



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 12 • № 1 • 2016 С. 7–13

УДК 523.68+520.373

Аномальні фотометричні прояви в слабких метеорах за телевізійними спостереженнями в Києві

П.М. Козак

Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Проводиться аналіз широкого ряду результатів сучасних телевізійних метеорних спостережень на предмет наявності в них метеорів з вираженими аномаліями в кінематичних та фотометричних характеристиках. Паралельно представлені результати спостережень Київської метеорної групи, отримані за допомогою спостережних установок, оснащених надчутливими телевізійними передавальними трубками типу суперізокон, які мають ряд яскраво виражених аномалій у розвитку метеора. Проводиться порівняльний якісний аналіз спостережних даних, які містять аномальні прояви в фотометричних параметрах метеора, зокрема в їх кривих блиску, та робляться висновки щодо фізичної реалістичності чи технічних артефактів виділених аномалій.

АНОМАЛЬНЫЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В СЛАБЫХ МЕТЕОРАХ ПО ТЕЛЕВИЗИОННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ В КИЕВЕ, Козак П.Н. — Проводится анализ широкого ряда результатов современных телевизионных метеорных наблюдений на предмет наличия в них метеоров с ярко выраженными аномалиями в кинематических и фотометрических характеристиках. Паралельно представлены результаты наблюдений Киевской метеорной группы, полученные при помощи наблюдательных установок, оснащенных сверхчувствительными телевизионными передающими трубками типа суперизоконов, которые имеют ряд ярко выраженных аномалий в развитии метеора. Проводится сравнительный качественный анализ наблюдательных данных, которые содержат аномальные проявления в фотометрических параметрах метеора, в частности в их кривых блеска, и делаются выводы касательно физической реалистичности или технических артефактов выделенных аномалий.

ANOMALOUS PHOTOMETRICAL DISPLAYS IN FAINT METEORS FROM TV OBSERVATIONS IN KYIV, by Kozak P.M. — Analysis of a large range of results of modern TV meteor observations for searching presence their of the meteors with highly displayed anomalies in kinematic and photometrical characteristics has been carried out. In parallel, the results of Kyiv meteor group observations obtained with the help of observational systems equipped by high sensitive transmitting TV tubes of superisocon type, which have a range of highly displayed anomalies in a meteor development are presented. Comparative qualitative analysis of the observational data containing anomalous displays in meteor photometrical parameters, in part in their light curves is carried out, and the conclusions about physical reality of technical artifacts of the selected anomalies are done.

Ключевые слова: аномальные метеоры; фотометрия метеоров; телевизионные наблюдения метеоров.

Key words: anomalous meteors; meteor photometry; meteor TV observations.

1. ВСТУП

Переважна більшість метеорів, як поточних, так і спорадичних, достатньо вивчена. Було проведено багато оптичних спостережень та створено ряд метеорних каталогів [21–23, 30, 14]. Радіолокаційні спостереження проводяться регулярно в автоматичному режимі; накопичена величезна база даних — мільйони орбіт індивідуальних метеорів [5, 8]. Розроблена теорія взаємодії метеороїда з атмосферою, що описує процес гальмування, нагрівання та випаровування (абляції) метеорної частинки, і яка на сьогодні вважається класичною [36–37, 4, 24, 1, 9]. Результати визначення орбіт метеороїдів загалом добре узгоджуються з розподілами кометної та частково астероїдної складової Сонячної системи, що дало можливість встановити походження багатьох метеорних потоків [12–13, 34–35]. Однак існує ряд як оптичних, так і радіолокаційних спостережень метеорів, поведінка яких виходить за рамки звичайної поведінки метеорів та не може бути пояснена в рамках класичної фізичної теорії метеора. Такі метеори часто називають аномальними.

2. АНОМАЛЬНІ МЕТЕОРИ ТА ЇХ ТИПИ

Аномальна поведінка метеорів реєструється як в області кінематичних характеристик метеора — швидкостей, радіантів, елементів орбіт, — так і фотометричних параметрів, тісно пов'язаних з фізикою метеора.

До метеорів з аномальними кінематичними параметрами відносяться, в першу чергу, метеори з гіперболічною швидкістю (див., наприклад, [15, 6]). Загально прийнято вважати, що більшість метеороїдів з гіперболічними швидкостями належить Сонячній системі, а значення швидкостей більше ~ 72 км/с

Козак Павло Миколайович; ✉ kpm_ao@ukr.net

викликані похибками їх обчислення. Однак недавній аналіз результатів радіолокаційних спостережень [31, 6] показав, що суттєва їх частина має швидкості більше 100 км/с, що дає змогу говорити про їх можливе міжзоряне походження. Деякі інші спостереження вказують на можливу кластерну структуру метеорних потоків, що могло б бути пов'язане з викидами речовини з кометного ядра за дуже короткий проміжок часу до зустрічі з Землею [33], однак такі спостереження одиничні. Серед аномалій, пов'язаних з рухом метеора в атмосфері, найперше слід відмітити надвеликі висоти появи метеорів. Деякі спостереження показують висоту більше 130–140 км [11, 19, 10, 16, 17, 2–3]. Існують також непідтверджені іншими авторами спостережні дані про висоти появи яскравих метеорів потоку Леоніди на висотах біля 200 км [26]. Класична фізична теорія метеорів не може пояснити їх світіння на великих висотах через малу густину повітря [27].

