держ. реєстрації W911NF1410622.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є:

1. Удосконалити існуючі методики базисних відеоспостережень і обробки спостережного матеріалу для визначення кінематичних і фізичних характеристик метеорних тіл, що створюють метеори яскравіше $+10^m$, у тому числі тих, які мають радіанти поблизу Сонця на небесній сфері або спостерігаються у світлий час доби.

2. Вивчити особливості термічного впливу Сонця на фізико-хімічні властивості речовини метеороїдів з перигелійними відстанями орбіт менше ніж 0,1 а.о., і, які, під час вторгнення в земну атмосферу мають радіанти поблизу Сонця на небесній сфері.

Виходячи зі сформульованої мети, були поставлені й виконані наступні завдання:

1. Створена й досліджена автоматизована апаратура (метеорний патруль) для відеоспостережень телескопічних (до $+10^m$) метеорів з високими часовою й позиційною здатностями.

2. Створено Одеську базу даних телескопічних метеорних відеоспостережень в НДІ “Астрономічна обсерваторія” ОНУ імені І.І. Мечникова (більше 11000 метеорів до $+10^m$ за період спостережень 2003 - 2017 рр.).

3. Удосконалено методику спостережень, первинної обробки отриманого спостережного матеріалу, розрахунку основних атмосферних і позаатмосферних кінематичних параметрів метеорів за телескопічними відеоспостереженнями із двох віддалених пунктів (з відстанню ~ 152 км між кореспондуючими пунктами). Методика реалізована у вигляді пакету програмного забезпечення.

4. Проведено позиційну обробку спостережного матеріалу, отриманого під час базисних (з відстанню 152.7 км між кореспондуючими пунктами) телескопічних відеоспостережень у серпні 2010 і 2011 роках. Отримано атмосферні й позаатмосферні кінематичні параметри (з оцінками погрешностей) метеорних тіл.

5. Удосконалено методику для обчислення кінематичних параметрів метеоритоутворювальних болідів, що спостерігались у світлий час доби. Метод застосований для обчислення атмосферних і позаатмосферних кінематичних параметрів Челябінського метеороїда під час його падіння на поверхню Землі 15 лютого 2013 р.

6. Вивчено особливості термічного впливу на фізико-хімічні властивості метеорних тіл, які зближаються із Сонцем на геліоцентричні відстані менше ніж 0,1 а.о. за допомогою накопичених науковим співтовариством позиційних, фотометричних і спектральних спостережень метеорів, із залученням результатів експериментальних досліджень по випаровуванню зразків метеоритів, аналізу спостережної бази даних близькосонячних комет і метеорів.

Об'єкт дослідження: метеори в атмосфері Землі; телескопічні метеори; потенційно небезпечні для Землі метеороїди; метеороїди що зближуються на короткі дистанції ($< 0,1$ а.о.) до Сонця.

Предмет дослідження: розробка методик наземних відеоспостережень і обробки спостережного матеріалу для визначення кінематичних і фізичних параметрів метеорних тіл; вивчення ефектів, пов'язаних з термічним впливом на метеорні тіла в близькій ($< 0,1$ а.о.) до Сонця області простору.

Методи дослідження:

1. Відеоспостереження метеорів в атмосфері Землі.
2. Статистичний аналіз бази даних: позиційних, фотометричних, спектральних спостережень комет і метеорів, лабораторних досліджень метеоритної речовини, результатів експериментів по вивченню фізико-хімічних властивостей метеороїдів.
3. Модельні розрахунки, побудовані на результатах позиційних і спектральних спостереженнях метеорів, теоретичних і експериментальних даних про випаровування металів і зразків метеоритів при високих температурах у вакуумі.

Наукова новизна отриманих результатів.

Уперше:

1. Створено Одеську базу даних телескопічних метеорних відеоспостережень в НДІ "Астрономічна обсерваторія" ОНУ імені І.І. Мечникова (більше 11000 метеорів до $+10^m$ за період спостережень 2003 - 2017 рр.).
2. Створено каталог високоточних атмосферних і позаатмосферних кінематичних параметрів (з оцінками похибок розрахунків) спостережених метеорних тіл у результаті позиційної обробки базисних (152,7 км) телескопічних відеоспостережень у серпні 2010 і 2011 р.
3. Виявлені групи радіантів метеорних тіл, генетично пов'язаних з кометними сімействами: радіанти з елонгаціями від Сонця 30° і 155° - сімействам комет Марсдена й Крахта, а радіанти з елонгаціями від Сонця 50° і 135° - сімейству комет Крейца.
4. Виявлено різке зменшення чисельності метеорних тіл з $q < 0,08$ а.о., що вказує на існування зони, з якої, при наближенні до Сонця, починається істотне випаровування речовини метеороїдів.
5. Виявлено в розподілі за масами метеорних тіл систематичне відносне зменшення значень мас для метеороїдів, які зафіксовані після проходження ними перигелію на відстанях менше 0,1 а.о. від Сонця. Це пояснюється випаровуванням частини речовини метеороїдів при проходженні перигелійної області.

Удосконалено:

1. Алгоритм первинної обробки отриманого спостережного матеріалу, методи розрахунку основних атмосферних і позаатмосферних кінематичних параметрів метеорів по телескопічних відеоспостереженнях із двох віддалених пунктів (з відстанню ~150 км між кореспондуючими пунктами). Методики реалізовані у вигляді пакету програмного забезпечення.

2. Методику для обчислення основних кінематичних параметрів метеоритоутворювальних болідів, що спостерігаються у світлий час доби. Метод застосований для обчислення атмосферних і позаатмосферних кінематичних параметрів Челябінського метеороїда під час його падіння на поверхню Землі 15 лютого 2013 року.

Одержало подальший розвиток: вивчення кінематичних і фізичних властивостей метеороїдів, які при зіткненні із Землею мають на небесній сфері радіанти поблизу Сонця.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Запропонований у дисертації експрес-метод дозволяє обчислювати кінематичні параметри болідів за наземними телевізійними спостереженнями у денний час доби.

2. Одеська база даних безперервних телескопічних відеоспостережень метеорів (більше 11000 відеофайлів за 2003 – 2017 рр. з метеорами до $+10^m$) є в даний момент унікальною та становить інтерес для дослідження метеорів, які раніше були недоступні в оптичному діапазоні.

3. У зв'язку з підвищеною увагою сучасної науки до області простору поблизу Сонця, наземні телевізійні спостереження метеорів представляють практичне значення для вивчення термічного впливу на фізико-хімічні властивості речовини метеороїдів поблизу Сонця.

Обґрунтованість і достовірність.

Методика спостережень і обробки спостережного матеріалу обґрунтована багаторічними систематичними спостереженнями метеорів, якісним та кількісним узгодженням результатів дисертаційної роботи з дослідженнями інших авторів.

Особистий внесок автора.

1. Брав активну участь у створенні й модернізації телевізійного метеорного патруля в Крижанівці (Одеса) НДІ “Астрономічна обсерваторія” ОНУ ім. І.І. Мечникова, а також експедиційної апаратури для спостережень метеорів.

2. Проводив систематичні спостереження метеорів на метеорному патрулі НДІ “Астрономічна обсерваторія” ОНУ ім. І.І. Мечникова в Крижанівці (2003-2011 рр.). Особисто автором дисертації було проведено 696 нічних спостережень (з яких 342 ночі були придатні для спостережень за погодних умов) та отримано 1166 відеофайлів з метеорами.

3. Брав участь у метеорних експедиціях на острів Зміїний у Чорному морі (Одеська обл.) у якості астронома-спостерігача по програмах виконання наукових

досліджень від ОНУ імені І.І. Мечникова в 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 роках. За участю автора дисертації було проведено 150 нічних спостережень та отримано 480 відеофайлів з метеорами.

4. Брав участь у розробці методики метеорних спостережень, методик позиційної й фотометричної обробки метеорних зображень. У тому числі, створенні пакета програмного забезпечення для астрометричної обробки відеоспостережень одеської метеорної бази даних.

5. Удосконалив метод і створив відповідне програмне забезпечення для обчислення елементів геліоцентричної орбіти метеорних частинок за спостереженнями в автоматизованому телевізійному режимі за допомогою ССТV камер як реєстратор зображень.

6. Автором розроблений експрес-метод обчислення кінематичних параметрів болідних тіл, які спостерігалися у денний час доби. Методика успішно застосована для обробки спостережень метеоритоутворювального боліда 15 лютого 2013 року в Челябінській області (РФ).

7. Автором виявлені особливості прояву ефекту термічної десорбції речовини метеороїдів поблизу Сонця й дано теоретичне обґрунтування цих особливостей.

8. Брав участь у спостереженнях і обробці позиційних і фотометричних параметрів потенційно небезпечних для Землі астероїдів [19], зокрема астероїда 99942 Aophis (2004 MN₄).

Апробація результатів дисертації. Доповіді з результатами, покладені в основу дисертації, представлялися на конференціях:

1. Міжнародна наукова конференція “Research of Artificial and Natural NEOs and Other Solar System Bodies with CCD Ground-based Telescopes”, Травень 17 - 20, 2004, Миколаїв, Україна.

2. Міжнародний науковий семінар “Спостереження штучних супутників Землі й космічного сміття” 3-7 жовтня, 2004, Львів, Україна.

3. Міжнародна конференція “САММАС-2005”, Вересень 25 - Жовтень 1, 2005, Вінниця, Україна.

4. Міжнародна конференція “Astronomy and space physics at Kyiv university”, Травень 22 - 26, 2005, Київ, Україна.

5. Міжнародна конференція “Enlargement of collaboration in ground-based astronomical research in see countries. Studies of the near-earth and small bodies of the solar system”, Вересень 25 - 28, 2006, Миколаїв, Україна.

6. Четверта наукова конференція пам. Богдана Бабія “Вибрані питання астрономії та астрофізики”, 19 - 21 жовтня, 2006, Львів, Україна.

7. Міжнародна меморіальна наукова конференція "Сучасні проблеми астрономії", присвячена 100-річчю від дня народження професора Володимира Платоновича Цесевича. 12-18 серпня, 2007, Одеса, Україна.

8. Міжнародна астрономічна конференція “Навколоземна астрономія - 2007”, Вересень 3 - 7, 2007, Терскол, Кабардино-Балкарія, Росія.

