

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Фізичний факультет
Кафедра астрономії та космічної інформатики

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри астрономії та космічної
інформатики
проф. Шкуратов Ю.Г.

(підпис)

Оцінка «_____»
Голова ЕК

(підпис)

Приймак Віталій Миколайович

Спектральні властивості великих сімейств астероїдів
за даними Gaia DR3

Кваліфікаційна робота на здобуття
освітнього ступеня «Бакалавр»
спеціальність 104 – «фізика та астрономія»
освітньо-професійна програма «астрономія
та космічна інформатика»

(підпис студента)

Науковий керівник – доцент кафедри
астрономії та космічної інформатики
канд.фіз.-мат. н. Слюсарев І.Г.

(підпис керівника)

Харків 2024

Зміст

Вступ 6

Розділ 1. Отримання спектрів відображення астероїдів та їх якісна інтерпретація 17

1.1 Методика вимірювання спектрів твердих безатмосферних небесних тіл 9

1.2 Джерела перешкод при отриманні спектрів відображення 12

1.3 Таксономічні класифікації астероїдів та їх використання щодо походження та еволюції малих планет 17

1.4 Основні особливості в спектрах відображення астероїдів і їх хіміко-мінералогічне значення 22

1.5 Загальна мінералогічна характеристика астероїдних класів Толена 24

Розділ 2. Обробка спостережень і отримання спектрів відображення 27

2.1 Обробка спостережень і отримання спектрів відображення 27

2.2.1 Обсерваторії та інструменти, що використовуються для отримання спостережних даних 27

2.2.2 Програмне забезпечення 28

2.2.3 Короткий порядок роботи 28

2.2.4 Оцінка спектрального типу астероїда 29

Розділ 3. Результати спектрів Астероїдів Головного Пояси 31

3.1 11 Парфенопа 1

3.2 225 Генрієтта 33

3.3 307 Ніка 35

3.4 345 Терцидину 37

3.5 381 Мірра 39

3.6 482 Петрина 40

3.7 488 Креуса 41

3.8 712 Болівіана 43

3.9 787 Москва 46

3.10 788 Гогенштейна 48

3.11 863 Бенкоела 50

3.12 1264 Літаба 52

Висновок 57

Список літератури 59

Додатки 62

ВСТУП

Актуальність роботи і ступінь розробленості

Астероїди входять до найменш змінених об'єктів Сонячної системи з часу її утворення. Цей факт було встановлено згідно з результатами досліджень метеоритів, що впали на Землю, які є потенційними фрагментами астероїдів [1]. На даний момент тільки в Головному Поясі астероїдів, розташованому на відстані 2,2 - 3,6 а. від Сонця відомо більше 894 000 астероїдів [2]. Однак для переважної кількості цих тіл відомі в основному лише елементи їх орбіт та наближені розміри.

Неправильна форма більшості астероїдів Головного поясу є наслідком їх взаємних зіткнень. Тривалий ударний процес мав сприяти перемішуванню як зовнішніх, і внутрішніх шарів. Тому можна вважати, що малі астероїди мають більш однорідний склад речовини, чим великі тіла. Так як астероїди, як правило, є безатмосферними тілами, це полегшує вивчення фізико-хімічних і мінералогічних властивостей їх поверхневої речовини наземними дистанційними методами.

Знання характеристик астероїдів дає можливість контролювати правильність розв'язання космогонічних проблем. Зокрема, за допомогою статистичного аналізу властивостей великого кількості малих тел може бути виконана апробація тієї чи іншої моделі формування та еволюції Сонячної системи [3].

Крім суто наукових завдань, пов'язаних із розширенням та поглибленням знань, вивчення астероїдів має і суто практичне значення. Нині зростає розуміння актуальності проблеми астероїдно-кометної небезпеки, особливо з огляду на зростання урбанізації та чисельності населення останніми роками. Зіткнення із Землею навіть порівняно невеликого 1-3-км космічного об'єкта може привести до значним руйнуванням та численним жертвам, аж до зупинки розвитку людства [4]. Частина небесних об'єктів, досліджуваних у цій роботі, входять до списку потенційно небезпечних (ПОО), оскільки мають досить великі розміри та орбіти, що допускають зближення із Землею на вкрай малу відстань [5]. Для створення можливих варіантів запобігання потенційній катастрофи необхідно знати фізичні параметри і склад

речовини кожного такого астероїду.

З іншого боку, астероїди, що зближуються із Землею, вже розглядаються як джерела позаземних ресурсів (вода, метали, мінерали та ін.) [6]. Наприклад, у звіті про світове виробництво залізняку за 2004 рік зазначено, що видобуток перевищив 1 млрд тонн [7]. Один невеликий астероїд, що належить до таксономічного класу M і має діаметр 1 км, може утримувати близько 2 млрд тонн залізонікелевої руди [8]. Для складання списку найцікавіших астероїдів для подібних проектів, очевидно, потрібно мати оцінку складу їхньої речовини.

Необхідно відзначити, що останнім часом набули значного розвитку прямі дослідження астероїдів за допомогою космічних апаратів, наприклад 25143 Ітокави, 4 Вести, 1 Церери, 162173 Рюгу, 101955 Бенну, в том числі і з доставкою речовини на Землю [9], [10], [11], [12]. Однак вибір цілей космічних місій, а також основні дані про об'єктах були заздалегідь отримані за допомогою наземних спостережень. Крім того, дослідження астероїдів, загальна кількість яких прагне мільйону, можливе лише дистанційними методами, що дозволяють здійснити оцінку основних фізичних та хіміко-мінералогічних характеристик цих тіл протягом відносно короткого часу та з мінімальним бюджетом.

Мета та завдання

Метою даної роботи є:

- отримання спектрів низького дозволу ($R \sim 100$) в діапазоні 0,38-0,90 мкм та розрахунок спектрів відображення астероїдів до видимої зоряної величини 14^m ;
- якісна інтерпретація отриманих спектрів відображення для визначення або уточнення таксономічного типу астероїдів та оцінки їхнього хіміко-мінерального складу речовини;
- виявлення та дослідження спектральних особливостей астероїдів, пов'язаних з неоднорідністю речовини поверхні або виникненням сублімаційної активності;
- використання *UBVRI* -даних астероїдів для розрахунку їх відбивної здатності на ефективних довжинах хвиль зазначених світлофільтрів з метою апроксимації спектрів відображення слабких об'єктів (до $16-17^m$).

Для цього необхідно було вирішити наступні завдання:

- отримання спектрофотометричних наглядних даних низької роздільної здатності ($R \sim 100$) в діапазоні 0.38-0.90 мкм;
- обробка спостережних даних та розрахунок спектрів відображення астероїдів;
- проведення якісної оцінки таксономічного типу кожного об'єкта за допомогою класифікацій Толена та Бас-Бінзела [13], [14];
- інтерпретація та вивчення можливих механізмів виникнення виявлених спектральних особливостей в спектрах відображення астероїдів.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є астероїди Головного поясу та астероїди, що зближуються із Землею (АСЗ). Предмет дослідження – спектральні характеристики даних тіл, що дозволяють оцінити склад речовини їх поверхні, а також інтерпретація виявленого явища сублімаційної активності ряду астероїдів.

Наукова новизна

У цій роботі представлені нові спектри відображення 21 астероїду та виконана їхня хіміко-мінералогічна інтерпретація. Визначено таксономічний клас всіх цих астероїдів, з них для 8 об'єктів - вперше. Варто окремої згадки розгляд нового ефекту, що спостерігається. - сублімаційної активності астероїдів примітивних типів Головного поясу, обговорення і дослідження даного ефекту, а також механізмів, що впливають на інтенсивність його прояви.

Теоретична і практична значимість

Отримані результати можуть бути використані як для поповнення бази фізико-хімічних властивостей астероїдів, для розширення статистики розподілу тіл різних таксономічних типів, так і для вирішення проблеми астероїдно-кометної небезпеки і планування майбутніх космічних місій.

Крім того, результати частини роботи, присвяченої сублімаційній активності

астероїдів зі значним ексцентриситетом орбіти, можуть уточнити наші уявлення про вміст льодів (насамперед H_2O) у складі їх речовини, походження та еволюції астероїдів примітивних типів та внести обмеження на моделі еволюції малих Сонячна система.

РОЗДІЛ 1. ОТРИМАННЯ СПЕКТРІВ Відображення АСТЕРОЇДІВ ТА ЇХ ЯКІСНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

1.1 Методика вимірювання спектрів твердих безатмосферних небесних тіл

Астероїди, будучи твердими, безатмосферними тілами Сонячної системи, являють собою ідеальні об'єкти для наземних оптичних вимірювань, за рахунок відсутності помехоутворюючої газоподібної оболонки поблизу поверхні тіла, що спостерігається на шляху проходять сигналів. Як найважливіший серед оптичних методів можна виділити спектрофотометрію, яка виконується в діапазоні від 0,38 до 1,1 мкм (видимий і ближній ІК), тому що тут знаходиться вікно земної атмосфери з найбільш високою спектральною прозорістю [15].

Підставою для використання саме спектрофотометричних методів є те, що відбитий від поверхні твердого тіла сонячне світло несе в собі змінений спектральний розподіл енергії щодо аналогічної характеристики падаючого світла. Така зміна характеризує фізичні, хімічні та мінералогічні параметри верхнього роздробленого шару речовини. Але слід відзначити, що при дифузному відображенні і заломленні світла дрібними частинками твердої речовини, підвищується частка світла, що пройшов крізь нього, і з'являється можливість реєстрації в спектрі відображення характеристичних смуг поглинання мінералів та інших входних в речовину сполук. Крім того, астероїди порівняно невеликих розмірів (типових для АСЗ), піддаючись ударним процесам течія своєї динамічної еволюції, перетворюються на «купи каменів» з досить однорідним складом. Тому, визначаючи характеристики верхнього шару поверхні, можна приблизно судити про склад речовини таких тіл в цілому.