Аномалії у фотометричних характеристиках проявляються, як правило, на початковій стадії метеора, хоча можуть траплятися на будь-якій ділянці шляху, як наприклад, кінцеві спалахи. Останнім часом з'явилися результати телевізійних спостережень метеорів з дифузною та хмароподібною структурою [20, 27, 18]. Були представлені результати спостережень, де, за думкою авторів, у метеорів присутні кілька-кілометрові поперечні джети [20, 27, 32]. Також були опубліковані знімки яскравого метеора, отримані з високою часовою роздільною здатністю, де автори декларують світіння, що могло б бути наслідком поширення безпосередньо ударної хвилі [28]. Не мають пояснення поки що криві блиску з глибокою депресією на середині траєкторії [25, 19].

3. АНОМАЛЬНІ МЕТЕОРИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В КИЄВІ

Протягом багаторічних двохсторонніх спостережень метеорів, що проводились в Астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка, використовувались надчутливі телевізійні системи, оснащені передавальними трубками типу суперізокон [17–18]. Не дивлячись на геометричні та фотометричні дисторсії, даний тип трубок є одним з найбільш чутливих у світі. Реєстрація метеорів відбувалася на аналогові носії (відеокасети), а потім переводилася в цифрову форму та опрацьовувалася [18]. Деякі результати обробки та аналізу частково опубліковані [19, 17, 2–3], деякі лише оцифровані, а частина поки що знаходиться на аналогових носіях. При перегляді та аналізі відеоінформації за різні роки були знайдені практично усі типи аномальних метеорів, описані вище, та деякі нові. Результати переважно не публікувались, оскільки не було фізичної інтерпретації отриманих явищ, а також були сумнівні щодо їх достовірності через великі дисторсії телевізійної системи. Виняток склали великі висоти появи та гіперболічні швидкості, які увійшли до каталогів метеорних параметрів [19, 17, 2–3]. Крім того, було коротко згадано про дифузну структуру одного з метеорів потоку Леонід [18]. У світлі останніх публікацій зарубіжних авторів виникає необхідність повторного аналізу аномальних метеорів, зареєстрованих телевізійними системами типу суперізокон, встановлення їх достовірності та проведення спочатку якісного, а потім кількісного аналізу отриманих фізичних даних. В даній роботі розглядаються фотометричні аномалії в кривих блиску метеора.

3.1. Метеори з дифузною (хмароподібною) структурою

Про реєстрацію метеорних зображень, схожих на дифузну кометну кому, на великих висотах вперше заявили чеські дослідники [26] після спостережень шторму метеорного потоку Леонід у 1998 р., отриманих під час експедиції до Китаю. На думку авторів, було зареєстровано сім досить яскравих метеорів, які з'явилися на аномально великих висотах 148–195 км та мали на початковій частині траєкторії хмароподібну структуру розміром порядку 1 км. На висоті нижче 130 км метеор переходив у стандартну фазу. Автори роблять припущення, що світіння за надвеликих висотах обумовлене розпиленням лобової поверхні метеорного тіла і не пов'язане з нагріванням та класичною абляцією — для цих процесів на таких висотах не вистачає густини атмосфери. Ширину порядку 1 км автори не пояснюють, однак зазначають, що було помітно перпендикулярні до руху тіла джети, речовина в яких рухалася зі швидкістю біля 100 км/с.

Хмароподібна дифузна структура метеора на початковій частині траєкторії була виявлена при обробці та аналізі результатів спостережень метеорного шторму Леоніди 2002 року в Києві за допомогою спостережних систем типу суперізокон. З 28 метеорів близько половини має в 1–2 перших кадрах дифузну структуру — рис. 1.