9. Всеросійська астрономічна конференція (ВАК-2010) “Від епохи Галілея до наших днів”, Вересень 13 - 18, 2010, Н. Архиз, Росія.

10. Міжнародна конференція “Навколоземна астрономія-2013”, Вересень 7 - 11, 2013, Туапсе, Росія.

11. Міжнародна науково-практична конференція “Астероїди та комети. Челябінська подія та вивчення падіння метеорита в озеро Чебаркуль”, Червень 21 - 22, 2013, Чебаркуль, Росія.

12. 33-rd International Meteor Conference (IMC2014), Вересень 18 - 21, 2014, Giron, France.

13. Міжнародна конференція “V Бредихінські читання”, Травень 12 - 16, 2014, Заволжськ, Росія.

14. Міжнародна конференція “Asteroids, Comets, Meteors” (ACM), Червень 30 - Липень 4, 2014, Helsinki, Finland.

15. IX Міжнародна конференція “Near-Earth Astronomy” (NEA-2015), Август 31 - Вересень 5, 2015, Терскол, Кабардино-Балкарія, Росія.

16. 5-th Gamow International Conference in Odessa “Astrophysics and Cosmology after Gamow: progress and perspectives”, 16-23 August, 2015, Odessa, Ukraine.

17. Міжнародний науковий семінар “Радіометеори, метеори й міжпланетна складова: поблизу та на відстані”, пам'яті Б.Л. Кашеєва, Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ), 15 березня 2016, Харків, Україна.

18. Міжнародна наукова конференція “Actual Questions of Ground-based Observational Astronomy”, 2016, Mykolaiv, Ukraine.

Крім того, результати представлялися у вигляді усних доповідей у НДІ “Астрономічна обсерваторія” Одеського національного університету імені І.І. Мечникова та НДІ астрономії Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна.

Публікації. По темі дисертації опубліковано: 6 статей у наукових спеціалізованих виданнях [2-7]; 1 публікація в монографічному збірнику [1]; 6 статей – у збірниках праць наукових конференцій [8, 15, 16, 19, 23, 25]; 15 – у вигляді тез наукових доповідей [9-14, 17, 18, 20-22, 24, 26-28].

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації (9 сторінок), переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел кількістю 219 найменувань (27 сторінок), вона містить 42 рисунки, 13 таблиць та 3 таблиці в додатку (4 сторінки). Обсяг дисертації складає 150 сторінок, загальний – 195 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертації, її зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і основні задачі дослідження та методи їх

вирішення. Показано наукову новизну отриманих результатів та розкрито їх практичне значення. Також визначено особистий внесок здобувача в опублікованій роботі та описано апробацію отриманих результатів дисертаційної роботи.

Розділ 1. Методи наземних спостережень метеорів. У даному розділі в короткій формі розглянуті різні методи, апаратура та база даних спостережень метеорів і болідів, породжених метеороїдами широкого діапазону мас під час їхнього вторгнення в земну атмосферу.

З появою нових технологій модифікувалася апаратура та методи спостережень метеорів. Метеори до $+12^m$ і навіть слабкіше виявлялися тільки радіолокаційним методом, але мова в цьому випадку йде про іонізований слід, а не оптичне зображення метеора. Існують спостережні комплекси різних конструкцій, створені на основі телевізійних передавальних трубок, електронно-оптичному перетворювачі (ЕОП) або комбіновані ширококутні телевізійні системи. Такі телевізійні системи дозволяють реєструвати метеори до $+5^m \div +9^m$. У першому розділі показано важливість і унікальність застосування довгофокусної світлосильної оптики в сполученні із КМОН-детекторами для відеоспостережень метеорів до $+10^m$.

Розділ 2. Апаратура для спостережень телескопічних метеорів, методика спостережень і обробки. У даному розділі розглядається апаратура, методика спостережень і первинної обробки спостережного матеріалу, що застосовувалась за участю автора при виконанні дисертаційної роботи.

В Одесі спроби використовувати нові телевізійні методи почалися з 2000 року, але тільки в 2003 році був створений за участю автора перший зразок телевізійного метеорного патруля на базі світлосильного телескопа Шмідта, що із червня 2003 року й по сьогодні регулярно проводить метеорне патрулювання на спостережній станції Крижанівка (Одеса). Як приймачі випромінювання використовувалися CCTV камери фірми Watec (Японія): LCL-902K, LCL-902H і LCL-902H2 з часовою роздільною здатністю 20 мс. Відеокомплекс чутливий до випромінювання у діапазоні від 400 до 1200 нм (максимальна чутливість 700 нм). Відеокамера на телескопі Шмідта може реєструвати зірки до $+13^m$ у системі V, метеори до $+10^m$. Оптичні характеристики телескоп Шмідта такі: 220/300 мм (діаметр корекційної пластини й діаметр дзеркала відповідно), $F=540$ мм, поле зору $36' \times 48'$. У цей час метеорний патруль також укомплектований ішими спостережними інструментами.

Для кожного інструмента створена база даних, що безупинно поповнюється при первинній обробці нових спостережень. За період спостережень 2003 - 2017 рр. у Крижанівці база даних містить порядку 11000 відеофайлів з метеорами.

У дисертації представлені результати визначення кінематичних параметрів метеорних тіл за базисними спостереженнями за участю автора в серпні 2010 і 2011 роках у Крижанівці та острові Зміїний (Одеська обл.) у рамках наукових тем НДІ "Астрономічна обсерваторія" ОНУ імені І.І. Мечникова. Під час експедицій на острів Зміїний, основним завданням було спостереження метеорів у серпні місяці. Також відпрацьовувалися методики спостережень за допомогою довгофокусних об'єктивів (140 мм і більше) на відстанях порядку 150 км між метеорними патрулями. Спостереження проводилися практично в ідеальних для метеорного

патрулювання астрономічних умовах – переважно безхмарної погоди, відсутності запиленості й антропогенної засвітки неба. Часова прив'язка метеорних патрулів здійснювалася за рахунок GPS-датчиків. За допомогою GPS визначалися геодезичні координати пунктів спостережень.

Для обробки спостережного матеріалу створений за участю автора пакет програм. Процедура обробки містить у собі роботу з телевізійними фільмами спостережень і первинну обробку зоряних і метеорних зображень. На наступному етапі проводиться ототожнення ділянок зоряного неба, а потім вимірювання зоряних і метеорних зображень. Кінцевим етапом обробки є одержання високоточних координат точок метеорних траєкторій, їхніх полюсів великих кіл, координат радіантів, кривих блиску метеорів тощо.

Розділ 3. Методи обчислення кінематичних параметрів і елементів геліоцентричних орбіт метеорних тіл. У даному розділі описується методика й відповідне програмне забезпечення для розрахунку основних атмосферних і позаатмосферних кінематичних параметрів метеорів за спостереженнями із двох віддалених пунктів (з відстанню до ~150 км між кореспондуючими пунктами). Розглянуті методики позиційних вимірювань зоряних і метеорних зображень на телевізійному кадрі при спостереженнях у черезстроковому режимі роботи SSTV-камери. Представлені результати обробки спостережного матеріалу отриманого під час базисних спостережень на станції Крижанівка (Одеса, Україна) і острові Зміїний (Одеська обл., Україна) у серпні 2010 і 2011 років. Описується експрес-метод для обробки спостережень болідів у денний час доби, коли класичні методи не придатні для позиційної обробки спостережного матеріалу.

Для позиційних вимірювань використовуються опорні зірки з відомими екваторіальними координатами. Точність визначення координат зображення метеорної траєкторії залежить від кількості зірок на зображенні. Кількість опорних зірок на різних зображеннях варіюється, але не менше 10 (найчастіше порядку 30 зірок і більше). Для методу Тернера така кількість опорних зірок цілком прийнятна.

Одним з етапів позиційної обробки метеорних зображень є вимірювання прямокутних координат опорних зірок у системі координат знімку. Під час вимірювань зоряного зображення на першому етапі відбувається аналіз зображення й відбір пікселів (точок), що належать зоряному зображенню. Для цього використовуються значення інтенсивності пікселів фону навколо зображення зірки. Значення фону становить 110 одиниць при повному діапазоні від 0 до 255 одиниць градації інтенсивності пікселів. Всі точки, які мають значення інтенсивності більше 3σ від рівня фону, відносять до зоряного зображення. Потім для відібраних точок проводиться пошук фотометричного центру кожного зоряного зображення за формулами:

$$X = \frac{\sum(X_i I_i)}{\sum I_i}; Y = \frac{\sum(Y_i I_i)}{\sum I_i}, \quad (1)$$

де X_i , Y_i - прямокутні координати робочого пікселя, а I_i – інтенсивність пікселя у відносних одиницях. Таким чином, значення прямокутних координат у системі

знімка є дробовими, і виникає питання: з якою точністю (у пікселях) вимірюється ці координати? Перевірка точності вимірювання проведена в роботі показала, що стандартне відхилення для координати X становить 0,2, а для координати Y – 0,26.

Ці дані отримані після обробки ряду знімків з ототожненими опорними зірками методом з використанням 6 або 12 постійних; потім розраховувались нев'язки для контрольних зірок різної зоряної величини (використовувались величини в системі V). Для яскравих зірок точність визначення екваторіальних координат залежить від зоряної величини. Зірки яскравіше 6^m є дуже ненадійними для визначення координат – це пов'язане з великим розміром зображення зірки; на інтервалі 6^m - 11^m точність визначення координат не гірше $2''$. Для третини зірок слабкіше 11^m похибка визначення координат збільшується, що пов'язано з малим розміром зображення таких зірок і істотних спотворень, що виникають на пікселях матриці. Флуктуації фона також приводять до погіршення точності вимірювань зображень зірок слабкіше 11^m . Тому при виборі опорних зірок при позиційних вимірюваннях зображень, отриманих на інструменті (телескоп Шмідта), варто виключати зірки яскравіше 6^m і вибірково використовувати зірки слабкіше 11^m .