Проведення оцінки складу речовини астероїдів можна, можливо розділити на три етапи:

1. Реєстрація спектрів відображення астероїдів та найближчих до нього стандартних зірок сонячного типу за допомогою телескопа зі спектрографом.
2. Розрахунок спектрів відображення.
3. Якісна інтерпретація спектрів відображення (хіміко-мінералогічний аспект).

Для вимірювання спектру, то є розподілу енергії в абсолютних одиницях будь-якого небесного об'єкта використовується так званий диференціальний метод: порівняння світлових потоків від цього об'єкта та стандартної зірки [16]:

$$E(\lambda) = k E_{cz}(\lambda) [I(\lambda) / I_{cz}(\lambda)] f(\lambda)^{-\Delta M}, (1)$$

де

k – поправочний коефіцієнт, що залежить від використовуваної спостерігачем апаратури;

$E_{cz}(\lambda)$ – освітленість стандартною зіркою на довжині хвилі λ на межі земної атмосфери;

$I(\lambda)$ - інтенсивність випромінювання певною довжини хвилі від спостережуваного об'єкта, що вимірюється в кількості фотонів, що реєструються за одиницю часу (фон неба виключено);

$I_{cz}(\lambda)$ - Інтенсивність випромінювання фіксованої довжини хвилі стандартної зірки (фон неба виключений);

ΔM – різниця повітряних мас досліджуваного об'єкта та стандартної зірки, які обчислюються за формулою $M(z) = 1/\cos z$, де z – зенітна відстань;

$f(\lambda)$ - монохроматична спектральна прозорість атмосфери, унікальна для кожної спостережної ночі.

Розмір монохроматичної спектральної прозорості атмосфери визначається так. Нехай $I_1(\lambda)$, $I_2(\lambda)$ – величини інтенсивності випромінювання стандартної зірки у моменти часу t_1 та t_2 при повітряних масах M_1 , M_2 відповідно (тобто отримані при повторних спостереженнях). Підставивши в (1), виразимо шукану величину як:

$$f(\lambda) = [I_2(\lambda) / I_1(\lambda)]^{1/\Delta M}, (2)$$

де $\Delta M \equiv M_1 - M_2$ - Різниця повітряних мас. Таким чином, отримали вираз спектральної прозорості атмосфери для фіксованої довжини хвилі.

Основною проблемою при отриманні спектра відображення астероїда є те, що неможливо за однакових атмосферних умов одночасно або хоча б з різницею в кілька годин спостерігати сам об'єкт і сонце. Тому використовують особливу групу зірок сонячного типу – сонячні. аналоги. Даний термін в 1978 року вперше

запропонував Д. Хардорп [17]. Аналогічність Сонцю визначалася з порівняння спектрів низької роздільної здатності та з показників кольору. В даний час додаються ще критерії відбору: металевість може відрізнитися не більше, ніж у два рази, температура – в межах 500 К, крім того, зірки не повинні бути компонентами ТДС і перебувати далі за 1 зіркову величину від початкової головної послідовності [18].

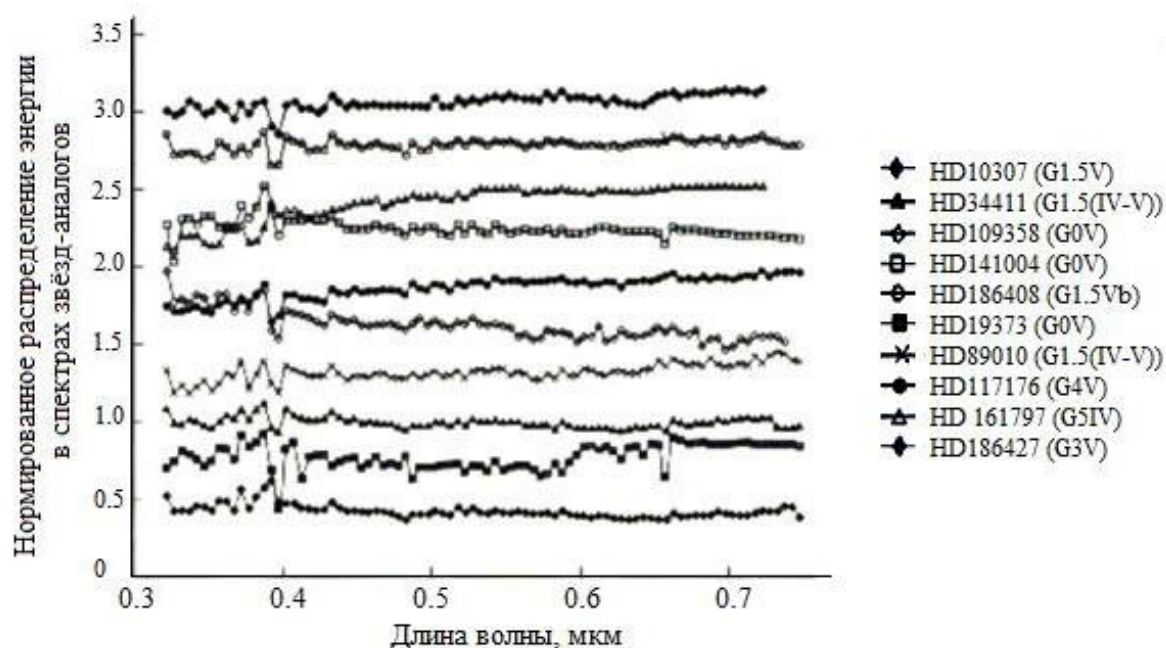
Якщо СКЯ представлена в обмеженому спектральному діапазоні, а так воно і є, тому що застосовувана апаратура задає цей діапазон, то дана функція і є спектр відображення за певного фазового вугілля α . Розмір даного фазового кута впливає їх спектри відображення, як свідчать спектральні дослідження роздроблених зразків-аналогів. Однак варіація кута в обмеженому діапазоні може призвести до похибок. не більше кількох відсотків. У першим наближенні або на якісному рівні можна стверджувати, що спектри відображення астероїдів правильно описують хіміко-мінералогічні особливості тіл при спостереженні цих об'єктів при малих фазових кутах $\alpha 0 \div 20^\circ$ [19], [20].

Для винятки з спектрів відображення варіацій яскравості, пов'язаних, наприклад, зі зміною форми астероїда, прийнято нормувати спектри значення спектрального чинника яскравості, відповідного максимуму у розподілі енергії випромінювання Сонця $\rho(\alpha, \lambda = 0,55 \text{ мкм})$. Тоді нормований спектр відображення астероїда можна, можливо уявити наступною формулою:

$$\rho'(\alpha, \lambda) = \frac{\Gamma_{\lambda} \Phi(\alpha, \lambda)}{\Gamma_{\lambda_0} \Phi(\alpha, \lambda_0)}$$

1.2 Джерела перешкод при отриманні спектрів відображення.

Як було показано вище, має місце значне спрощення розрахунку спектрів відображення астероїдів під час використання сонячних аналогів як стандартних зірок. Однак навіть у зірок одного спектрального типу є відмінності у фізичних та хімічних параметрах [18]. На даний момент є близько двадцяти досить близьких аналогів Сонця та кілька десятків зірок-кандидатів. Вони мають зіркові величини 4 – 9^m та спектральні підкласи G0 IV – G5 V. На Мал. 1 показано розподіл енергії в спектрах випромінювання 10 таких зірок. Представлені спектри віднесено до середньозваженого сонячного розподілу енергії та нормовані на довжині хвилі 0,5525 мкм.



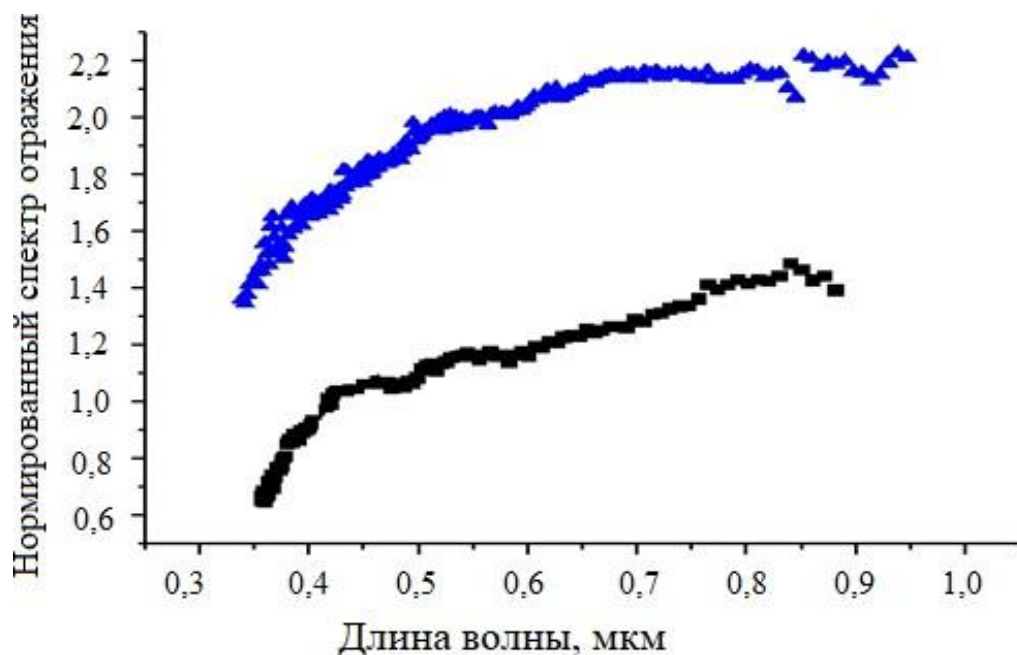
Малюнок 1 – Розподіл енергії у спектрах випромінювання зірок – сонячних аналогів, віднесені до розподілу енергії у спектрі Сонця (за даними [21]) та нормовані до одиниці на довжині хвилі 0,5525 мкм. Усі криві, за винятком розподілу для HD 34411, спеціально зміщені щодо друга друга на 0,3 од.