Однак висоти появи таких не дуже яскравих метеорів склали порядку 125–130 км (лише у трьох метеорів були зареєстровані аномальні висоти появи 135–150 км), тобто це були класичні висоти появи. Розмір дифузної хмари на початку траєкторії складав 0,7–1,5 км. Тобто дифузна структура метеорів потоку Леонід була помічена для відносно слабких $+1^m \dots +4^m$ метеорів на класичних висотах появи, з розміром такого ж порядку. Власне, навіть для болідів розміри світної хмари в 1 км викликають певний сумнів, тим більше для слабких метеорів. Можна було б припустити вліт в атмосферу групи маленьких частинок, розташованих на відстані порядку 1 км, тоді в кадрі їхні зображення точкового джерела додалися б і, можливо, утворили хмароподібну картинку. Однак в такому випадку завжди доведеться

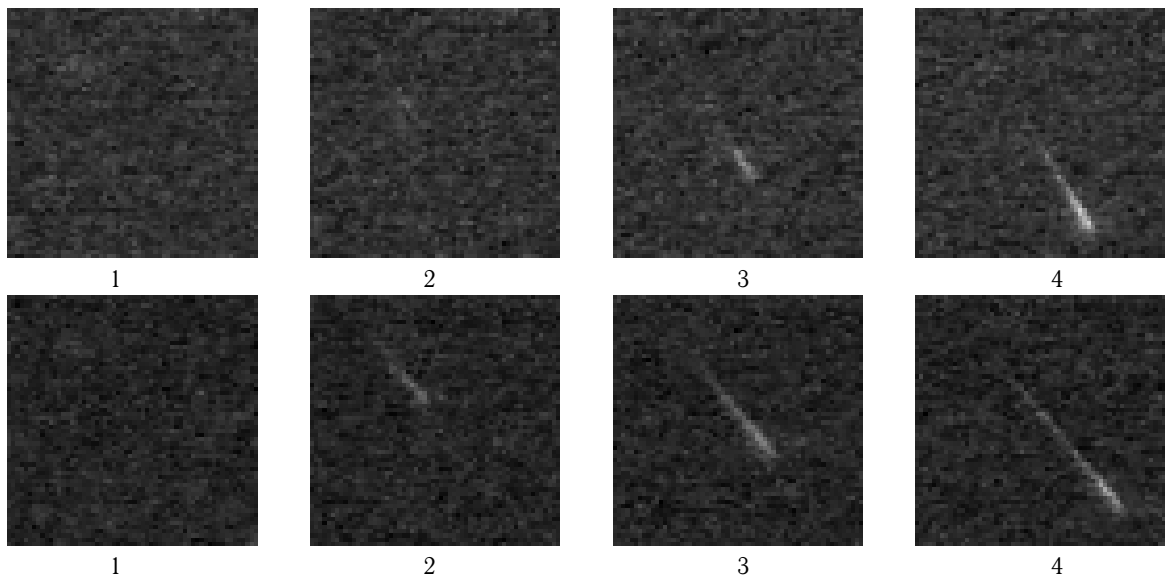


Рис. 1. Перші чотири кадри метеорів № 8 (вгорі) та № 11 (внизу) потоку Леоніди 2002 [17]. В першому кадрі в обох випадках видно хмароподібну структуру метеорної коми

припускати наявність якоїсь центральної масивнішої частинки, яка завжди залишається, коли інші згорають, і продовжує рухатись далі, утворюючи класичний метеор, що є, очевидно, дещо притягнутим. Оскільки фізична інтерпретація на даний момент відсутня, важливо розглянути можливість виникнення артефактів, що продукуються роботою спостережної системи. Формально, для телевізійної системи суперізокон такі артефакти, а саме розширення видимої ширини об'єкта, можуть існувати за рахунок вторинних електронів перерозподілу на мішені передавальної трубки. Однак такі ефекти повинні тоді чітко проявлятися до усіх зображень, включаючи зорі, чого явно не спостерігається. Також виникає питання, чому такі ефекти з'явилися лише для швидких зображень Леонід, а не для усіх метеорних потоків. Якщо ж вважати, що даний артефакт пов'язаний із швидкістю руху зображення по приймачеві, залишається питання, чому він не присутній в усіх метеорах з потоку Леонід, а лише у частини. Тобто зробити висновок про достовірність цього явища як реального фізичного або як артефакту апаратури на даний момент неможливо.

3.2. Метеори з поперечними джетами

Як уже відмічалось в згаданій вище роботі [26], автори також роблять висновок про кілометрові поперечні джети в структурі зображення метеора. Аналогічні речі для спостережень Леонід описуються в роботі [20], де довжина джетів, на думку авторів, сягає 0,6–2 км (рис. 2,а).