Для оцінки точності позиційних вимірювань варто використовувати не опорні зірки, нев'язки яких характеризують внутрішню точність методу Тернера для даної вибірки, а застосовувати контрольні зірки. Такий підхід дозволяє визначити зовнішню точність позиційних вимірювань. Для того щоб одержати точність для реального зображення метеора, що фіксується в певній частині кадру (іноді в куті кадру), використовуються контрольні зірки в цій же області. Для опорних зірок похибки не перевищують $2,0''$ і мають максимум розподілу $0,7''$ - $0,8''$. Максимум розподілу похибок для контрольних зірок зміщений і становить більше $1,0''$, а діапазон значень збільшується до $5''$. Таким чином, для кожного телевізійного знімка похибка вимірювання обчислюється по контрольних зірках поблизу зображення метеора й дає уявлення про точність позиційної прив'язки.

Метеорне зображення, на відміну від зображення зірки, є штрихом певної довжини. Точність вимірювання координат точки на метеорній траєкторії залежить від блиску метеора, дифузності й ширини його зображення. Для вимірювання положення метеорного зображення попередньо потрібно перейти до системи координат, пов'язаної з поздовжньою віссю зображення метеорного штриха (рис. 1а).

Для того щоб визначити положення поздовжньої осі метеорного зображення, у нульовому наближенні задається положення й робоча область вручну. Потім проводиться обчислення інтегрального поперечного скану в заданій робочій області (рис. 1б). Під інтегральним поперечним сканом мається на увазі масив точок метеорного зображення, спроектованих на перпендикулярну до траєкторії вісь. Щоб уточнити положення поздовжньої осі потрібно провести додаткову фотометрію робочої області. Для цього, по інтегральному поперечному скану задається границя області по координаті, що перпендикулярна поздовжній осі. Будемо вважати всі точки в межах робочої області приналежними метеорному зображенню та навколосметеорному фону. Така методика дозволяє виділяти зображення як яскравих, так і найбільш слабких метеорів. Потім, уточнена поздовжня вісь

обчислюється по робочій області, використовуючи методика середньозважених фотометричних центрів, аналогічно формулі (1). Вплив на положення осі фонових значень у робочій області така методика зводить до мінімуму.

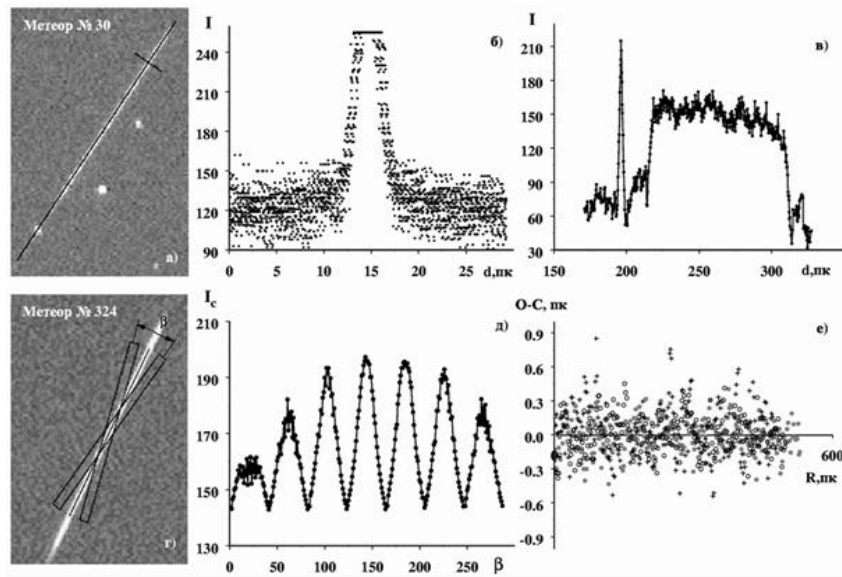


Рис. 1. Методика вимірювань траєкторій метеорних зображень: **а)** ручне проведення поздовжньої осі метеорного зображення й робочій області (перше наближення); **б)** обчислення інтегрального поперечного скану; **в)** обчислення поздовжнього скану. Викид у вигляді піка в лівій частині скану належить зображенню зірки (див. рис. 1а); **г)** процес визначення поздовжньої осі в напівавтоматичному режимі. Перехід у систему координат, пов'язану з поздовжньою віссю; **д)** залежність середнього значення інтенсивності I_c у робочому вікні від кута повороту β робочої області щодо поздовжньої осі та дискретних зсувів даного вікна в напрямку перпендикулярному поздовжній осі. Максимум відповідає шуканій величині кута β , що вказує на положення поздовжньої осі; **е)** відхилення багаторазово обмірюваних точок від осі.

Багаторазові тестові виміри показали, що для використовуваних знімків середньоквадратичне відхилення обмірюваних точок від осі зростає до 0,2 пікселя (рис. 1е) і відповідає точності, з якої визначаються прямокутні координати зоряних зображень. Величина похибки кута нахилу осі метеорного зображення для яскравих довгих метеорів становить $0,5^\circ$, а для слабких, ледь помітних метеорів досягає значення $1,5^\circ$.

Траєкторію метеора на небесній сфері можна представити у вигляді дуги великого кола в системі екваторіальних координат. Обчислимо екваторіальні координати (α_p, δ_p) полюса великого кола метеора по координатах вимірюваних точок метеорного зображення, застосовуючи відомі в метеорній астрономії формули В.В. Каврайського:

$$\operatorname{ctg} \alpha_p = \frac{\operatorname{ctg} \delta_{11} \sin \alpha_{11} - \operatorname{ctg} \delta_{12} \sin \alpha_{12}}{\operatorname{ctg} \delta_{11} \cos \alpha_{11} - \operatorname{ctg} \delta_{12} \cos \alpha_{12}} \quad (2a)$$

$$\operatorname{tg} \delta_p = -\operatorname{ctg} \delta_{11} \cos(\alpha_p - \alpha_{11}) = -\operatorname{ctg} \delta_{12} \cos(\alpha_p - \alpha_{12}) \quad (26)$$

Розрахунок координат (α_p, δ_p) будемо проводити методом найменших квадратів. Точність визначення сферичних координат полюса великого кола метеорної траєкторії σ_p визначається наступним виразом:

$$\sigma_p = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sigma_m}{\sin \gamma}, \quad (3)$$

де γ – кутова довжина метеорного зображення, $\sigma_m = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_t^2}$ – похибка вимірювань координат точок зображення метеорної траєкторії. Похибка вимірювань у нашому випадку визначається, по-перше, точністю вимірювань методом Тернера зоряних зображень σ_T , по-друге, точністю вимірювання зображення метеорної траєкторії σ_t .

По формулах Каврайського обчислюємо координати радіанта метеора, що являє собою точку перетину великих кіл метеора, отриманого із двох базисних пунктів (радіант є полюсом великого кола проведеного через полюси великих кіл метеора, спостережуваного із двох базисних пунктів). Далі, за формулами, які приведені в дисертації, обчислюємо лінійне значення висоти (H_0) метеороїда над земною поверхнею, дальність (D) від пункту спостереження до одночасної метеорної точки, Дальність (d) від пункту спостереження до проєкції одночасної метеорної точки на поверхню Землі.

Під час спостережень використовувався черезрядковий (англ. Interlace) режим роботи відеокамери. Кадр з черезрядковим розгорненням складається із двох телевізійних полів (напівкадрів), зміщених у часі відносно один одного. Модельний ряд відеокамер LCL-902H2 і LCL-902K працюють у режимі 25 кадрів у секунду, тобто кожне з полів формується за 0,02 секунди. За цей час, об'єкт що швидко рухається встигає зміститися настільки, що зсув напівкадрів один відносно одного створює подвійний силует об'єкта – один з непарних, а інший з парних рядків кадру. Це прояв так званого ефекту черезрядкової “гребінки”. На рис. 2а (позначено білою стрілкою) представлено прояв даного ефекту для метеорного зображення. Умовно позначимо дане місце стикування як “точка зупинки” зображення рухливого об'єкта. Точка зупинки має важливу властивість для наших подальших цілей. Дійсно, відносний зсув у часі між точками зупинки двох наступних сусідніх кадрів з високою точністю визначається періодичністю роботи відеокамери (тобто в нашому випадку використовуються ССТV камери з $\Delta t = 0,039$ сек). З іншого боку, зазначені точки однозначно визначаються по координатах, тобто, існує можливість обчислити пройдений шлях (S) метеорного тіла за час Δt між ними в атмосферному просторі, а також середню атмосферну швидкість.

Кожна точка зображення метеора характеризується координатами в системі зображення (X, Y) і яскравістю пікселя (I). Всі точки метеора з координатами (X_j, Y_j) , де $j=1..n$ номер точки в масиві, отриманих у результаті вимірювань метеорних зображень, можна апроксимувати прямою лінією у вигляді $y = kx + b$.

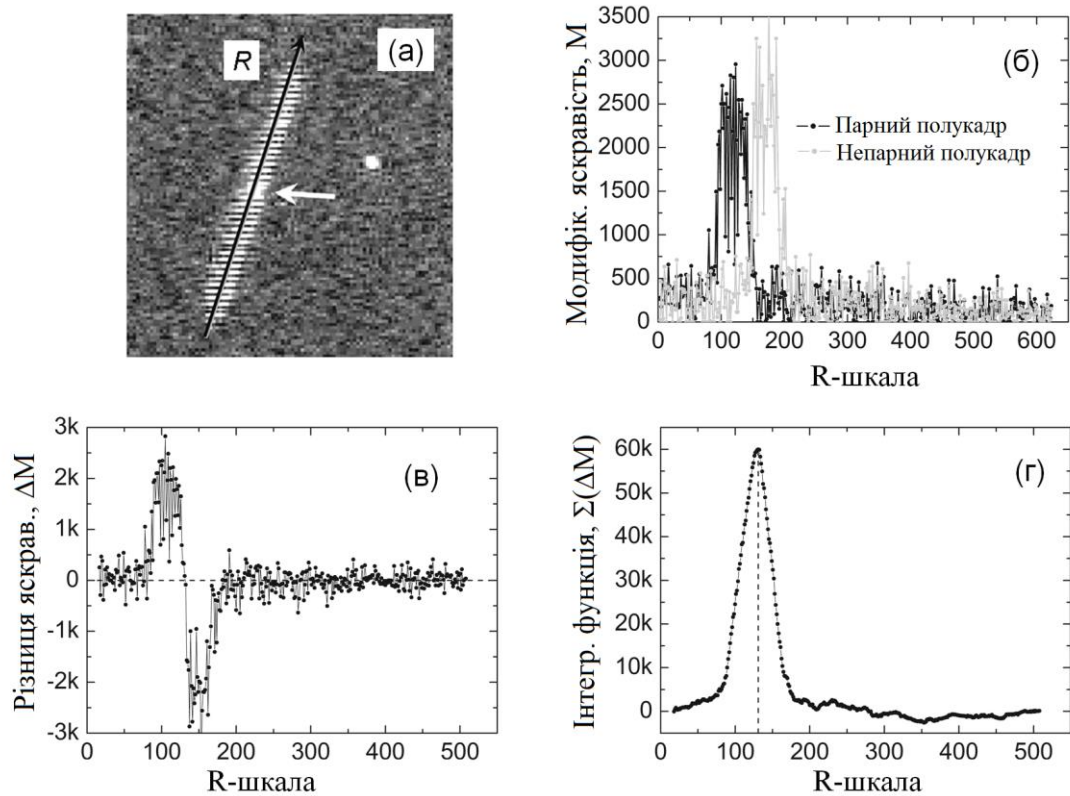


Рис. 2. До методики пошуку координат “точки зупинки” метеороного зображення у черезрядковому розгорненні.