[15]

Загальне порівняння спектральних розподілів енергій даних зірок - аналогів виявляє, що кожна має свої особливості в параметрах найбільш інтенсивних ліній поглинання (H , K , H_{α} , H_{β} , H_{γ} , H_{δ}), а найбільш помітною деталлю є злам в області бальмерівського стрибка на 0,39- 0,40 мкм. Така різниця вносить, до жаль, деякі похибки в спектр відбиття астероїда, які, на жаль, повністю не вдається усунути.

Єдиний спосіб їх зменшення - це використовувати зірки, які являють собою добрі аналоги Сонця.

Однак дані похибки не такі великі, щоб внести значні спотворення у форму спектра відображення. Мал. 2 представлені розрахункові спектри для того самого астероїда 307 Ніка з використанням різних зірок-аналогів: HD 9986 і HD 10307. Можна помітити деякі відмінності в спектрах відображення, але вони не впливають на форму, нахил спектру, а також характерні особливості.

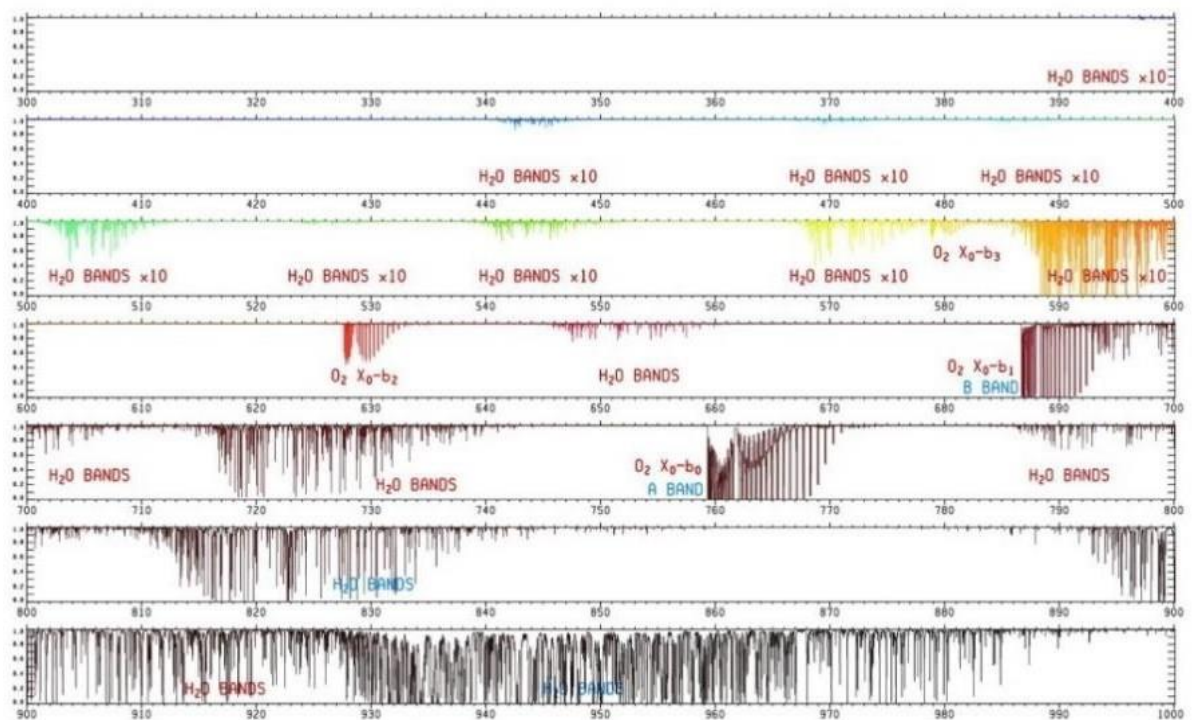


Малюнок 2 - Нормований спектр відображення астероїда 307 Ніка.

Верхній спектр – 04.11.2018 з використанням в якості сонячного стандарту HD 9986, нижній спектр - 09.11.2018 з використанням в якості сонячного стандарту HD 10307. Спектри були отримані на обсерваторії «Пік Терскол» (філія ІНАСАН)

Інше значне джерело перешкод – це земна атмосфера. При проходженні світла від об'єкта через наявні у ній водяної пари, кисню, озону та вуглекислого газу у видимому та ближньому ІЧ виникають телуричні лінії (Мал.3) [22], тому при обробці і інтерпретації спектрів відображення з обережністю варто відноситися до особливостей, що виявляються на довжинах хвиль впливу телуричних ліній.

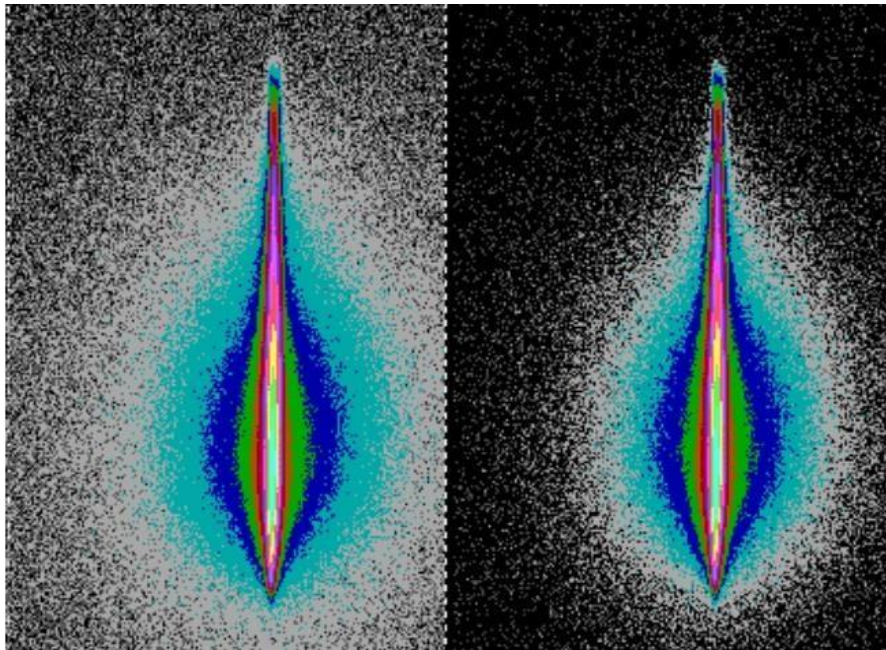
Очевидний та ефективний спосіб боротьби з перешкодами такого виду – це проведення спостережень при усталеній «спектрофотометричній» погоді. Однак навіть у чистій та спокійній атмосфері водяні та пилові аерозолі, неоднорідності щільності вносять шумову компоненту у підсумковий спектр відображення.



Малюнок 3 - Телуричні лінії [22]

Звичайно, певний внесок у шум вносять компоненти вимірювально-реєструючої апаратури: оптичні компоненти телескопа, спектрограф, ПЗЗ-матриця приймача випромінювання. З метою зменшення цих шумових складових проводиться стандартна процедура зйомки калібрувальних даних для кожної спостережної ночі.

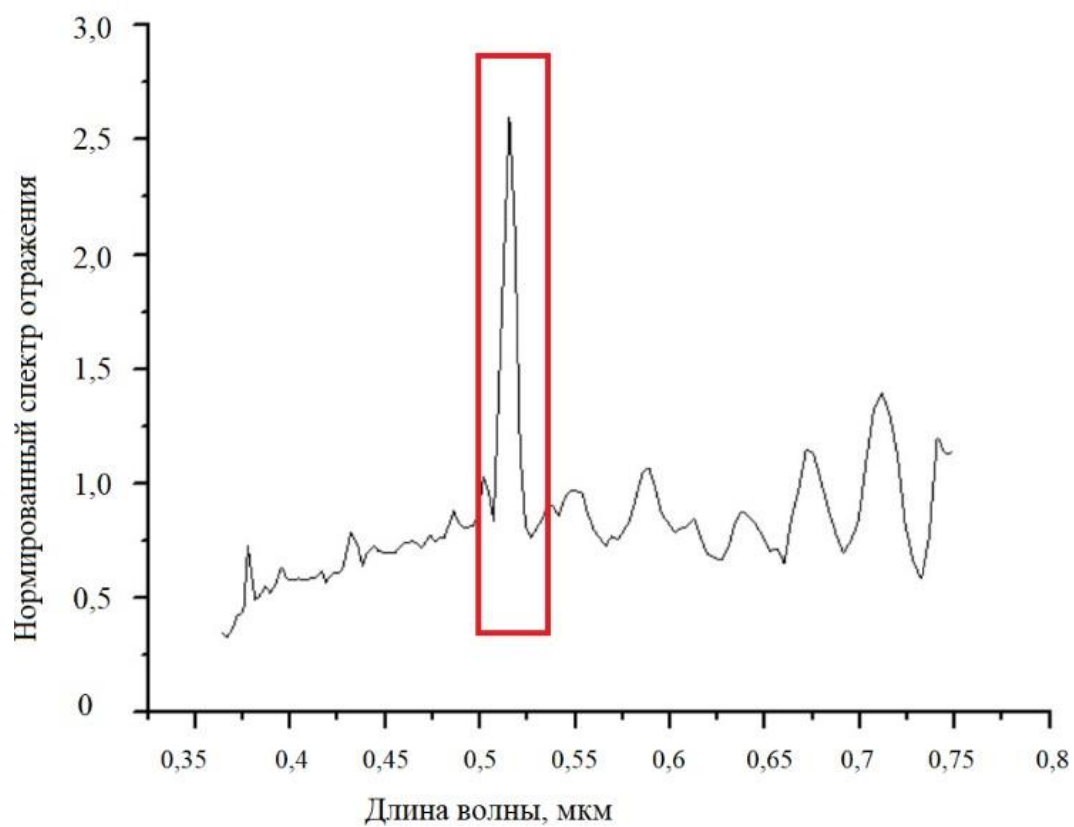
Вплив калібрувальних даних помітно на Мал. 4.