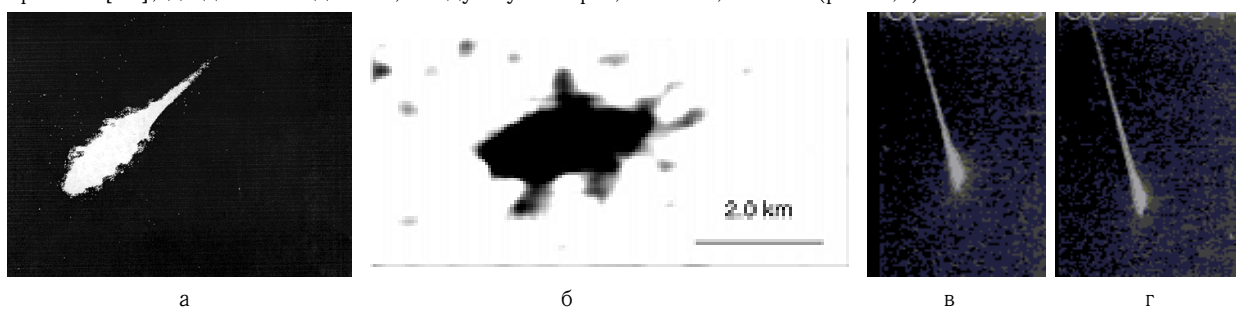


Рис. 2. Поперечні джети в метеорі з [20] — а і б, та Київські знімки метеора потоку Леоніди [17] — в і г, які можуть бути інтерпретовані як дроблення метеорного тіла на дві частини

Телевізійна система суперізокон, яка використовується для спостережень в Києві, має багато артефактів, пов'язаних з флуктуаціями фону та геометричними дисторсіями, тому схожі прояви ніяк не можуть вважатися нами реальними фізичними об'єктами. Більш того, методика обробки, описана в [20] не дає підстав вважати такі “джети” реальними об'єктами. Інше питання — дроблення метеорного тіла під час польоту, зареєстрованого одночасно короткофокусною та довгофокусною камерами [29]. Якщо просторової роздільної здатності не вистачає, будуть спостерігатися лише коливання у кривій блиску метеора; якщо вистачає, так як з довгофокусною камерою в [29], — безпосередньо видно окремі тіла. Можна припустити, що кадри, отримані в Києві камерами суперізокон (рис. 2,в, 2,д), є проміжним варіантом, де тіло розділилося на дві майже однакові частини (або на більшу кількість), оскільки видно просторове рознесення зображення, але роздільної здатності все ще не вистачає, щоб побачити їх окремо.

3.3. Метеори з мультимодальною кривою блиску

У роботі [25] приводяться результати обробки бімодальної кривої блиску метеора, зареєстровано-го телевізійним методом. Пропонується фізичне пояснення такого явища, як склад метеора у вигляді “пилової кулі”, причому зерна твердої речовини, вкраплені в “клей”, різні по розміру для внутрішньої і зовнішньої частин метеороїда. Відмічається, що другий пік у кривій блиску даного метеора є майже лінійним (в шкалі зоряних величин) і типовим для бімодальних кривих блиску — раніше авторами було опрацьовано 21 такий метеор.

Під час спостережень Київською групою метеорного потоку Персеїди у 1991–1993 роках [19] було зареєстровано два метеори з мультимодальними кривими блиску. Один з них мав лише незначні коливання блиску і міг би бути легко описаний дробленням тіла, аналогічно до [29]. Інший мав криву блиску з яскраво вираженою бімодальною кривою блиску — див. рис. 3.

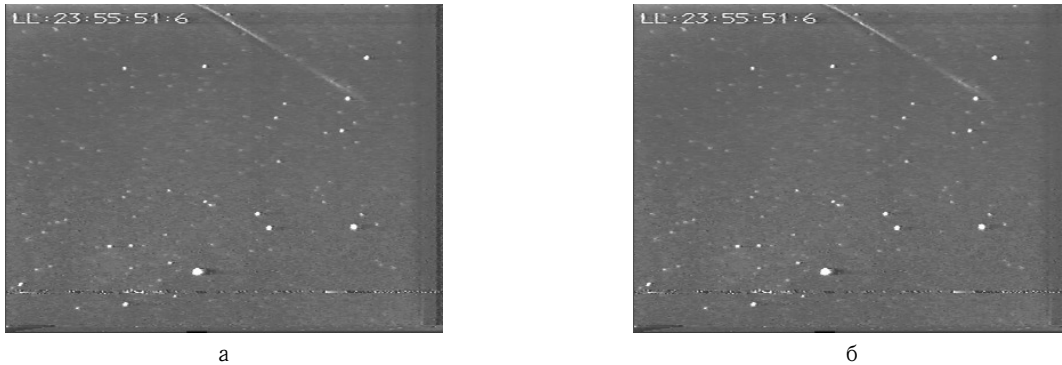


Рис. 3. Метеор з потоку Персеїд 1993, отриманий під час базисних спостережень в Києві за допомогою камер суперізокон, з яскраво вираженою бімодальною кривою блиску: *a* — кадр отриманий на спостережній станції Лісники, *б* — на станції Пилиповичі.

Для опису фізичного механізму утворення такої кривої блиску можна додати, крім описаних в [25], наступні варіанти, які могли б якісно пояснити форму кривої бімодальної кривої блиску. Один з таких варіантів — обертання тіла несиметричної форми, коли спочатку випаровується одна його фронтальна сторона, а далі іде розворот тіла холодним боком вперед. Інший варіант також подібний попередньому і пов'язаний з неправильною формою тіла з тією лише різницею, що фронтальна частина повністю екранує задню частину, а після вигорання починається нагрів задньої складової тіла, без розвороту. Ще варіант — кам'яна або залізна частинка покрита шаром брудного льоду, який спочатку вигорає, створюючи перший пік кривої, і відкриває при цьому внутрішній шар зі значно вищою температурою плавлення — другий пік кривої блиску. Очевидно, що другий варіант легко перевірявся б спектральними спостереженнями.