Для зручності створимо нову шкалу (R) уздовж цієї прямої (рис. 2а), у цьому випадку кожна точка метеора буде мати координати: $R_j(X_j, Y_j)$. Початком системи відліку для визначеності будемо вважати першу крайню ліву точку на зображенні метеора:

$$\begin{aligned} X_{\min} &= X_1 \\ Y_{\min} &= Y_1 \end{aligned} \quad (4)$$

Тоді координата кожної точки в новій системі координат буде:

$$R_j = \sqrt{(X_j - X_{\min})^2 + (Y_j - Y_{\min})^2} \quad (5)$$

У результаті попередньої обробки відео з метеором маємо набір кадрів: інтегральне зображення (Int) - результат підсумовування кадрів до появи метеору; комбіноване зображення (Comb) - результат підсумовування кадрів з метеором; вихідний кадр із зображенням метеору; парний і непарний напівкадри (поля) з метеором.

На зображення метеора уздовж прямої лінії накладаються зображення зірок фону або дефекти у вигляді аномально яскравих пікселів. Введемо ваговий коефіцієнт що дозволяє врахувати фотометричний вплив цих об'єктів на зображення метеора. Як правило, зазначені перешкоди постійно присутні кадр від кадру, у той час як метеорне зображення в даному місці присутнє тільки на одному кадрі або яскравість післясвітіння відрізняється від яскравості “тіла” метеора або фону. Таким

чином, ваговий коефіцієнт визначимо як відношення яскравості пікселя на комбінованому зображенні з метеором до яскравості даного пікселя на інтегральному зображенні, тобто $\left(\frac{I_{comb}}{I_{int}}\right)$. Множенням вагового коефіцієнта на яскравість пікселя (I_f) метеорного зображення на досліджуваному кадрі одержимо модифіковану величину яскравості пікселя (M_g), виправлену за зазначений ефект. Таку процедуру проробляємо для кожного пікселя уздовж шкали R (окремо для парних і непарних полів) (рис. 2б):

$$M_{g(R)} = I_{f(R)} \frac{I_{comb(R)}}{I_{int(R)}}, \quad (6)$$

де $g = 01$ або $g = 10$ – вказує на парність поля.

Знайдемо інтегральну функцію ΣM_g уздовж всієї шкали R (окремо для парних і непарних полів):

$$\Sigma M_{g(R)} = \Sigma M_{g(R-1)} + M_{g(R)} \quad (7)$$

Обчислимо різницю інтегральної функції (рис. 2в) парного і непарного полів:

$$\Delta M_{(R)} = \Sigma M_{01(R)} - \Sigma M_{10(R)} \quad (8)$$

Побудуємо інтегральну функцію $\Sigma \Delta M_{(R)}$ цих різниць (рис. 2г). Максимальне значення інтегральної функції із цих різниць має R-координату точки перекриття метеорного зображення парного й непарного полів (тобто координати “точки зупинки”, мова про яку йшла вище). По координаті R відновлюємо прямокутні координати (X_k, Y_k) цієї точки в системі зображення. Методом Тернера для кожної точки (X_k, Y_k) обчислюємо їхні екваторіальні координати (α_k, δ_k) , а по формулах переходу – горизонтальні координати (A_k, h_k) цих точок. Скрізь, індекс $k = 1 \dots K$ вказує на номер кадру із зображенням вимірюваного метеора. Далі, обчислимо лінійні висоти (H_k) , географічні координати (φ_k, λ_k) кожної із точок метеора з координатами (α_k, δ_k) , їхні просторові дальності (D_k) і (d_k) від кореспондуючих спостережних пунктів по описаній в дисертації методиці пошуку зазначених параметрів. Далі, знайдемо пройдений метеором шлях (S) між двома сусідніми точками зупинки у просторі. Остаточо, середня швидкість метеора на даній ділянці атмосферної траєкторії:

$$V = \frac{S}{\Delta t}, \quad (9)$$

де інтервал часу Δt між обчисленими точками для модельного ряду відеокамер LCL-902H2 і LCL-902K дорівнює 0,039 сек.

Надалі, для обчислення геліоцентричних елементів орбіти метеороїда, визначаємо його позаатмосферну швидкість (V_∞) . У наших розрахунках використовується часто застосовувана в метеорній астрономії емпірична залежність пройденого метеороїдом шляху (S) від часу (t) :

$$S = a + bt + ce^{kt}, \quad (10)$$

де a , b , c , k - постійні, $e = 2,718$.

Таким чином, були визначені всі основні кінематичні параметри метеороного тіла при русі його в атмосфері Землі. Далі, обчислюємо геліоцентричну орбіту метеороїда за добре відомими в метеорній астрономії формулами, які приведені в дисертації.

Практика показала: незважаючи на наявність великої кількості відео- і фотофіксацій Челябінського боліду 15 лютого 2013 року, у наукового співтовариства не виявилось добре розроблених експрес-методів для вимірювань і розрахунків кінематичних характеристик болідних тіл за спостереженнями у світлий час доби. Особливістю Челябінського боліду з наступним випаданням метеоритного дощу є його відеореєстрація з різних пунктів розташованих на відстанях у кілька сотень кілометрів від місця явища. Це дозволяє визначити з високою точністю основні кінематичні характеристики руху метеороїда в земній атмосфері. Упевнено визначити траєкторію руху метеороїда можливо при наявності характерних ознак (фази дроблення болідного тіла), видимих з різних пунктів.

Визначимо за допомогою *Googl Earth*⁽¹⁾ азимуту (A_{obj}) напрямку із точки спостереження на об'єкти (наприклад, опорні стовпи електропередач, стовпи з розміщеної на них рекламою, заводські труби та ін.), що потрапили в поле зору відеореєстратора (рис. 3). Важливо вибирати об'єкти прив'язки найбільш віддалені від місця зйомки, щоб зменшити вплив невизначеності в місці розташування відеореєстратора.

На вимірюваному відеокадрі вибираємо систему координат таким чином, щоб її нуль-пункт збігся з одним з кутів зображення (наприклад, у нашому випадку, це верхній лівий кут), вісь абсцис (X) направимо паралельно горизонтальній границі зображення (рис. 3б). У результаті вимірювань одержимо прямокутні координати (X_{obj} , Y_{obj}) об'єктів прив'язки. Побудуємо графік залежності A_{obj} від X_{obj} (приклад такої залежності наведений на рис. 4). Точки на даному графіку апроксимуємо лінійною функцією:

$$A_{obj} = MX_{obj} + b, \quad (11)$$

де b – деякий коефіцієнт.

Складаючи таку апроксимацію для кожного вимірюваного кадру необхідно стежити, щоб кутовий коефіцієнт (M) був з мінімальним розкидом за значеннями. Не важко зрозуміти, що в даній залежності значення M по модулю дорівнює середньому значенню масштабу зображення з розмірністю [кут. градус·піксель⁻¹]. Використовуємо побудовану залежність для переходу від обмірюваної прямокутної координати точки зображення боліда (X_{bol}) на відеокадрі до азимута напрямку (A_{bol}) на неї з місця відеозйомки.