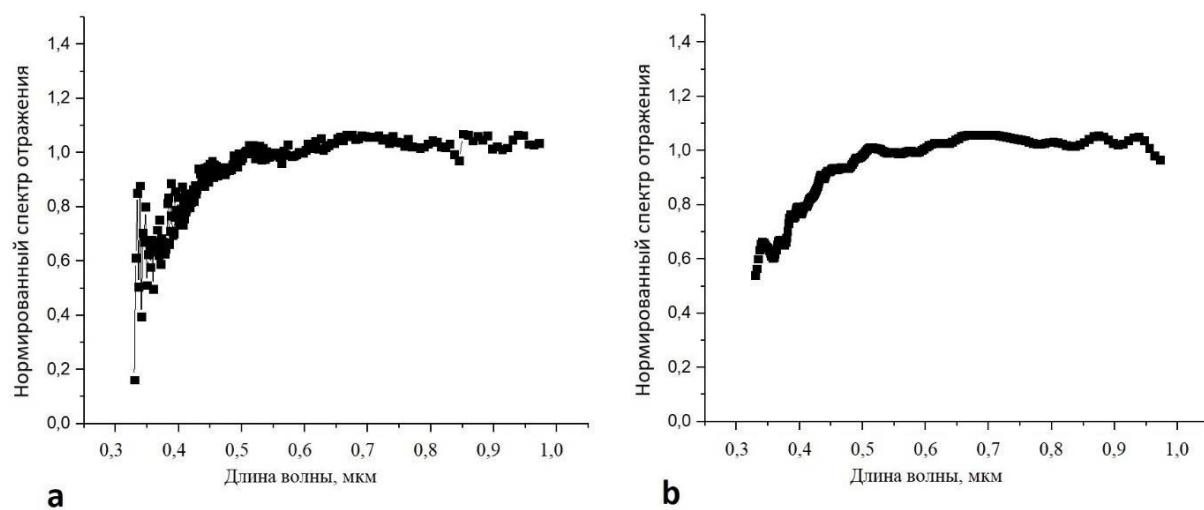
Малюнок 4 - Вплив калібрувальних даних на знімок 1999 CF9 (2013.08.29) 23:11)

Серед джерел перешкод варто згадати вплив треків космічних частинок (КЧ), які зазвичай охоплюють кілька пікселів і збільшують значення залежно від енергії та траєкторії частинки. На Рис.5 показано вплив КЧ на спектр астероїда 2010 CF19 (біля 0,52 мкм). Це явище не можна ігнорувати, оскільки воно призводить до спотворення результату, тому значення таких пікселів або замінюються результатом інтерполяції сусідніх пікселів, або зовсім не враховуються [23].

Для покращення якості спектрів відображення, щоб усунути залишковий шум, використовується частотна фільтрація та згладжування. Слід зазначити, що особливості спектрів відбиття астероїдів - смуги поглинання перехідних металів, оксидів і складніших сполук - мають переважну шумову складову ширину. Тому така додаткова обробка не впливає на подальшу інтерпретацію. Рис. 6а представлений спектр відображення астероїда 407 Арахна, Рис. 6b – той самий спектр, але після процедури згладжування.



Малюнок 5 - Вплив космічної частинки на спектр 2010 CF19 (2013.08.30 00:34)



Малюнок 6 - Вплив процедури згладжування на спектр 407 Арахна (2018.11.04 20:42)

а) до проведення процедури згладжування; б) після проведення процедури згладжування

1.3 Таксономічні класифікації астероїдів і їх використання щодо походження та еволюції малих планет

1975 року К. Чапмен, Д. Морісон і Б. Целлнер розробив систему класифікації астероїдів. Базою запропонованої класифікації стали показники кольори, альbedo і деякі особливості спектрів відображення [24]. Проаналізувавши результати спостережень 110 астероїдів, зроблені поляриметричним, радіометричним та спектрофотографічним способами, вчені виділили три класи астероїдів: «C» - темні вуглецеві, "S" - кам'яні (кремнієві) і невідомий клас «U» - об'єкти, які не потрапили в дві попередні категорії. У Табл.1 наведено деякі знайдені ними оптичні параметри для астероїдів

C та S класів.

Таблиця 1 – Діапазони для оптичних параметрів, визначені для C та S-класів у класифікації Чапмена, де p_v – візуальне геометричне альbedo, BV – показник кольору (0,4-0,55 мкм), R / B - ставлення випромінювання на довжині хвилі 0,7 мкм до випромінювання на 0,4 мкм [24]

Параметр	C	S
p_v	$\leq 0,09$	$\geq 0,09$
B- V	$\leq 0,77$	$\geq 0,77$
R/B	$\leq 1,35$	$1,35 \leq R/B < 2,3$

Греді і Тедеско в 1989 р. запропонували класифікацію, використавши дані восьмиколірного огляду Зелнера [25] (див. табл.2), спираючись на три світлофільтри (0,36; 0,55 і 0,85 мкм) та IRAS альbedo на базі 357 астероїдів.

Таблиця 2 - Значення ефективних довжин хвиль і напівширин світлофільтрів [25]

Фільтр	Ефективна довжина хвилі, мкм	Напівширина світлофільтра, мкм
S	0,337	0,047
U	0,359	0,060
B	0,437	0,090
V	0,550	0,057
W	0,701	0,058
X	0,853	0,081
P	0,948	0,080
Z	1,041	0,067

Ця класифікація містила 11 класів [26]. У Табл.3 вказані отримані значення для альбедо (p_v), (v_x) та (UV).

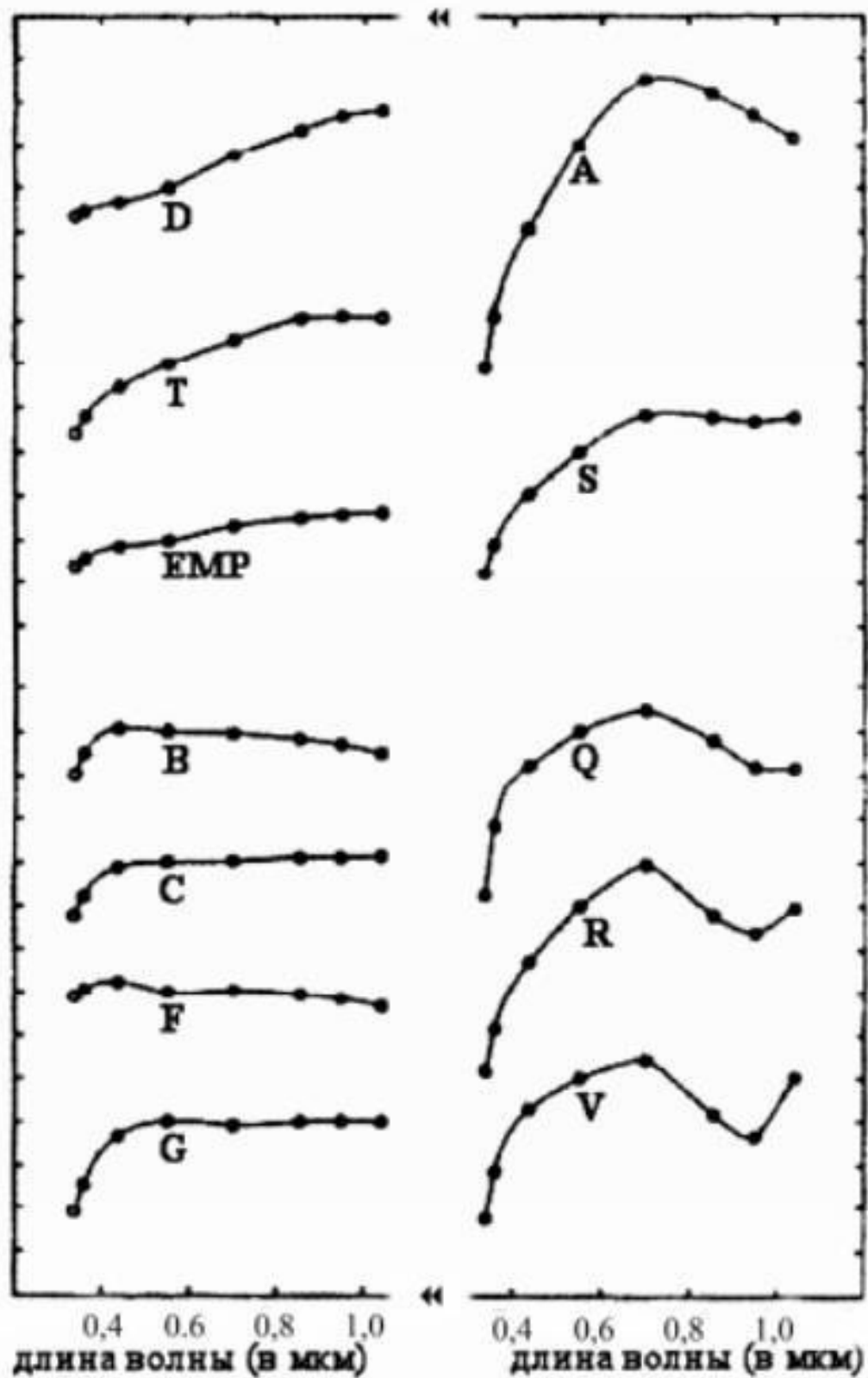
Толен, застосовуючи метод кластерного аналізу та метод «головних компонентів» для статистичного аналізу показників кольори (в діапазоні 0,34

- 1,04 мкм, використовуючи дані з огляду Зелнер [26]), створив нову, розширену класифікацію астероїдів і встановив кількісний критерій розмежування окремих класів [13]. Толену вдалося апроксимувати середні спектри відображення виділених типів астероїдів та встановити узагальнений хіміко-мінералогічний склад кожного з типів. Додаткове використання значень альбедо сприяло виділенню класів астероїдів. Отже, до класифікації Толена увійшли 14 спектральних класів. Спектри відбиття астероїдів кожного класу представлені на Рис.7 [27]. Саме їх ми приймаємо в подальшій роботі за еталонні.