3.4. Метеори з “видимою” ударною хвилею

При випробовуванні нової камери з роздільною здатністю 1000 кадрів в секунду авторами роботи [28] було отримане зображення метеора -3^m з яскраво вираженою структурою, що нагадує ударну хвилю (див. рис. 4), яку зазвичай добре видно навколо космічних апаратів, що входять в густі шари атмосфери. Однак розміри структури склали близько 100 м. Слід заважити, що цей же метеор, зареєстрований камерою зі стандартною розгорткою, не показав подібної структури. Самі автори сходяться в думці, що це не може бути прояв ударної хвилі через великий, в першу чергу, розмір (довжина вільного пробігу іона на висоті 100 км складає лише 1 м). Вони припустили, що такого виду зображення могло б бути геометричною межею збудження та іонізації атомів атмосферного кисню, яка могла б створюватись ультрафіолетовим випромінюванням метеора, адже довжина пробігу ультрафіолетового кванта на згаданій висоті складає якраз близько 100 м. Однак, з точки зору енергетики, можливий потік таких квантів є критично недостатнім для забезпечення такої інтенсивності явища.

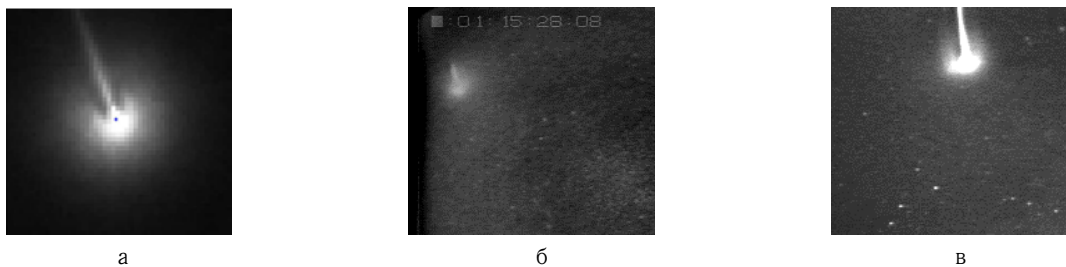


Рис. 4. Метеор з “ударною хвилею” з [28] (*a*) та схожі метеори, зареєстровані в Києві телевізійними системами суперізокон: Леонід 2002, № 4 [17] (*б*) та односторонній спорадичний червневий болід 1992 року (*в*)

Як видно з рис. 4, метеор потоку Леонід $+1.9^m$ та небазисний червневий спорадичний болід мають схожу форму коми. Причому, тоді як у метеора Леонід добре видно лише потемніння в тому ж місці, що і в [28], то болід практично повністю повторює його форму — різниця, вочевидь, пов'язана лише з різною роздільною здатністю. Питання про реальність цих зображень як фізичних об'єктів залишається відкритим, хоча і припустити, що це якийсь один і той же артефакт, також важко, оскільки типи спостережної апаратури зовсім різні.

3.5. Метеори з періодичними пульсаціями блиску

При спостереженнях метеорного шторму Леоніди у 2002 році з одного пункту спостережень було зареєстровано цікавий вигляд деяких метеорних слідів (післясвітіння), що мали вигляд пульсацій (рис. 5). З 28 базисних метеорів [17] 5 мали невеликі періодичні розриви в післясвітінні. Оскільки післясвітіння сліду на мішені передаючої трубки суперізокон присутнє за будь-яких обставин через інерційність системи, то видимий слід у кадрі метеора складається з двох компонент, які є нероздільними: світіння атмосферного сліду метеора та залишку сигналу на мішені трубки від попереднього кадру. Згадані метеори з розривами спостерігалися протягом першої години спостережень (далі це явище не спостерігалось), всі належали потоку Леонід та були відносно яскраві (в спорадичних метеорів, зареєстрованих протягом цього ж часу такого феномену не спостерігалось). Також це явище не було видиме з іншого пункту спостережень, однак там використовувався інший об'єктив з більшим діаметром та фокусною відстанню (Геліос-40, $F = 85$ мм, $F/1,5$), в той час як в першому пункті використовувався Юпітер-3 ($F = 50$ мм, $F/1,5$). Після відносної фотометрії (вимірювалися площі поперечних фотометричних перерізів зображення хвоста метеора) метеора в п'яти послідовних кадрах отримали залежність насичення сліду метеора від координати Y (метеор рухався майже вертикально) — рис. 5. Якщо припустити, що вказані мінімуми блиску є реальними пульсаціями блиску метеора, а не артефактами телевізійної системи, то пояснити такий вигляд розривів у хвості та їх непомітність в голові метеора під час руху можна наступним чином: відгук телевізійної системи на оптичний сигнал, тобто формування зображення метеора, визначається інтенсивністю та шириною функції розподілу точки (ФРТ).