¹ проект компанії Google, <http://www.google.com/earth/index.html>

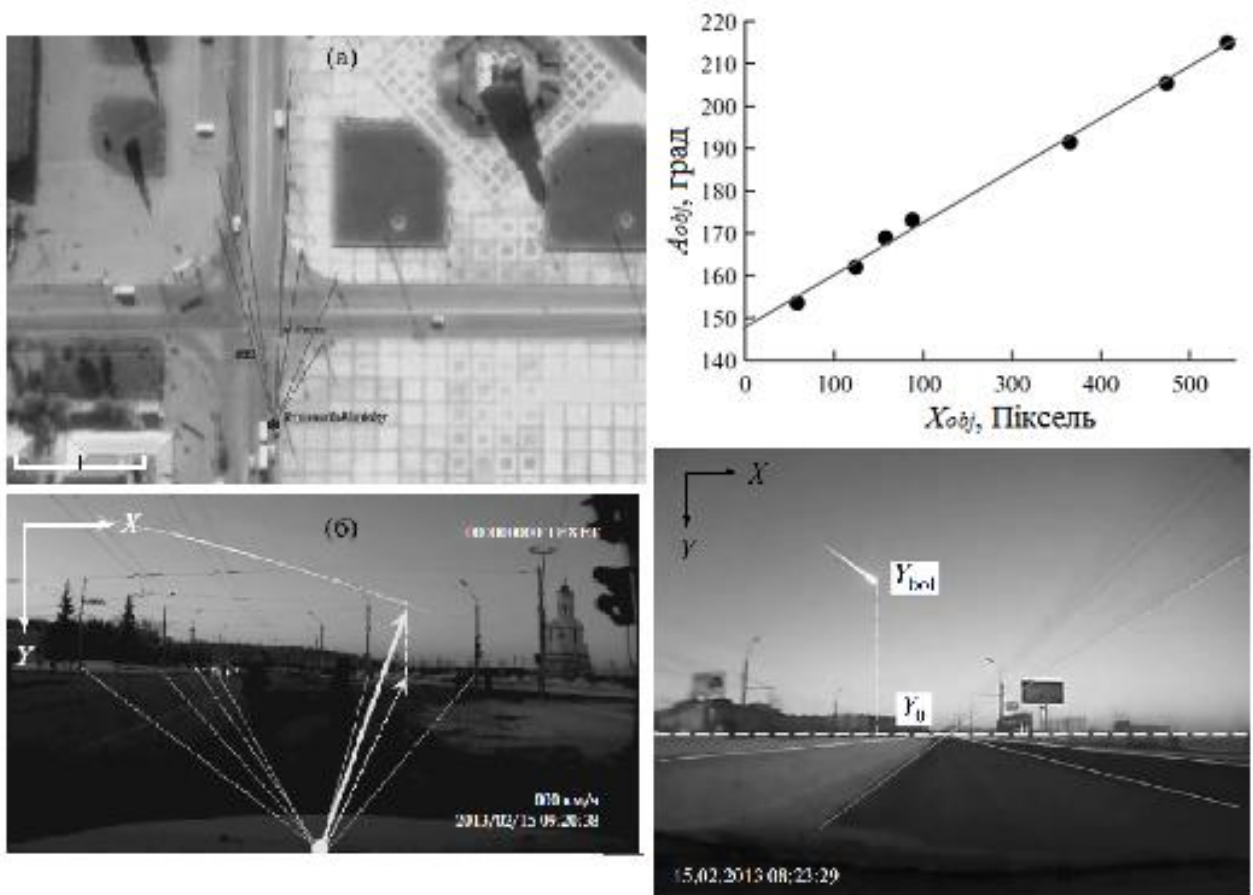


Рис. 3. Схема вимірювання азимутів (A_{obj}) напрямку на опорні об'єкти координатної прив'язки з пункту спостереження за допомогою *Google Earth* – (а) і вимірювання прямокутних координат (X_{obj}) у системі зображення опорних об'єктів – (б). Приклад наведений для випадку вимірювання відеозображення отриманого в Каменськ-Уральському.

Рис. 4. Зв'язок прямокутної координати (X_{obj}) об'єкта, прийнятого за орієнтир з його азимутом (A_{obj}). Для одного з відеокадрів (Каменськ-Уральський).

Рис. 5. Схема до визначення кутової висоти боліда на вимірюваному зображенні.

Проведемо лінії візування на точки траєкторії боліду, одночасно видимі з кожного спостережного пункту. У нашому випадку, найбільш впевнено з різних пунктів ототожнюються точки максимального гальмування наприкінці кожної фази дроблення. Область початку світіння боліда під час входу в атмосферу Землі так само використовувалася для визначення атмосферної траєкторії метеороїда. У цьому випадку, на відео можна визначити кадр із проявом перших ознак світіння боліда. Дана область трохи розмита в просторі й часі через контраст на світлому фоні неба, причому в кожному пункті спостереження фон неба різний.

Визначимо геодезичні координати (λ_{bol} , ϕ_{bol}) проєкцій одночасних точок боліда на поверхню Землі як середньозважені значення координат перетинання напрямків на них з різних пунктів спостережень. Швидко й з гарним наближенням точки перетинання ліній візування можна визначити, скориставшись програмним

забезпеченням *Googl Earth*. Більш строго й з високою точністю це можна зробити методом, описаним у підрозділі 3.3 дисертації.

У денний час доби виникають складнощі у визначенні кутової висоти боліда, тому що відсутні для цих цілей орієнтири по кутовій висоті. Тому, скористаємося наближеним способом. Для визначення кутової висоти над горизонтом будь-якої точки боліда припустимо, що кутовий масштаб (M) як по азимуту, так і по кутовій висоті над горизонтом на зображенні однаковий.

Кутову висоту над горизонтом деякої точки боліда обчислимо по формулі:

$$h_{bol} = M|Y_{bol} - Y_0|, \quad (12)$$

де Y_0 – координата на відеокадрі прийнята за рівень горизонту, Y_{bol} – координата боліда.

Оцінити координату Y_0 можна по точці перспективи паралельно розташованих об'єктів, наприклад, бордюри прямолінійної дороги, по якій рухається автомобіль із відеореєстратором, основи паралельно розташованих будинків або стовпів та ін. (рис. 5).

Далі, проводимо обчислення лінійних висот боліда. Кутова висота радіанта h_R , визначається за допомогою обчислених лінійних висот боліда. Після чого, обчислюється шлях (S_1), пройдений метеороїдом у проекції на земну поверхню з пункту із координатами (λ_{01} , φ_{01}) у пункт із координатами (λ_{02} , φ_{02}), а також шлях (S), пройдений метеороїдом в атмосфері Землі. На рис. 6 представлений графік зміни атмосферної швидкості руху Челябінського метеороїда залежно від геодезичних координат проекції траєкторії по вимірах відеофайлів, отриманих в Каменськ-Уральському та Єкатеринбурзі. Позаатмосферна швидкість Челябінського метеороїда із урахуванням похибок вимірювань становить $V_\infty = 19,29 \pm 0,89$ км·сек⁻¹.

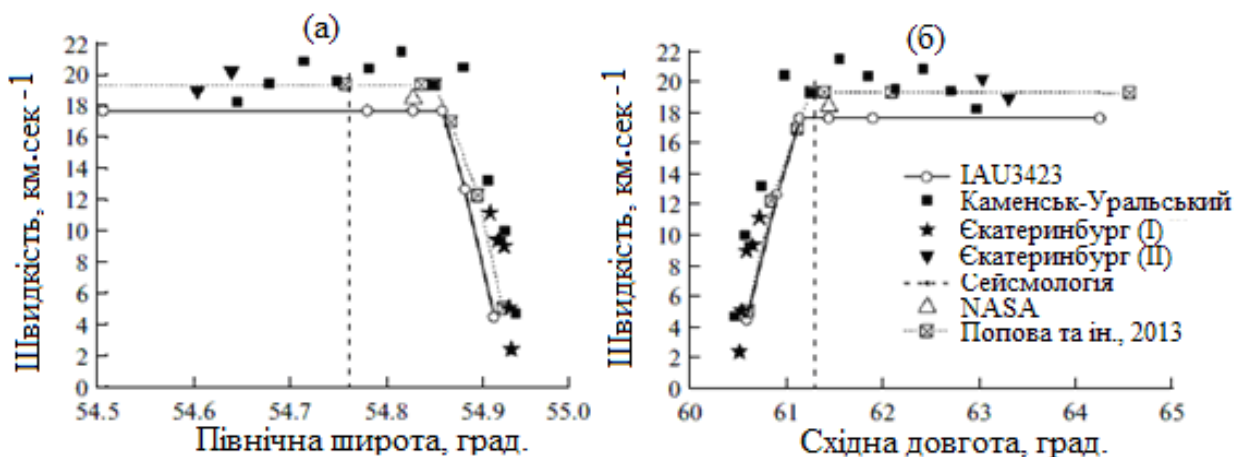


Рис. 6. Значення атмосферної швидкості руху Челябінського метеороїда залежно від геодезичних координат проекції траєкторії. По вимірах відеоспостережень, отриманих в Каменськ-Уральському і Єкатеринбурзі. Для порівняння наведені оцінки швидкості інших авторів [29, 30, 31]. Вертикальною лінією зазначені координати епіцентру сейсмічних хвиль від вибуху метеороїда [32].

Таким чином, були визначені всі основні кінематичні параметри метеорного тіла при русі його в атмосфері Землі. Далі, обчислюємо геліоцентричну орбіту метеороїда за добре відомими в метеорній астрономії формулами. У результаті розрахунків отримано параметри геліоцентричної орбіти Челябінського метеороїда: $a = 1,67 \pm 0,10$ а.о.; $e = 0,57 \pm 0,03$; $i = 7,07^\circ \pm 0,54^\circ$; $\Omega = 326,42^\circ$; $\omega = 106,28^\circ \pm 2,54^\circ$

Розділ 4. Термічна десорбція речовини пилових частинок поблизу Сонця. аналіз даних та їхня інтерпретація. У даному розділі проведений статистичний і кількісний аналіз бази даних спостережень метеорів з метою виявлення ефектів теплового впливу Сонця на фізико-хімічні властивості метеороїдів. Розглядається питання про умови необхідні для виявлення близькосонячних спорадичних метеороїдів під час спостережень метеорів із поверхні Землі.

Одним із класів небесних тіл, які несуть потенційну загрозу в навколосонячному просторі, є т.зв. “дряпаючі Сонце” комети (Sun-grazing comets) або SOHO-комети. При зближенні із Землею небезпечні як самі комети, так і утворені в результаті їх дефрагментації поблизу Сонця пил і великі уламки. Нижче буде показано, що такі метеороїди мають радіанти поблизу сонячної й антисонячної області неба при вльоті в земну атмосферу.

Зі зменшенням значень геліоцентричних відстаней, виділяються області з концентраціями перигеліїв орбіт метеороїдів, що входять до складу потужних потоків і асоціацій. У розподілі по перигелійних відстанях спорадичних метеороїдів аналогічних областей не спостерігається (рис. 7). У діапазоні перигелійних відстаней $0 < q < 0,1$ а.о. (інтервал E, рис. 7) відбувається різке зменшення чисельності поточкових і спорадичних метеороїдів. На діаграмі (рис. 7) точці E відповідає геліоцентрична відстань $\sim 0,08$ а.о., з якого починається зменшення чисельності частинок при наближенні до Сонця. Яким-небудь видом селекції цей факт важко пояснити. Можливо, чисельність метеороїдів у цій зоні визначена фізичними умовами поблизу Сонця. Якісно це підтверджується спостереженнями SOHO-комет. Так, на прикладі 11 близькосонячних комет в [33] показано, що пік пилоутворення комет відбувається на відстанях $\sim 20 - 30 R_\odot$ від Сонця, після чого пилоутворення істотно й різко скорочується. Аналогічний висновок зроблений на підставі фотометричних досліджень 900 кривих блиску комет сімейства Крейца в [34]. Автор наголошує, що максимальний блиск SOHO-комети досягають на відстанях порядку $20 - 30 R_\odot$ від Сонця.