Таблиця 3 - Значення використовуваних параметрів для спектральних класів астероїдів по Греді та Тедеско, де $p(V)$ – візуальне геометричне альbedo, показники кольору $U - V$ (0,36 – 0,55 мкм), $v - x$ (0,55 – 0,85 мкм) [27]

Клас	p_V		$U - V$		$v - x$	
Min	max	min	max	min	max	min
3	0,02	0,088	0,87	1,19	- 0,089	0,117
S	0,085	0,33	1,16	1,52	0,03	0,36
M	0,074	0,25	0,86	1,05	0,03	0,19
E	0,034	0,6	0,90	1,11	- 0,02	0,21
A	0,2	0,6	1,55	1,75	0,14	0,35
G+K	0,062	0,16	1,13	1,26	- 0,045	0,20
T	0,06	0,092	1,06	1,16	0,08	0,22
P	0,023	0,055	0,85	1,04	0,117	0,205
D	0,02	0,07	0,90	1,08	0,205	0,36
F	0,024	0,086	0,78	0,93	- 0,08	0,06

У 2002 році Ш.Бас та Р.Бінзель представили розширену класифікацію астероїдів, складену на базі проекту SMASS («Спектрального вивчення малих астероїдів Головного поясу астероїдів») [28], присвяченого отриманню спектрів відображення (в діапазоні довжин хвиль 0,4- 0 мкм) малих тіл (діаметром менше 20 км) Головного поясу астероїдів. Крім збільшення числа досліджуваних об'єктів, вимірювання спектрів відображення проводилося зі спектральним дозволом вище майже на два порядки, ніж у Толена. Це дозволило виявити нові особливості, які стали основою створення нової класифікації, що зберігає наступність стосовно класифікації Толена; в результаті астероїди були поділені на 24 основні класи [14]. Проте, як буде показано далі, в даній роботі використовувалися спектри низького дозволу, тому вибір було зроблено на користь класифікації Толена.



Малюнок 7 – Усереднені нормовані (на значення на довжині хвилі 0,55 мкм) та зміщені відносно один одного спектри відбиття астероїдів основних спектральних типів згідно таксономічної класифікації Д. Толіна. Вертикальна вісь – у безрозмірних відносних одиницях [27]



Малюнок 8 – Розподіл різних спектральних типів астероїдів за геліоцентричними відстанями (з виправленням наглядовою селекції) згідно з Беллом та ін [29]

За представленим на Мал.8 розподілу різних спектральних типів астероїдів за діапазонами геліоцентричних відстаней, можна зробити аналіз поточного зміни складу твердого речовини Сонячна система [29].

Діапазони геліоцентричних відстаней розподілу багатьох спектральних класів перекриваються, а чисельна перевага ($\approx 75\%$ загальної кількості тел) за астероїдами С-типу, які охоплюють майже весь діапазон і мають максимум біля зовнішнього краю. На основі спектральних характеристик та альбедо астероїди даного типу були утворені при температурах не більше $200-300^{\circ}\text{C}$, а їхні батьківські тіла могли сформуватися у зовнішній Межі Головного пояси або навіть за її межами. Максимуми астероїдів S-, M- і E-типів зміщені до внутрішнього краю Головного поясу, тут вони могли нагріватися до $1000-1500^{\circ}\text{C}$.

1.4 Основні особливості в спектрах відображення астероїдів і їхнє хіміко-мінералогічне значення

Оцінка складу речовини астероїдів ґрунтується на порівнянні розрахованих спектрів відображення цих небесних тіл із спектрами відображення земних мінералів, а також метеоритів, які, як передбачається, в більшості випадків є фрагментами астероїдів. В даний час існують відкриті бази даних, наприклад, такі як RELab і NOSERLab [30], [31], що містять спектри відбитків як чистих мінералів, і сумішей у різних пропорціях і з різним розміром частинок, оскільки вимір відбувається у роздробленому стані.

Для спектрів відбиття силікатної речовини характерні такі особливості. Найвираженіші спектральні смуги поглинання знаходяться в діапазоні 0,35 - 1,1 мкм: смуга з мінімумом у довжини хвилі 0,2 мкм, що співвідноситься з перенесенням електронного заряду O-Me, і смуга з мінімумом у довжини хвилі 1 мкм, що співвідноситься з переходом в катіонах Fe²⁺ в кристалічного поля. за суті, дана смуга поглинання є суперпозицією смуг поглинання ортопіроксену, клинопіроксену та олівіну [32]. Дані мінерали мають слабкі смуги поглинання: оливин –

0,50 мкм, піроксен - 0,506 мкм [33]. Дві інші смуги поглинання, характерні для силікатної речовини: поблизу діапазону довжин хвиль 0,75-0,80 мкм (виникає при перенесенні заряду у Fe²⁺ → Fe³⁺ і типова для гідратованої або високоокисленої речовини) та смуга поглинання у 0,44-0,45 мкм (співвідноситься з вмістом Fe³⁺) [34].

Крім перелічених смуг поглинання при інтерпретації спектрів відображення враховувалися смуги, перелічені у роботі К. Фернандеса (див. табл. 4) [35].

Таблиця 4 – Смути поглинання деяких мінералів, і навіть можливий механізм їх появи [35]

Мінерал	Особливість	Можливий механізм
Олівіни	0,32 мкм	невідомо
<u>Піроксени</u>	0,3-0,34 мкм	Fe ⁺²
• Енстатит		
• Авгіт	0,27 мкм, 0,295 мкм, 0,3 мкм	перенесення Fe- O
	0,52 мкм, 0,62 мкм, 0,68 мкм	невідомо
• Діопсид	0,33 мкм	перенесення Fe- O
	0,6-0,7 мкм	невідомо
• Волластоніт	0,3 мкм	Ti ⁴⁺ або Fe- O
	0,67 мкм, 0,72 мкм, 0,78 мкм	невідомо
• Родоніт	0,3 мкм	Mn ³⁺ - O
	0,41 мкм	Mn ³⁺
	0,55 мкм	Fe ²⁺
	0,7 мкм	невідомо
<u>Польові шпати</u>	0,28 мкм	Fe ²⁺ - O
• Нефелін		
• Анортит	0,27 мкм	Fe ²⁺ - O
• Альбіт	0,4-0,5 мкм, 0,7 мкм	невідомо
<u>Оксиди</u>	0,27 мкм	невідомо
• Шпінель	0,32 мкм, 0,55-0,7 мкм	невідомо
• Магнетит	0,27 мкм	Fe ²⁺ - O
	0,305 мкм, 0,35 мкм, 0,62-0,64 мкм	невідомо
• Гібоніт	0,27 мкм	Fe ²⁺ - O
	0,34 мкм	Ti ⁴⁺ або Fe- O
Апатит	0,35 мкм	Mn ⁵⁺ або Cr ⁵⁺
	0,49 мкм	невідомо

<u>Карбонати</u>	0,27 мкм, 0,49 мкм	невідомо
• Арагоніт		
• Доломіт	0,27 мкм, 0,3 мкм, 0,34 мкм	Ti ⁴⁺ або Fe- O
• Магнезит,	0,27 мкм, 0,3 мкм, 0,34 мкм	Fe ²⁺ / Fe ³⁺
• Сидерит		
<u>Філоسیлікати</u>	0,27 мкм	невідомо
• Лізардіт		
• Монтморіллоніт	0,35 мкм	невідомо
	0,26 мкм	Fe ²⁺
• Сапоніт	0,3 мкм	Fe
	0,5 мкм, 0,62 мкм	Fe ²⁺ / Fe ³⁺

1.5 Загальна мінералогічна характеристика астероїдних класів Толена

Як уже описувалося в 1.3, астероїди поділяють на таксономічні класи, відбивають, в першу чергу, відмінності в мінералогії поверхні [36].

Основним класом, який охоплює близько 75% астероїдів, є С-клас. Об'єкти цього типу мають вкрай мале альbedo (0,04- 0,09), плоскі нейтральні спектри відбиття. Передбачувана мінералогія - Філоسیлікати, вуглець, органіка. Найбільш відповідні метеоритні аналоги - вугільні хондрити (Табл. 5), чий хімічний склад близький до складу протопланетної туманності Сонячної системи

Другий за поширеністю клас (близько 17%) – це S-клас. Об'єкти даного класу мають середня значення альbedo (0,1-0,3), нахил спектру відображення в видимому діапазоні має нахил з позитивним градієнтом, що наслідком наявності широкої УФ - смуги поглинання. Речовина астероїдів S-типу містить олівін, піроксен. Найбільш відповідні аналоги – залізо-кам'яні метеорити, звичайні хондрити та ахондрити.