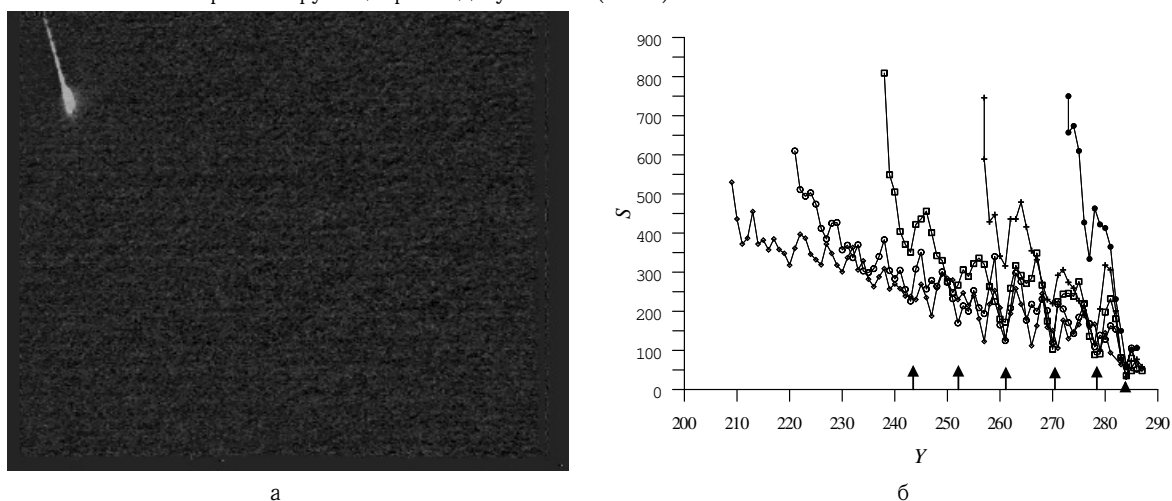


Рис. 5. Оригінальне зображення метеора № 3 потоку Леонід 2002 року в 11-му кадрі (а). Фотометричні поперечні профілі хвоста метеора (голова метеора не показана) в кадрах 9–13 (б). Стрілки вказують розриви в зображенні.

Якщо пульсації досить короткі, їх не видно через досить широкую півширину ФРТ, яка формується, крім всього іншого, і на стадії переносу електронного сигналу. Однак після одного чи тим більше кількох зчитувань зображення електронним пучком інтенсивність його сильно падає, а значно менша частина залишається, проявляючи, таким чином, місця з меншою інтенсивністю (в даному випадку майже розриви). Вимірюючи швидкість руху зображення метеора по кадру, можна встановити час між такими мінімумами, і таким чином визначити період можливих пульсацій. За вимірами в кадрах 9–11 знайшли значення $0,0178 \pm 0,0032$ с. З одного боку, таке значення, якщо воно відповідає реальному фізичному процесу, може бути пояснене обертанням метеороїда неправильної форми — 56 обертів за секунду може з'явитись у частинки при ударі між собою тіл з космічними швидкостями. З іншого боку, дане значення є досить близьким до часу розгортки одного поля кадру — $0,02$ с, і може свідчити, таким чином, про імовірне технічне походження даних розривів у зображенні. Однак виникає закономірне запитання: чому таких пульсацій не спостерігається для всіх Персеїд, отриманих пізніше протягом ночі, адже напрям руху їх зображень по кадру мінявся не сильно? Зважаючи на малу статистику, стверджувати однозначно про те, що це реальний фізичний феномен, чи навпаки, що це артефакт спостережної системи, наразі не можна.

4. ВИСНОВКИ

Проведений порівняльний якісний аналіз дозволяє зробити певні припущення щодо реалістичності виділених фотометричних аномалій в метеорах. Однозначно можна стверджувати, що бімодальні криві блиску метеора, зафіксовані авторами [25] та Київською метеорною групою [19], є фізично реальними, а єдиною проблемою в даному випадку залишається їх коректна теоретична інтерпретація. Щодо побічних джетів у метеорах є великі сумніви, пов'язані в першу чергу з досвідом цифрової обробки телевізійних кадрів, отриманих з системою типу суперізокон, де існувало багато подібних артефактів. Метод фільтрації оригінальних відеокadrів, що використовувався в [20], не є достовірним. Дифузна структура метеора в початкових кадрах може мати фізичну природу, пов'язану із “здуванням” поверхні метеороїда, однак залишається не поясненим, чому від яскравих болідів така структура реєструвалася на надвеликих висотах, а від відносно слабких Леонід, зареєстрованих Київською групою, — на класичних висотах появи метеорів. Яскраві метеори з “видимою ударною хвилею”, які спостерігалися та інтерпретувалися таким чином в [28], мають практично ідентичну структуру до метеорних зображень, отриманих в [19, 17], хоча часова роздільна здатність спостережної апаратури відрізнялася на порядки. Залишається обґрунтована теоретична інтерпретація того, що дане явище — саме результат поширення ударної хвилі. Флукуації блиску, отримані лише Київською метеорною групою і лише для метеорів потоку Леоніди, видаються достовірними, однак потребують, на разі, подальшого вивчення.