На рис. 8 показана залежність елонгацій радіантів спорадичних метеорних тіл (з елементами в орбітах $q < 0,3$ а.о., $e < 1$) щодо положення Сонця на небесній сфері від значень ΔJD , де ΔJD це різниця між часом (виражений в Юліанських днях) фіксації вльоту в земну атмосферу метеорного тіла ($JD_{\text{спост.}}$) і часом його проходження через перигелій ($JD_{\text{периг.}}$), тобто $\Delta JD = JD_{\text{спост.}} - JD_{\text{периг.}}$. На рисунку видно, що радіанти з елонгаціями від Сонця в інтервалі $\epsilon > 90^\circ$ відповідають положенню метеорних тіл на своїх орбітах до проходження перигелію, а в інтервалі $\epsilon < 90^\circ$ - після проходження перигелію.

По елонгаціям радіантів спорадичних метеорів щодо Сонця (рис. 9) кожна з “до” і “після” перигелійних областей радіантів розпадається на дві групи.

Координати радіанта прямо залежать від значень елементів орбіт частинок, тому розглянемо докладніше орбіти метеороїдів, які складають кожну з груп. Розподіл по нахилам орбіт на рис. 9 упевнено вказує, що:

1. Група радіантів (К, на рис. 9) в інтервалі елонгацій $140^\circ - 165^\circ$ (з максимумом у розподілі $\sim 155^\circ$) містить орбіти з перевагою по нахилам $\sim 10^\circ - 25^\circ$.
2. Група радіантів (L, на рис. 9) в інтервалі елонгацій $120^\circ - 140^\circ$ (з максимумом у розподілі $\sim 135^\circ$) містить орбіти з перевагою по нахилам $\sim 145^\circ$.
3. В інтервалі елонгацій $20^\circ - 60^\circ$ виділяються дві групи радіантів (M і S, на рис. 9). Так, максимум у розподілі для (M, на рис. 9) припадає на елонгацію приблизно 50° , а для (S, на рис. 9) - порядку 30° . Ці групи радіантів містять орбіти з перевагою нахилів приблизно 20° і 140° .

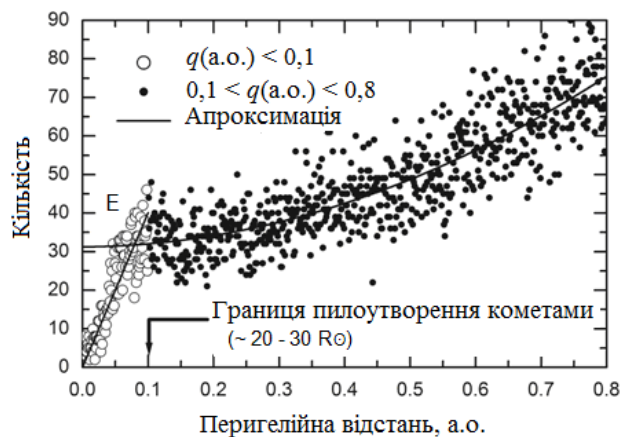


Рис. 7. Розподіл по перигелійних відстанях ($0 < q < 0,8$ а.о.) спорадичних метеорних тіл.

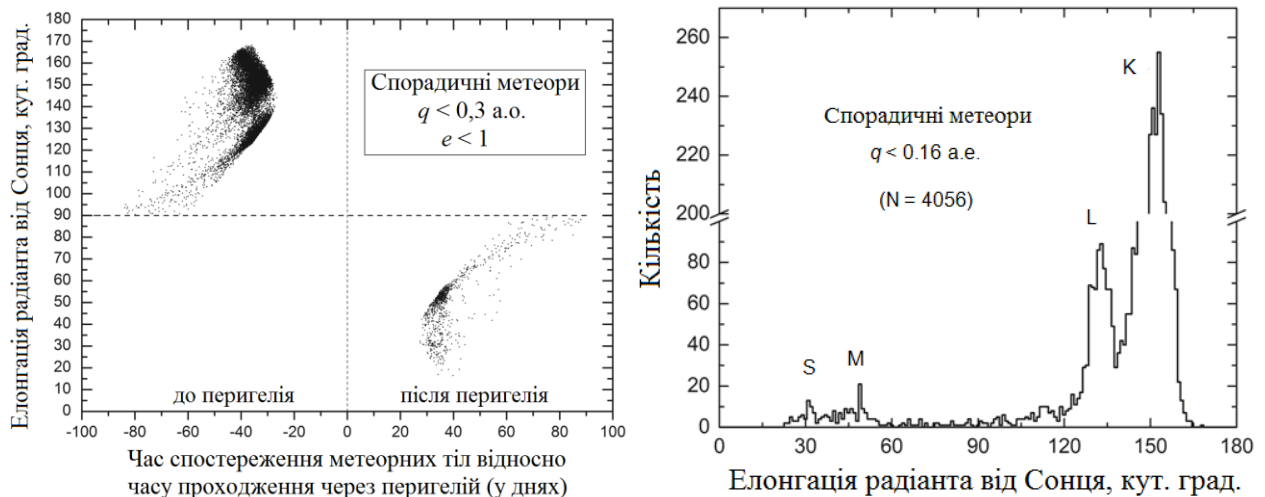


Рис. 8. Залежність елонгацій радіантів спорадичних метеорних тіл ($q < 0,3$ а.о., $e < 1$) щодо положення Сонця на небесній сфері від значень $\Delta JD = JD_{\text{спост.}} - JD_{\text{периг.}}$ (у днях).

Рис. 9. Розподіл по елонгаціям радіантів метеорів ($q < 0,16$ а.о.) щодо положення Сонця на небесній сфері. К, L, M і S – групи радіантів.

Таким чином, кожна із груп радіантів належить кометним сімействам: (K і S , на рис. 9) – сімейству комет Марсдена й Крахта, а (L і M , на рис. 9) сімейству комет Крейца.

Розглянемо питання про зміну мас пилових частинок у процесі випаровування їхньої речовини поблизу Сонця. Виходячи із припущення, що метеороїди можуть втратити деяку кількість речовини в результаті випаровування поблизу Сонця, розділимо метеорні частинки на дві групи: зафіксовані на своїх геліоцентричних орбітах “до” проходження перигелію та “після”. Далі, зробимо порівняння мас частинок цих груп.

У розподілі мас двох груп на гістограмі спостерігається систематичний відносний зсув порядку 0,02 - 0,04 г у бік менших значень для післяперигелійних метеорних частинок. Безумовно, зазначене значення у втраті речовини є оціночною і середньою по розглянутій вибірці метеорних тіл, тому що темпи втрати маси для окремих пилових частинок будуть залежати від хімічного складу, відстаней від Сонця, розмірів, рихлості, альбедних властивостей частинок, і ін.

Для моделювання процесу випаровування метеорних тіл на різних геліоцентричних відстанях було застосовано рівняння по розрахунку швидкості випаровування цих тіл, відповідно до закону Герца-Кнудсена:

$$j = \frac{1}{4} n \bar{u} = \frac{p(T)}{\sqrt{2\pi m_a k T}}, \quad (14)$$

де j – потік атомів, що випарувалися, n та p - концентрація й тиск насиченої пари при температурі T , m_a - маса атома $\bar{u} = (8kT / \pi m_a)^{1/2}$, - середня теплова швидкість частинок які випаровуються.

Узагальнюючи спостережні дані, температуру (T) пилових частинок як функцію геліоцентричної відстані (r) за спостереженнями комет можна виразити у вигляді функції:

$$T = 325 r^{-0,55} \quad (15)$$

Вихідними даними для моделювання процесу випаровування пилових частинок поблизу Сонця є значення елементів орбіт метеорних тіл і їх атмосферні кінематичні параметри, узяті з каталогу метеорних спостережень, а також маси метеорних тіл. У результаті моделювання необхідно з'ясувати:

1. частку речовини, що випарувалася з метеорних частинок під час їхнього руху по геліоцентричних орбітах (залежність від геліоцентричної відстані);
2. відсоток метеорних тіл які “виживають” (тобто повністю не випаровуються) залежно від мас частинок, хімічного складу, геліоцентричних відстаней.

У підсумку буде проведене порівняння результатів моделювання зі спостереженнями.

У процесі моделювання виявилось: частинки що вижили мають орбіти з $q > 0,05$ а.о. Таких частинок, з масами більше $2,9 \cdot 10^{-3}$ г та які побували в близькосонячній “критичній” зоні на геліоцентричних відстанях менше 0,1 а.о., складає порядку 70%. Знайдемо різниці між початковими і кінцевими значеннями їх

мас після зближення з Сонцем. В такому випадку, ми зможемо оцінити: скільки речовини випарувалося в результаті теплового впливу Сонця на метеороїди. Було виявлено, що для залізних частинок на фоні значень дефекту мас $\sim 0,1$ г існує чітко виражений пік $0,01 - 0,02$ г. Це узгоджується з результатами метеорних спостережень, які дають значення в зміщенні розподілів по масам $0,02 - 0,04$ г. Таким чином, ефект зміни мас пилових частинок в результаті термічної дії Сонця підтверджується модельними розрахунками.

У висновках сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

У додатку розміщено кінематичні параметри та геліоцентричні елементи орбіт метеорних частинок, які зафіксовані під час базисних спостережень на станції Крижанівка (Одеса) і острові Зміїний (Одеська обл., Україна) в серпні 2010 і 2011 років.

ВИСНОВКИ

У ході розв'язання основного завдання дисертаційної роботи отримані наступні наукові та практичні результати:

1. Дослідження створеної спостережної апаратури (метеорний патруль) на основі монохромної CCTV-камери фірми Watec: LCL-902K, WAT-902H2 або аналогічних по технічних параметрах камер і застосуванням об'єктивів з фокусною відстанню 140 мм і більше, показали її придатність для спостереження метеорів з високими часовими та позиційними роздільними здатностями. Так, за базисними спостереженнями відтворюваність обчислення геодезичних координат підметеорних точок по довготі ($\Delta\lambda$) і широті ($\Delta\phi$) становить порядку $\pm 1''$ ($20 - 30$ м) і менше. Відтворюваність обчислених лінійних висот метеорів над земною поверхнею в середньому менше 100 метрів. При вдалому розташуванні метеорної траєкторії щодо кореспондуючих пунктів спостережень для зафіксованих оптичними системами загальних ділянок траєкторії метеора лінійні висоти визначаються з відтворюваністю $0,01$ км. Похибка визначення метеорної траєкторії на небесній сфері $10'' - 12''$. Похибка обчислення полюса великого кола метеорної траєкторії $3' - 13'$. Похибка визначення радіанта метеора $0,5^\circ - 1,5^\circ$. Атмосферна швидкість визначається з погрішністю не гірше 3% .