M-клас – третій за чисельністю клас, має помірно візуальне альbedo (0,12-0,25) та високе радарне, плоский спектр з невеликим нахилом, без помітних смуг поглинання. Астероїди цього класу містять залізо, нікель, силікати (енстатит), а відповідні метеоритні аналоги – залізо-кам'яні та залізні астероїди. Вкрай ймовірно,

що ці астероїди є фрагментами металевих ядер більших, які були зруйновані через зіткнення взаємодії тіл на перших стадіях формування Сонячної системи. Однак, деякі представники даного класу мають значну силікатну складову, що виявляється у наявності філосілікатів [37]. Дане явище можна пояснити як можливий наслідок зіткнень з тілами примітивної мінералогії [38]. Таким чином, аналізуючи розподіл астероїдів у Головному поясі, можна зробити висновок про вплив фізико-хімічних та динамічних факторів, що діяли в ранній Сонячній системі, на особливості будови Головного поясу, крім дроблення батьківських тіл [29], [36], [39].

Таблиця 5 — Загальна мінералогічна характеристика астероїдних класів Толена та їх метеорні аналоги [36], доповнена матеріалами з роботи [39]

Тип	Передбачувана поверхнева мінералогія	Можливі метеоритні аналоги
A	олівін або олівін-метал	олівіновий ахондрит (уреїліт, брашиніт) або палласіт
B	гідросилікати +	CI1-CM2; а також попередні сімейства матеріалів
C	вуглець/органіка/непрозорі фази	
F		
G		
D	Вуглець / збагачені органікою	можливо: CI1- CM2;
P	силікати?	Частинки космічного пилу, збагачені органікою
E	енстатит або інші беззалізнi силікати	енстатитові ахондрити (поголені)

M	метал (зі слідами силікатів) та/або метал + енстатит	залізні метеорити (можливо, із силікатними включеннями), енстатитовий хондрит
Q	олівін + піроксен + метал	звичайні хондрити
	піроксен + олівін	піроксен-олівінові ахондрити
	метал ± олівін ± піроксен	паласити з аксцесорним піроксеном та/або залізо-кам'яні метеорити з переважанням олівіна та/або уреїліти та CV/CO - хондрити та/або примітивні ахондрити (вінонаїти, акапулькоїти, лодраніти) + звичайні хондрити
	піроксен ± польовий шпат	базальтові ахондрити (говардити, евкриті, діогеніти)
	можливо, подібні типам P/D	можливо, подібні типам P/D

2 Обробка спостережень і отримання спектрів відображення

2.1 Обсерваторії і інструменти, використовувані для отримання наглядових даних.

Більша частина спектрофотометричних даних була отримана за допомогою 2-го телескопа з призмінним ПЗЗ-спектрометром (WI CCD 1240x1150) Теркольської філії ІНАСАН з роздільною силою $R = 100$ в діапазоні 0,35-0,90 мкм. Спостереження отримані як особисто автором, так і колегами з ІНАСАН протягом 2016-2019 років.

Обсерваторія "Пік Терскол" знаходиться на висоті 3150 м н.р.м. на південному плечі м. Ельбрус (Кабардино-Балкарія, Ельбруський район, Пріельбрусьсьє, Росія). Використовуваний інструмент, 2-м Річі - Кретьєн - Куди телескоп виробництва Carl Zeiss Jena GmbH є основним для обсерваторії. Фокусне відстань головного гіперболічного дзеркала 5,6 м. Еквівалентні фокусні відстані Річі - Кретьєн та Куде системи 16 м і 72 м, відповідно. Відповідні поля зору є 108 і 5 кутових хвилин [58].

Фотометричні спостереження, в здебільшого використовувані в Главі 3, були отримані на обсерваторіях «Кримська лабораторія ДАШ МДУ імені е.. А. Дібая» та «Санглок», Таджикистан.

Кримська обсерваторія ДАШ МДУ знаходиться у сел. Науковий, Крим, висоті 600м. Використовуваний інструмент - Цейс-600 ($D = 600$ мм, $F = 7200$ мм) [59].

Обсерваторія Санглок - астрономічна обсерваторія, що знаходиться на однойменній горі за 90 км від Душанбе на висоті 2300 м н.р.м. Використовуваний інструмент - 1-му RCC (Річі-Кретьєна-Куде) ($D=1$ м, $F=13$ м) [60].

2.1.1 Програмне забезпечення

Запис вихідних спектрофотометричних даних здійснювався у форматі FTS. Обробка даних здійснювалася з використанням програмного забезпечення DECH (пакети DECH20T і DECH95) [61]. DECH дозволяє обробляти спектральні дані будь-якого типу та є досить простим для використання. Надалі проводилася реструктуризація даних формати файлів .100 і .data. Крім цього програмного забезпечення використовувався Origin 2015 – програмне забезпечення для обробки

даних та наукової графіки [62].

Для обробки фотометричних даних використовувалося програмне забезпечення для обробки астрономічних зображень MaxIM DL. У цій програмі застосовується метод апертурної фотометрії [63].

2.1.2 Короткий порядок роботи

Насамперед для кожного астероїда збиралася інформація про його орбіту і приладдя до певною групі астероїдів, зближуються з Землею, а також додаткові дані, такі як альbedo, період обертання та обігу, перигелійна відстань та фазовий кут на момент спостережень. Ця інформація необхідна додаткового непрямого підтвердження правильності визначення таксономічного класу.

Перед початком роботи з даними було проведено поправку на калібрувальні дані, а також, спираючись на стандартні зірки, вибрані для кожного астероїда, пораховано атмосферні коефіцієнти. Калібрування шкали довжин хвиль здійснювалося за бальмерівською серією спектральних ліній водню в спектрах випромінювання яскравих зірок ранніх спектральних класів. При спостереженнях такою зіркою була переважно α Peg (класу B9III).

За допомогою програмного пакету DECH здійснювалася екстракція спектрів та їх прив'язка до довжин хвиль. СКЯ обчислювався за Формулою 8. Отримані спектри нормувалися на значення на довжині хвилі 0,55 мкм (Формула (9)). З допомогою фільтрів Origin для придушення залишкового шуму проводилася частотна фільтрація та згладжування спектрів відображення.

Маючи у розпорядженні нормовані згладжені спектри відображення астероїдів, можна якісно судити про їхнє відношення до того чи іншого таксономічного класу.

Результати розрахунків представлені в наступних розділах, наведені кращі отримані спектри відображення з відношенням сигнал/шум не менше 4.

Як і при спектральних вимірюваннях з фотометричними даними, проводилися стандартні процедури обробки за допомогою пакета MaxIM DL, а потім

застосовувався той же алгоритм, описаний на початку розділу, із застосуванням у вигляді стандартних зірок - зірок-аналогів Сонця. Відбивна здатність астероїдів, що складається з 4-5 точок у кожному з фільтрів, з'єднана відрізками і нормована на значення в смузі V.

2.1.3 Оцінка спектрального типу

Для порівняння, а також для підтвердження отриманої оцінки спектрального класу астероїда використовувалися дані із бази SMASS [28]. Спектроскопічне дослідження астероїдів головного поясу (SMASS) було розпочато в 1990 року з метою отримання спектрів в області видимих довжин хвиль для значної кількості малих ($D < 20$ км) астероїдів головного поясу. Друга мета - зробити можливим вимір навколоземних астероїдів. Спостереження в здебільшого виконувалися з допомогою 2,4-метрового телескопа Хілтнера, розташованого в обсерваторії Мічиган-Дартмутського Массачусетського технологічного інституту (MDM) на південно-західному гребінці Кітт-Пік в Арізона. Спостереження виконані з використанням спектрографа низького дозволу, щоб охопити діапазон довжин хвиль від 4000 до 10000 Å за одну експозицію з дисперсією ~ 10 Å/піксель. Ця методика дозволяє відображати весь спектр за одну експозицію і має багато переваг порівняно з поєднанням різних областей спектральних з окремих зображень. Зокрема, ефекти, що виникають через поворот світла астероїда, можна знехтувати.

При створенні бази SMASS докладалися значних зусиль для забезпечення правильною калібрування спектрів астероїдів. Калібрування довжини хвилі здійснювалася за зображеннями ліній Hg, Ar та Xe, отриманих від ламп у спектрографі. Спостерігалися також сонячно-аналогові зірки (зазвичай 16 Cyg B та NuA 64) для калібрування спектра відносного відображення астероїда та зірок калібрування потоку для моніторингу змін в атмосфері. Астероїди спостерігалися до $V=19$, час експозиції - в діапазоні від 15 до 30 хвилин. Більше тривалі експозиції не використовуються, щоб мінімізувати ефекти дії космічних променів. Коли це можливо, кожен астероїд перевірявся принаймні двічі для узгодженості. Для

порівняння та моніторингу можливих систематичних помилок також спостерігалися яскравіші астероїди з відомими спектральними характеристиками. Швидкість руху астероїда є контрольним параметром: ідентичність астероїда перевіряється за допомогою знаходження вектора руху щодо найближчих зірок. Для слабких об'єктів спектри виявляються зашумленими як на крайньому синьому, так і на ближньому інфрачервоному кінцях через низькою чутливості ПЗЗ у цих спектральних діапазонах.

Обробка даних та отримання спектрів відображення проводилася за допомогою програмного пакету IRAF. Після розподілу на спектр зірки сонячного типу, що спостерігалася тієї ж ночі, і нормування до одиниці на 0,55 мкм, були отримані відносні спектри відбиття для кожного астероїда.

У якості додаткового непрямого підтвердження типу деяких астероїдів проводилася якісна оцінка відповідності зі схожими по спектру метеоритів. Спектри відображення метеоритів взяті з бази даних Вінніпегського університету (Winnipeg Planetary spectrophotometer facility (PSF), або HOSERLab) [31].