1. *Бронштэн В.А.* Физика метеорных явлений. — М.: Наука, 1981. — 416 с.
2. *Козак П.М., Рожило О.О., Тарануха Ю.Г., Кручиненко В.Г.* Кінематичні характеристики вересневих метеорів за базисними телевізійними спостереженнями 2003 року // *Космічна наука і технологія.* — 2011. — **17**, № 4. — С.51–62.
3. *Козак П.М., Рожило О.О., Тарануха Ю.Г.* Кінематичні параметри метеорів за результатами базисних телевізійних спостережень в період осіннього рівнодення 2001 року // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія.* — Вип. 49. — 2012. — С.19–24.
4. *Левин Б.Ю.* Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе. — Изд. АН СССР, 1956. — 294 с.
5. *Baggaley W.J., Bennet R.G.T., Steel D.I., Taylor A.D.* The advanced meteor orbit radar facility: AMOR // *Q.J.R. astron. Soc.* — 1994. — **35**. — P.293–320.
6. *Baggaley W.J., Marsh S.H., Close S.* Interstellar meteors // *Proc. “Dust in Planetary Systems”, Kauai, Hawaii, USA, 2005.* — ESA SP-643. — LPI Contribution. — 2007. — 1280. — P.23.
7. *Betlem H., Jenniskens P., Leven J., Kuile C., Johannink C., Zhao H., Lei C., Li G., Zhu J., Evans S., Spurny P.* Very precise orbits of 1998 Leonid meteors // *Meteoritics and Planetary Science.* — 1999. — **34**. — P.979–986.
8. *Brown P., Jones J., Weryk R.J., Campbell-Brown M.D.* The Velocity Distribution of Meteoroids at the Earth as Measured by the Canadian Meteor Orbit Radar (CMOR) // *Earth, Moon and Planets.* — 2004. — **95**, Iss. 1–4. — P.617–626.
9. *Ceplecha Z., et al.* Meteor phenomena and bodies // *Space Sci. Rev.* — 1998. — **84**. — P.327–471.
10. *Fujiwara Y., Ueda M., Shiba Y., Sugimoto M., Kinoshita M., Shimods C., Nakamura T.* Meteor luminosity at 160 km altitude from TV observations for bright Leonid meteors // *Geophys. Res. Letters.* — 1998. — **25**, 8. — P.285–288.
11. *Hajdukova M., Kruchinenko V.G., Kazantsev A.M., Taranucha Ju.G., Rozhilo A.A., Eryomin S.S., Kozak P.N.* Perseid meteor stream 1991–1993 from TV observations in Kiev // *Earth, Moon and Planets.* — 1995. — **68**. — P.297–301.
12. *Horii S., Watanabe J., Sato M.* Meteor showers originated from 73P/Schwassmann–Wachmann // *Earth, Moon, and Planets.* — 2008. — **102**. — P.85–89.
13. *Jenniskens P.* The parent bodies of our meteor showers // *Abst. Book Int. Conf. “Asteroids, Comets, Meteors”.* — 2012. — P.8188–8178.
14. *Jopek T.J.* Meteor Data Center of International Astronomical Union. — 2009. — <http://www.astro.amu.edu.pl/~jopek/MDC2007>.
15. *Kashcheyev B.L., Kolomojets S.V.* Interstellar particle detection and selection criteria of meteor streams // *Ed.: Barbara Warmbein.* — ESA SP-495. — Noordwijk: ESA Publications Division. — 2001. — P.743–650.
16. *Koten P., Spurny P., Borovicka J, Stork R.* Extreme beginning heights for non-Leonid meteors // *Ed.: Barbara Warmbein.* — ESA SP-495. — Noordwijk: ESA Publications Division. — 2001. — P.119–122.
17. *Kozak P., Rozhilo O., Kruchynenko V., Kazantsev A., Taranukha A.* Results of processing of Leonids-2002 meteor storm TV observations in Kyiv // *Adv. Space Res.* — 2007. — **39**, Iss. 4. — P.619–623.
18. *Kozak P.* “Falling Star”: Software for processing of double-dtation TV meteor observations // *Earth, Moon, and Planets.* — 2008. — **102**, Iss. 1–4. — P.277–283.
19. *Kruchinenko V.G., Kazantsev A.M., Taranukha Yu.G., Kozak P.M., Yeryomin S.S., Rozhylo O.O., Smertyuk L.M.* Catalogue of Perseid shower meteors on TV observations in Kyiv during 1991–1993 // *Bull. Kiev Univ., Astronomy.* — 1997. — **34**. — P.94–117.