2. Позиційна обробка спостережного матеріалу отриманого під час базисних ($152,7$ км) спільних спостережень у Крижанівці (Одеса) і на острові Зміїний (Одеська обл.) у серпні 2010 і 2011 роках показала: усього за час спостережень зареєстровано 150 метеорів, з яких 10 метеорів є базисними. Для них були визначені кінематичні параметри і елементи геліоцентричних орбіт. Серед базисних метеорів зафіксовані 2 метеороїди з близькосонячної області.

3. У розподілі метеорних частинок по перигелійним відстаням спостерігається різке зменшення чисельності метеорних тіл з $q < 0,08$ а.о., де завершується виробництво мікроскопічного пилу в результаті сублимації кометних ядер при наближенні їх до Сонця. Робиться висновок про існування зони на геліоцентричній відстані $\sim 0,1$ а.о., з якої при наближенні до Сонця починається істотне випаровування речовини метеороїдів.

4. У розподілі по масах метеорних тіл виявлено відносно зменшення значень мас для близькосонячних пилових частинок, які зафіксовані на післяперигелійній частині орбіти. Це пояснюється випаровуванням частини речовини метеороїдів при проходженні перигелійної області.

5. Виявлено нові групи і підгрупи метеорних радіантів, пов'язаних із частинками близькосонячного спорадичного пилового фону. Кожна із груп радіантів належать кометним сімействам: радіанти з елонгаціями від Сонця порядку 30° і 155° - сімействам комет Марсдена і Крахта, а радіанти з елонгаціями від Сонця порядку 50° і 135° - сімейству комет Крейца.

6. Модельні розрахунки, побудовані на кінетичній теорії випаровування (сублімації) речовин у вакуумі, підтверджують висновки про існування близькосонячної зони радіусом 0,1 а.о., усередині якої, метеороїди найбільш піддані руйнуванню. Не виключено, що метеороїди які “вижили” в близькосонячній зоні будуть мати залежність вмісту хімічних елементів (Mg, Na, Fe) у пилових частинках як функції перигелійної відстані (для $q < 0,1$ а.о.) їхніх орбіт. Існує невелика кількість спостережень, які вказують на таку залежність. Порівнюючи спектри метеорів, які викликані частинками зафіксованими на ділянках своїх траєкторій “до” і “після” проходження близькосонячної області, можна оцінити даний ефект. Це питання є перспективою подальших досліджень.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Горбаньов Ю.М., Шестопалов В.О., Сарест Л.О., **Голубаєв О.В.** Телевізійне метеорне патрулювання на о. Зміїний. // Острів Зміїний, 1 том (Абіотичні характеристики), 6 розділ. Монографія. Одеса, “Астропринт”. – 2008.
2. Gorbanev Yu.M., **Golubaev A.V.**, Zhukov V.V., Knyaz'kova E.F., Kimakovskii S.R., Kimakovskaya I.I., Podlesnyak S.V., Sarest L.A., Stogneeveva I.A., Shestopalov V.A. Methods and statistics of TV observations of telescopic meteors. // Sol. Syst. Res. – 2006. – V. 40. – Iss. 5. – P. 412 - 426.
3. Gorbanev Yu.M., **Golubaev A.V.**, Zhukov V.V., Kimakovskaya I.I., Kimakovsky S.R., Knyazkova E.F., Podlesnyak S.V., Sarest L.A., Stogneeveva I.A., Shestopalov V.A. Techniques for positional measurements of telescopic meteor TV images // Sol. Syst. Res. – 2008. – V. 42. – Iss. 1. – P. 35 – 50.
4. **Golubaev A.V.** Main Parameters of Meteoroid Motion during the Fall of the Chelyabinsk Meteorite Shower on February 15, 2013 // Sol. Syst. Res. – 2015. – V. 49. – №. 3. – P. 147 - 158.
5. **Golubaev A.V.** Sungrazing Dust Particles against the Sporadic Meteor Background // Sol. Syst. Res. – 2015. – V. 49. – №. 4. – P. 226 — 236.
6. Thuillot W., Bancelin D., Ivantsov A., Desmars J., Assafin M., Eggl S., Hestroffer D., Rocher P., Carry B., David P., **Golubaev A.V.**, and 64 coauthors. The astrometric Gaia-FUN-SSO observation campaign of 99942 Apophis. // Astronomy & Astrophysics. – 2015. – V. 583. – id. A59. – 12 pp.
7. Gorbanev Yu.M., **Golubaev A.V.** Definition of poles of the large circles of meteoric trajectories. // Odessa Astronomical Publications. – 2009/2010. – V. 22. – P. 4 - 11.

8. Горбанев Ю.М., Князькова Е.Ф., Шульга А.В., Куличенко Н.А., Козак П.Н., Мозговая А.М., **Голубаев А.В.** “Украинская оптическая метеорная сеть” // Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник “Радиотехника”. – 2016. – Вып. 185. – С. 5 - 8.
9. Gorbanev Yu.M., **Golubaev A.V.**, Kimakovsky S.R., Kimakovskaya I.I., Knyaz'kova E.F., Podlesnyak S.V., Sarest L.A., Shestopalov V.A., Stogneeveva I.A., Zhukov V.V. Preliminary results of television telescopic observations of meteors in Odessa //International Scientific Workshop "Research of Artificial and Natural NEOs and Other Solar System Bodies with CCD Ground-based Telescopes" Nikolaev-2004, May 17-20, Nikolaev, Ukraine. – 2004. – P. 41-42.
10. **Голубаев А.В.**, Горбанев Ю.М., Князькова Е.Ф. “Позиционные измерения телевизионных телескопических метеоров” (абстракт на английском языке) // Intern. Conf. CAMMAC-2005, Programme and Book of Abstracts. Vinnytsia, septembr 25 - october 1. – 2005. – P. 30.
11. Gorbanev Yu., **Golubaev A.**, Zhukov V., Knyazkova E., Kimakovsky S., Kimakovskaya I., Podlesnyak S., Sarest L., Stogneeveva I., Shestopalov V. Results of the TV patrol of the telescopic meteors in Odessa // Book of Abstracts. Memorial International Conference "Astronomy and space physics at Kyiv university". Kyiv, May 22-26. – 2005. – P. 35.
12. Gorbanev Yu., **Golubaev A.**, Zhukov V., Kimakovskaya I., Kimakovsky S., Knyazkova E., Podlesnyak S., Sarest L., Stogneeveva I., Shestopalov V. “Some results of the TV meteor patrol in Odessa obtained during 2003-2006” // Abstract Book. International conference. Enlargement of collaboration in ground-based astronomical research in see countries. Studies of the near-earth and small bodies of the solar system. Nikolaev, Ukraine. – 2006. – P. 34.
13. **Голубаев А.В.**, Горбанев Ю.М. Получение радиантов слабых телескопических метеоров по телевизионным наблюдениям. // Международная мемориальная научная конференция "Современные проблемы астрономии", посвященная 100-летию со дня рождения профессора Владимира Платоновича Цесевича. 12-18 августа 2007 г., Одесса, Украина. Сборник абстрактов. – 2007. – С. 12.
14. Горбанев Ю. М., Кимаковский С.Р., Князькова Е.Ф., Шестопапов В.А., **Голубаев А.В.** Методика и программный комплекс для обработки метеорных наблюдений. // Международная мемориальная научная конференция "Современные проблемы астрономии", посвященная 100-летию со дня рождения профессора Владимира Платоновича Цесевича. 12-18 августа 2007 г., Одесса, Украина. Сборник абстрактов. – 2008. – С. 13.
15. **Голубаев А.В.**, Горбанев Ю.М. Радианты слабых телескопических метеоров по телевизионным наблюдениям // Труды Международной астрономической конференции “Околосемная астрономия - 2007”, 3-7 сентября 2007г., п. Терскол, Кабардино-Балкария, Россия. – 2008. – С. 258 - 263.
16. Кимаковский С.Р., Горбанев Ю. М., Князькова Е.Ф., Шестопапов В.А., **Голубаев А.В.** Методика и программное обеспечение для обработки наблюдений метеорного патрулирования // Труды Международной астрономической конференции “Околосемная астрономия - 2007”, 3-7 сентября 2007г., п. Терскол, Кабардино-Балкария, Россия. – 2008. – С. 247 - 251.