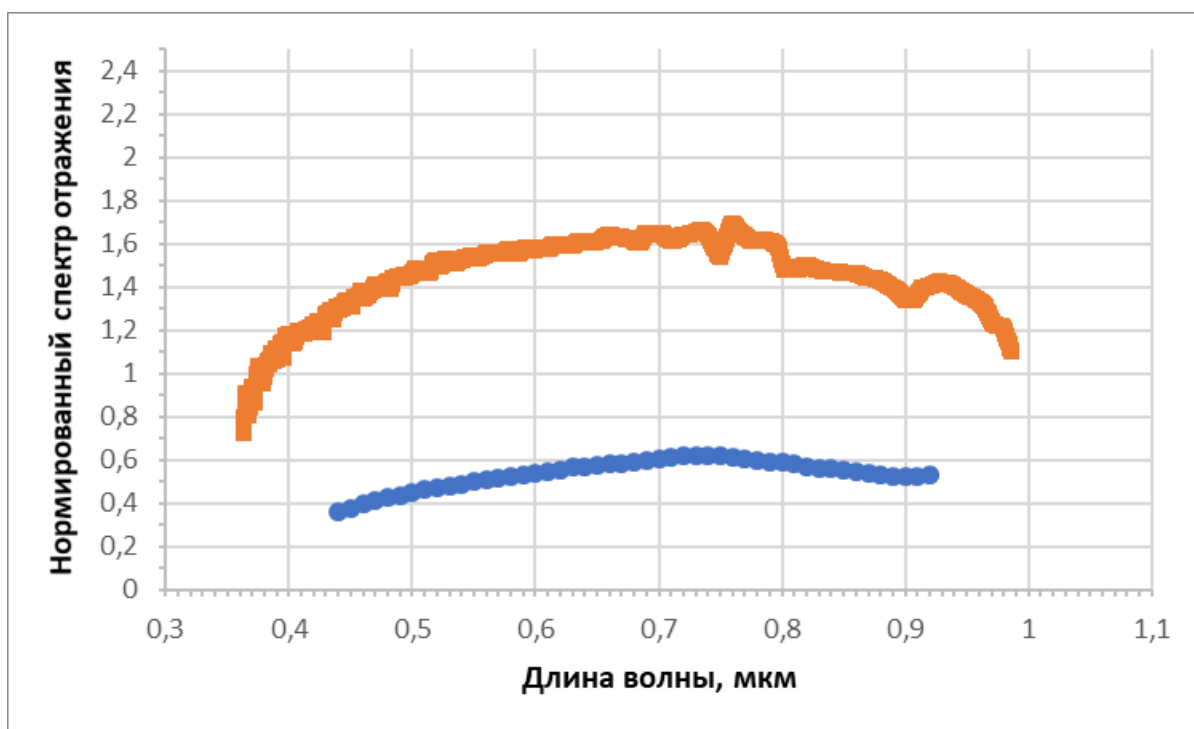
3. Результати спектрів Астероїдів Головного Пояси

У цьому розділі наведено результати якісної інтерпретації розрахованих спектрів відображення астероїдів. Наглядові дані були отримані на терскольській філії ІНАСАН обсерваторії «Пік Терскол» автором разом із колегами. Представлені кращі отримані спектри відбиття зі ставленням сигнал/шум не менше 4, а також визначення таксономічного класу. На графіці з отриманими нами спектрами відображення наведено нижче спектр відображення з бази SMASS [28].

У випадку, якщо вдалося підібрати схожий спектр відображення метеориту, то на одному графіку представлялися спектр відображення астероїда і метеориту, що розглядається. Крім того, дається коротка довідка про характеристику та склад підібраних метеоритів з публікацій.

3.1 11 Парфенопа

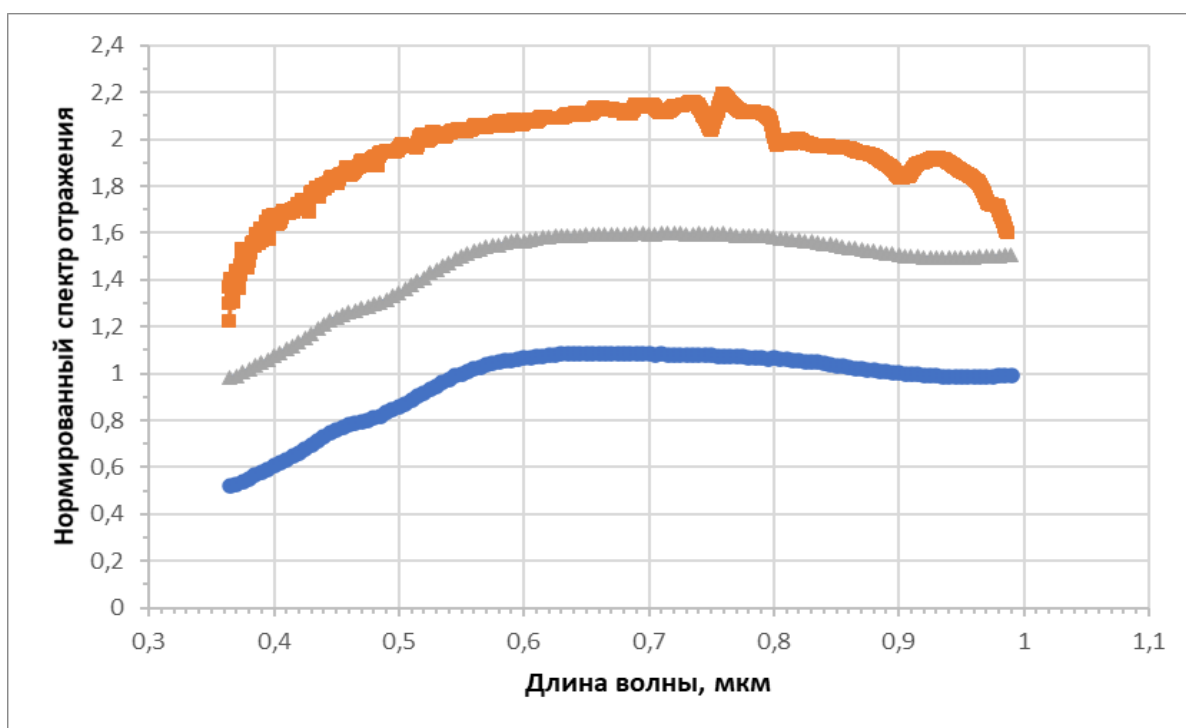
Період звернення 11 Парфенопи становить 1402,9 діб, а період обертання - 13,72 год. Геометричне альbedo становить 0,1803, діаметр - 153,3 км [2], [56] .



Малюнок 13 - Нормований спектр відображення астероїда 11 Парфенопа (2016.09.19 UTC 23:20) – верхній, нормований спектр відображення з бази SMASS – нижній

Позитивний градієнт спектру відображення виразно вказує на високотемпературну мінералогію, що підтверджують інші джерела [14], [66], визначаючи астероїд у клас S (Рис. 13), однак отримані нами дані швидше показують А-Q-клас: на це вказує значна ширина смуги поглинання 1 мкм.

Як додаткове підтвердження високотемпературної мінералогії можна навести схожі спектри відображення метеоритів з бази університету Вінніпег, а саме уреїлітів Allan Hills 82130 та Grosvenor Mountain 95575 (Рис.14) [67] . Диференційовані ахондрити класу уреїліти складаються в основному з олівіну та піжоніту (піроксен). Їхня речовина зазнало часткове плавлення і наступну диференціацію речовини [42]. Уреїліти можуть бути можливим метеоритним аналогом астероїду класу А [36].



Малюнок 14 – Нормований спектр відображення астероїда 11 Парфенопа (2016.09.19 UTC 23:20) – верхній, нормований спектр відображення метеориту Allan Hills 82130 (уреїліт) з бази університету Вінніпег – середній, нормований спектр відображення метеорита Grosvenor Mountain 95575 (Уреїліт) з бази університету Вінніпег – нижній

3.2 225 Генрієтта

Астероїд 225 є об'єктом зовнішньої частини головного поясу. Геометричне альbedo складає 0,04-0,06 (дані з різних джерел), діаметр - 120,49 км [2], [56] . Період звернення становить 2282,12 діб, а період обертання астероїда - 7,36 год [68] .

На жаль, вдалося спостерігати цей астероїд лише одного разу, проте під час вкрай сприятливих погодних умов, що дозволяє позитивно ставитися до отриманого результату (Додаток А).