20. *LeBlanc A.G., Murray I.S., Hawkes R.L., Worden P., Campbell M.D., Brown P., Jenniskens P., Correll R.R., Montague T., Babcock D.D.* Evidence for transverse spread in Leonid meteors // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2000. — **313**. — P.L9–L13.
21. *Lindblad B.A.* A survey of meteoroid orbits obtained by two-station video observations // *Proc. Int. Conf. Meteoroids 1998* (Eds. W.J. Baggaley, V. Porubcan), Tatranska Lomnica, Slovakia, 1999. — P.274–281.
22. *Lindblad B.A.* The IAU meteor data center // *Proc. Int. Conf. Meteoroids 2001* (Ed. B.Warmbein), Kiruna, Sweden, 2001. — P.71–72.
23. *Lindblad B.A., Neslusan L., Svoren J., Porubcan V.* The updated version of the IAU MDC database of photographic meteor orbits // *Proc. Int. Conf. Meteoroids 2001* (Ed. B.Warmbein), Kiruna, Sweden, 2001. — P.73–75.
24. *Opik E.J.* *Physics of Meteor Flight in the Atmosphere.* — New York: Interscience Publ., 1958. — 174 p.
25. *Roberts I.D., Hawkes R.L., Weryk R.J., Campbell-Brown M.D., Prown P.G., Stokan E., Subasighe D.* Meteoroid structure and ablation implication from multiple maxima meteor light curves // *Meteoroids 2013 Proc.*, Poznan, Poland. — Eds.: Jopek T.J., Rietmeijer F.J.M., Watanabe J., Williams I.P. — A. Mickiewicz Univ. Press in Poznan, 2014. — P.155–162.
26. *Spurny P., Betlem H., Leven J.V., Jenniskens P.* Atmospheric behavior and extreme beginning heights of the thirteen brightest photographic Leonid meteors from the ground based expedition to China // *Meteoritics and Planetary Science.* — 2000. — **35**. — P.243–249.
27. *Spurny P., Betlem H., Jobse K., Koten P., Leven J.V.* New type of radiation of bright Leonid meteors above 130 km // *Meteoritics and Planetary Science.* — 2000. — **35**. — P.1109–1115.
28. *Stenbaek-Nielsen H.C., Jenniskens P.* A “shocking” Leonid meteor at 1000 fps // *Adv. Space Res.* — 2004. — **33**. — P.1459–1465.
29. *Stokan E., Campbell-Brown M.D.* Transverse motion of fragmenting faint meteors observed with the Canadian Automated Meteor Observatory // *Icarus.* — 2014. — **232**. — P.1–12.
30. *Svoren J., Porubcan V., Neslusan L.* Current status of the photographic meteoroid orbits database and a call for contributions to a new version // *Earth, Moon, and Planets.* — 2008 — **102**, Iss. 1–4. — P.11–14.
31. *Taylor A.D., Baggaley W. J., Steel D.I.* Discovery of interstellar dust entering the Earth’s atmosphere // *Nature.* — 1996. — **380**, 6572. — P.323–325.
32. *Taylor M.J., Gardner R.C., Murray I.S., Jenniskens P.* Jet-like structures and wake in Mg I (518 nm) images of 1999 Leonid storm meteors // *Earth, Moon, and Planets.* — 2000. — **82–83**. — P.379–389.
33. *Watanabe J., Tabe I., Hasegawa H., Hashimoto T., Fuse T., Yoshikawa M., Abe S., Suzuki B.* Meteoroid clusters in Leonids: evidence of fragmentation in space // *Publ. Astron. Soc. in Japan.* — 2003. — **55**, Iss. 3. — P.L23–L26.
34. *Watanabe J.* Meteor streams and comets // *Earth, Moon, and Planets.* — 2004. — **95**. — P.49–61.
35. *Watanabe J., Sato M.* Activities of parent comets and related meteor showers // *Earth, Moon, and Planets.* — 2008. — **102**. — P.111–116.
36. *Whipple F.L.* The theory of micro-meteorites. Part I. In an isothermal atmosphere // *Proc. Nat. Acad. Sci. Amer.* — 1950. — **36**, № 12. — P.686–695.
37. *Whipple F.L.* The theory of micro-meteorites. Part II. In heterothermal atmospheres // *Proc. Nat. Acad. Sci. Amer.* — 1951. — **37**, № 1. — P.19–29.

Надійшла до редакції 11.05.2016

Прийнята до друку 10.06.2015