17. **Голубаев А.В.** Основные характеристики движения метеороида при выпадении Челябинского метеоритного дождя 15 февраля 2013 года // Материалы международной конференции "Околосолнечная астрономия-2013", Туапсе, 7 - 11 октября 2013 г.. Сборник тезисов. – 2013. – Р. 48 - 49.
18. **Голубаев А.В.** Короткоперигелийные ($q < 0,1$ а.е.) спорадические метеоры // Материалы международной конференции "Околосолнечная астрономия-2013", Туапсе, 7 - 11 октября 2013 г.. Сборник тезисов. – 2013. – Р. 113 - 114.
19. **Голубаев А.В.** "Основные характеристики движения метеороида при выпадении Челябинского метеоритного дождя 15 февраля 2013 года" // "Астероиды и кометы. Челябинское событие и изучение падения метеорита в озеро Чебаркуль": материалы международной научно-практической конференции (Чебаркуль, 21 - 22 июня 2013 г.) / Администрация Чебаркульского городского округа; Институт астрономии РАН; науч. ред.: В.А. Алексеев, А.В. Орлов, С.Г. Захаров, Е.В. Сюткина - Челябинск: "Край Ра". – 2013. – 168 с.
20. Krugly Y., Molotov I., Inasaridze R., Kvaratskhelia O., Aivazyan V., Romyantsev V., Belskaya I., **Golubaev A.**, Sergeev A., Shevchenko V., Slyusarev I., Burkhonov O., Ehgamberdiev S., Elenin L., Voropaev V., Koupianov V., Gaftonyuk N., Baransky A., Irmambetova T., Litvinenko E., Aliev A., Namkhai T. Results of near-Earth-asteroid photometry in the frame of the ASPIN programme. – Asteroids, Comets, Meteors 2014. Proceedings of the conference held 30 June - 4 July, 2014 in Helsinki, Finland. Edited by K. Muinonen et al. – 2014. – P. 317.
21. **Alexander Golubaev**, Ivan Brukhanov, Anastasia Tabolich, Valentin Tabolich, Anastasia Kulakovskaya, Dmitry Akulich; Ivan Sergey "Observing of Leonids, Draconids, Alpha Monocerotids, Epsilon-Perseid meteor showers. Investigating of technical possibilities of All-Sky camera on the example of searching for meteors of C/2012 (ISON) comet." // Book of Abstracts, 33rd International Meteor Conference, Giron. – 2014.
22. **Golubaev A.**, Brukhanov I., Tabolich T., Tabolich A., Kulakovskaya and Sergey I. "Preliminary results of observations in January, 2014 of a meteor shower of comet C/2012 S1 (ISON)" // Karri Muinonen, Antti Penttilä, Mikael Granvik, Anne Virkki, Grigori Fedorets, Olli Wilkman, and Tomas Kohout (eds.). Asteroids, Comets, Meteors // Book of Abstracts, Helsinki, Finland, University of Helsinki. – 2014. – P. 200.
23. **Голубаев А.В.** Вычисление основных кинематических характеристик метеоров по наблюдениям на сверхдлинных базах // "Околосолнечная астрономия - 2015". Труды международной конференции. 31 августа – 5 сентября 2015 г. П. Терскол – М.: Янус-К, 2015 – 324 с.
24. **Golubaev A.V.** "A technique for calculating the basic kinematic parameters of meteors based on the super-long station observations (~152 km)" // 5-th Gamow International Conference in Odessa "Astrophysics and Cosmology after Gamow: progress and perspectives", 16-23 August, 2015, Odessa, Ukraine. – 2015. – P. 66.
25. **Голубаев А.В.** "Физические и кинематические свойства спорадических пылевых частиц из околосолнечной области" // Труды международной

- конференції “V Бредихинські читання”, 12 – 16 мая 2014, г. Заволжск, Росія. Изд. второе. – М.: Янус-К. – 2016. – С. 212 – 230.
26. Горбанёв Ю.М., Шульга А.В., Козак П.Н., **Голубаєв А.В.** “Українська метеорна оптична мережа” // Міжнародний науковий семінар пам’яті Б.Л. Кашеєва “Радіометеори, метеори і міжпланетна складова: вблизи і на відстані” 15 березня 2016 року Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ), Харків, Україна. // Збірник абстрактів. – 2016. – С. 38.
27. **Голубаєв А.В.** “Фізичні властивості пилевих частинок, що наближаються до Сонця на геліоцентричні відстані менше 0,1 а.е.” // Міжнародний науковий семінар пам’яті Б.Л. Кашеєва “Радіометеори, метеори і міжпланетна складова: вблизи і на відстані” 15 березня 2016 року Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ), Харків, Україна. – Збірник абстрактів. – 2016. – С. 28.
28. **Golubaev A.V.** “The thermal desorption of the dust particles substance near the Sun” // The International Conference: “Actual Questions of Ground-based Observational Astronomy”, September 26-29, 2016, Abstract Book. Mykolaiv. – 2016. – P. 10 – 11.

СПИСОК ЦИТОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

29. Borovicka, J., Spurny, P., Shrubny L. Trajectory and orbit of the chelyabinsk superbolide. // Electronic Telegram Central Bureau for Astronomical Telegrams, IAU. – 2013. – № 3423.
30. JPL March 1, 2013, Additional Details on the Large Fireball Event over Russia on Feb. 15, 2013, <http://neo.jpl.nasa.gov/news/>
31. Popova Olga P., et. al. Chelyabinsk Airburst, Damage Assessment, Meteorite Recovery and Characterization. // Science (Supplementary Materials). – 2013. – V. 342. DOI: 10.1126/science.1242642
32. Seismology, Feb. 15, 2013, http://pts.mi-perm.ru/region/korkino_meteor.htm
33. Sekanina Z. Solar And Heliospheric Observatory sungrazing Comets With Prominent Tails: Evidence On Dust-Production Peculiarities. // Astroph. J. – 2000. – V. 545. – №. 1. – P. L69 - L72.
34. Knight M.M. Studies of SOHO comets. // Proquest Dissertations And Theses. (Ph.D. dissertation). United States, Maryland: University of Maryland, College Park. – 2008. – Section 0117. – Part. 0606. – pp. 202.

АНОТАЦІЯ

Голубаєв О.В. Кінематичні та фізичні характеристики метеорних тіл з радіантами поблизу Сонця за даними наземних телівізійних спостережень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження. – Національний авіаційний університет, Київ, 2017.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню сукупності наукових проблем метеорної астрономії, пов'язаних з удосконаленням методів спостережень, обробки спостережного матеріалу і аналізу отриманих результатів для вивчення кінематичних і фізичних властивостей метеороїдів, які при зіткненні із Землею мають на небесній сфері радіанти поблизу Сонця.

Основний результат роботи полягає в тому, що розроблено методику та створено відповідне програмне забезпечення для розрахунку основних кінематичних параметрів метеорів за спостереженнями з двох віддалених пунктів. В якості спеціального випадку – спостереження болідів в денний час доби, створена і апробована методика для обчислення кінематичних параметрів таких тіл. Метод застосований для обчислення кінематичних параметрів Челябінського боліда 15 лютого 2013 року. Створено базу даних відеоспостережень метеорів в Одесі (починаючи з 2003 р.). Каталог містить більше 11000 відеофайлів телескопічних (до $+10^m$) метеорів. У розподілі метеорних частинок за перигелійними відстанями спостерігається різке зменшення чисельності метеорних тіл з $q < 0.08$ а.о., де завершується утворення мікроскопічного пилу в результаті сублімації кометних ядер при наближенні їх до Сонця. У розподілі за масами метеорних тіл виявлено відносно зменшення значень мас для близькосонячних пилових частинок, які зафіксовані на післяперигелійній частині орбіти. Робиться висновок про існування зони на геліоцентричній відстані ~ 0.1 а.о., з якої при наближенні до Сонця починається істотне випаровування речовини метеороїдів. Виявлено нові групи і підгрупи метеорних радіантів, пов'язаних з частинками навколосонячного спорадичного пилового фону. Кожна з груп радіантів належать кометним сімействам: радіанти з елонгацією від Сонця на небесній сфері близько 30° і 155° - сімейству комет Марседена і Крахта, а радіанти з елонгацією від Сонця на небесній сфері близько 50° і 135° - сімейству комет Крейца.

Практична цінність полягає в тому, що представлена в роботі методика спостережень і обробки спостережного матеріалу може бути застосована для будь-якого класу метеорних патрулів: рухливих, автоматичних і стаціонарних (нерухомих), оснащених об'єктивами будь-яких типів і характеристиками (від короткофокусних об'єктивів до телескопічних оптичних систем). Одеська база даних безперервних телескопічних відеоспостережень метеорів, яка створена у НДІ "Астрономічна обсерваторія" ОНУ імені І.І. Мечникова (більше 11000 відеофайлів за 2003 – 2017 рр. з метеорами до $+10^m$) є в даний момент унікальною та становить інтерес для дослідження метеорів, які раніше були недоступні в оптичному діапазоні. Викладені в роботі результати досліджень доповнюють фундаментальні знання про термічний вплив Сонця на фізико-хімічні властивості тіл Сонячної системи. Ефект термічної десорбції речовини метеороїдів в навколосонячному просторі необхідно враховувати при вивченні еволюції їх кінематичних і фізико-хімічних параметрів.

Ключові слова: метеор, метеороїд, метеорна орбіта, термічна десорбція, сублімація, комета.

ABSTRACT

Golubaev A.V. Kinematic and physical characteristics of meteoroids with radiants near the Sun according to terrestrial television observations. - Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of physical and mathematical sciences, specialty 05.07.12 - Remote Aerospace Researches. - National Aviation University, Kyiv, 2017.

The thesis is devoted to solving a complex of scientific problems of meteor astronomy which related with the improvement of observation methods, observation material processing and analysis of the results for studying kinematics and physical properties of meteoroids which have radiants on the celestial sphere near the Sun during the collision with the Earth.

The main result is the method improving and created appropriate software for calculating basic kinematic parameters of meteors with observations from two distant points. The method was created and was tested for computing basic kinematic parameters for a special case - bolides phenomena observation during the day. The method was used for calculating basic kinematic parameters of Chelyabinsk bolide phenomenon on February 15, 2013. A database of meteors video observations in Odessa was created (since 2003). It contains more than 11000 videos of meteor phenomena. The distribution of meteor particles with perihelion distances shows a sharp decrease of the meteoroid number at $q < 0.08$ AU, where the formation of microscopic dust completes due to sublimation of cometary nuclei at the approach to the Sun. The meteoroid distribution of masses was found a relative decrease of weight for dust particles near Sun on after perihelion part of their orbit. It is concluded that there is a region at the heliocentric distance at ~ 0.1 AU, where a significant evaporation substance of meteoroids begins with the approaching to the Sun. It was found new groups and subgroups of meteor radiants which associated with sporadic dust particles of the near Sun sporadic background. Detected new groups and subgroups of meteor radiants were associated with sporadic dust particles of around Sun background. Each group of radiants belongs to comet families: radiants with elongation about 30° and 155° from the Sun belong to Marsden and Kraht comet families and radiants with elongation about 50° and 135° from the Sun belong to Kreutz family of comets.

The practical value of this work is that the observation and processing method represented in this work can be applied for any class of meteor patrols: mobile, automatic and permanent (fixed) equipped with lenses of all types and characteristics (from short focal lenses to telescopic optical systems). The research results outlined in this work complement the basic knowledge of the solar thermal impact on the physical and chemical properties of the Solar system bodies. It is necessary to consider the effect of thermal desorption of meteoroid matter near the Sun during studying of the evolution of their kinematic and physical and chemical parameters.

Keywords: meteor, meteoroid, meteor orbits, thermal desorption, sublimation, Sun-grazing comets