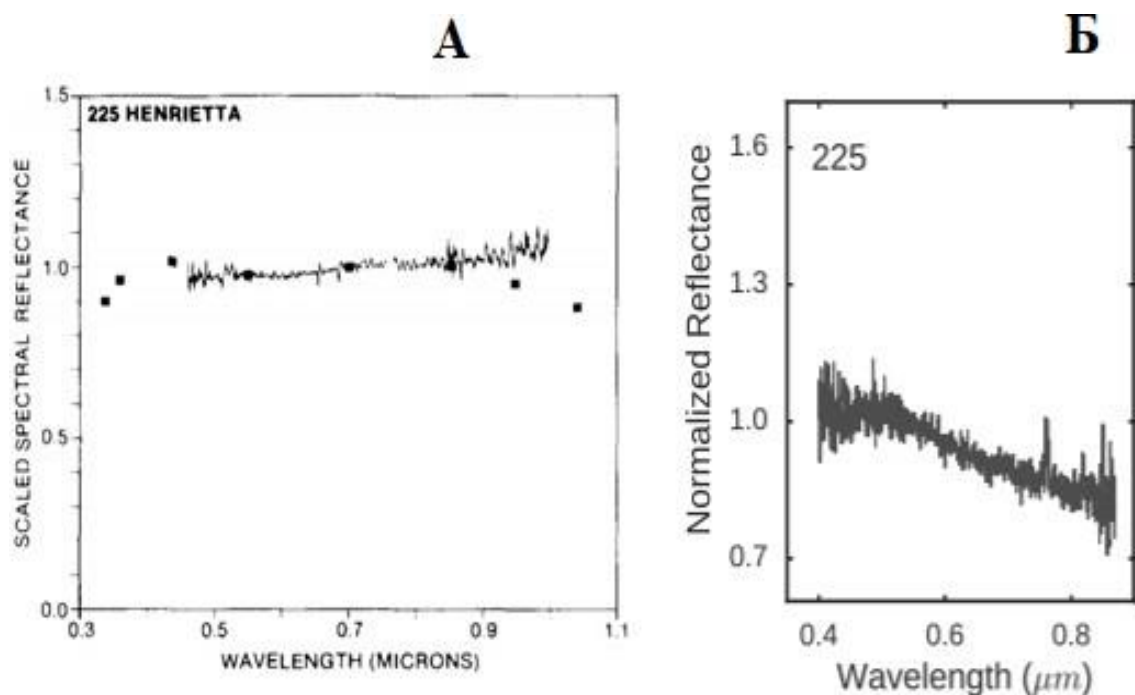


Малюнок 15 - Нормований спектр відображення астероїда 225 Генрієтта (2019.05.17)
UTC 23:51)

Мале альbedo та поступове зростання спектра відображення вказують на низькотемпературний клас (Рис. 15) , що підтверджується й іншими авторами (Рис. 16(a)) [69], визначальними більше рідкісний підклас низькотемпературних астероїдів F. У роботі [70] відзначається негативний градієнт спектру відображення в довгохвильовій області і дається оцінка як класу B, що характеризується також низькотемпературною мінералогією (Рис.16 (б)).

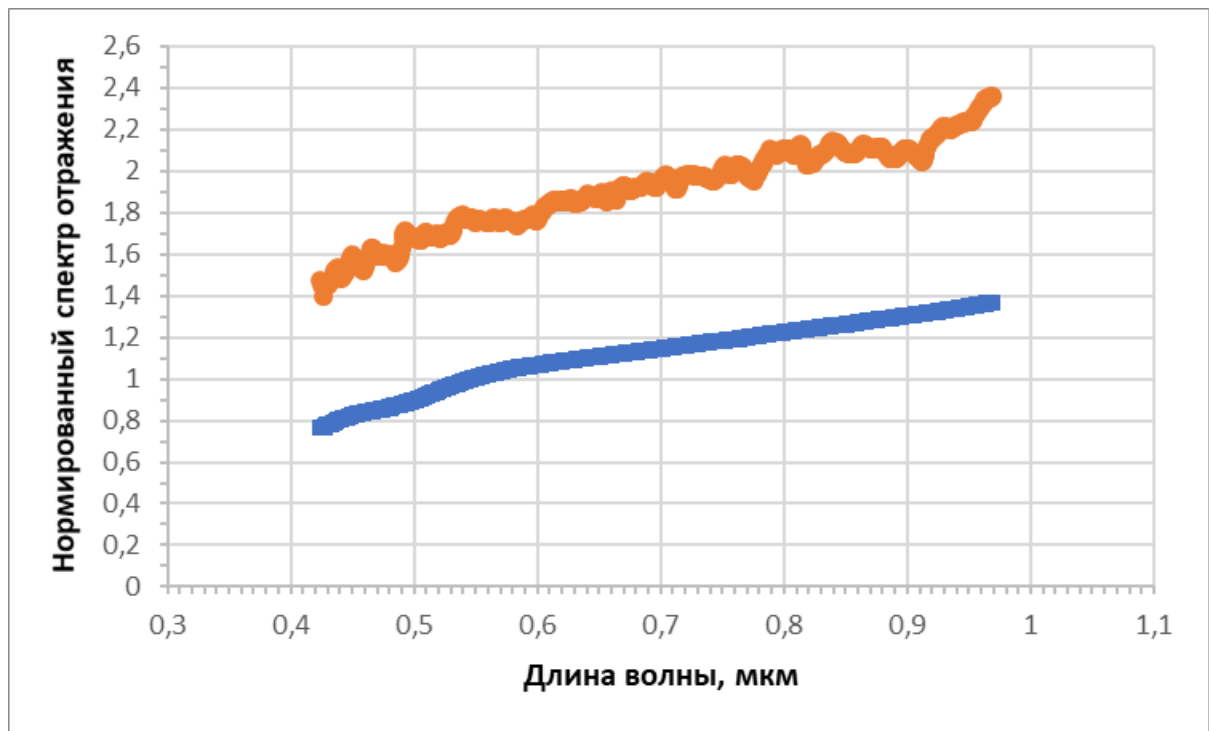
В роботі Віллс та ін [71] відзначається вкрай слабкий позитивний градієнт спектру. Однак варто відзначити смугу поглинання 0,9 мкм, що свідчить про

наявність піроксенів, а також смугу 0,55 мкм. З іншого боку, поява смуги 0,55-0,6 мкм може свідчити також наявність гідросилікатів (очевидно, внаслідок перенесення заряду $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$). Робота [71] також зазначає присутність цієї особливості і також пов'язує з перенесенням заряду в залізі. Тому варто говорити про можливий змішаний склад.



Малюнок 16 - (а) Нормований спектр відображення 225 Генрієтта по даними статті [69] (б) Нормований спектр відображення 225 Генрієтта за даними статті [70]

Крім вищезгаданих джерел можна навести подібний спектр відображення метеорита Alais (хондрит CI1) (Мал. 17) [67]. Хондрити CI1 зазвичай містять велику кількість води (до 22%), що сприяє наявності водомістких мінералів - філосилікату, магнетиту та олівіну, присутніх у матриці, і можливої відсутності хондр [72]. Цей хондрит зазнав високого ступеня водної зміни [67].



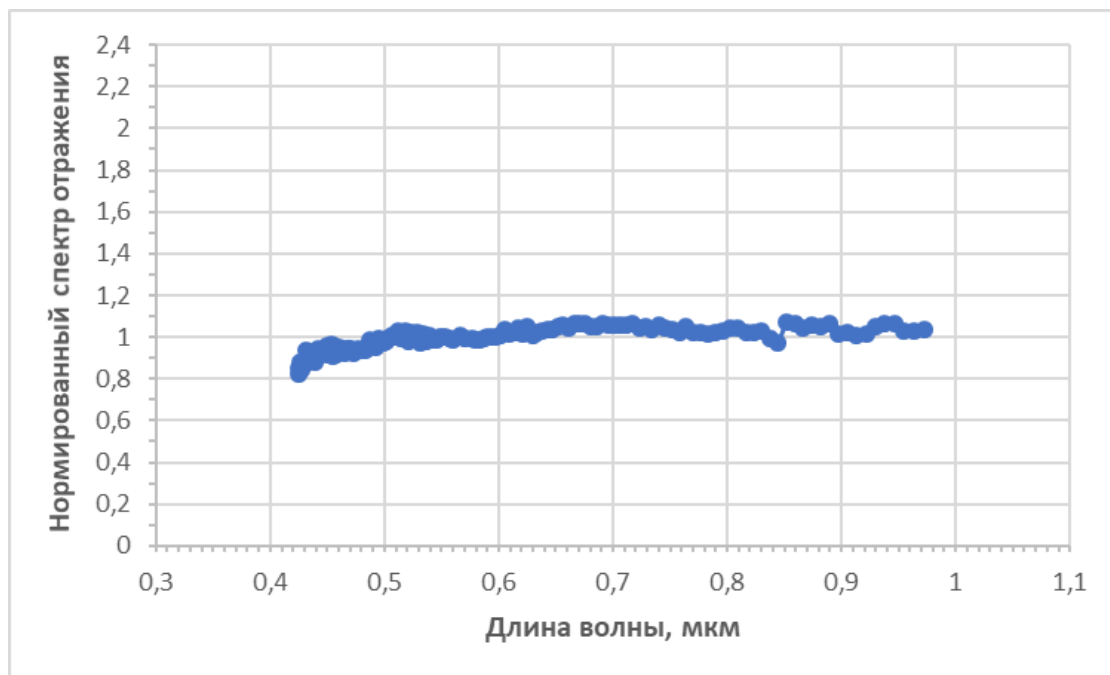
Малюнок 17 - Нормований спектр відображення 225 Генрієтта (2019.05.17) UTC 23:51) - верхній, нормований спектр відображення метеорита Alais (хондрит CI1) з бази університету Вінніпег – нижній

3.3 307 Ніка

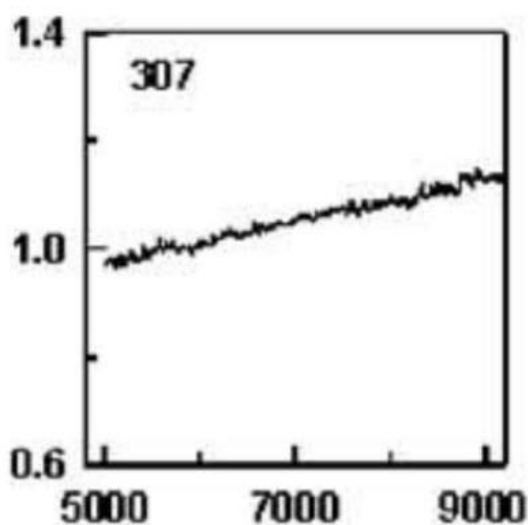
Астероїд 307 Ніка має період обігу в 1809,72 діб., а період обертання - в 11,857 год. Геометричне альбедо даного астероїда становить 0,043, діаметр – 61,3 км [2], [56].

Практично горизонтальний спектр відображення відповідає низькотемпературній мінералогії, а саме класу 3 (Мал. 18). Дана оцінка підтверджується та іншими авторами [73] (рис. 19).

Як додаткове підтвердження зазначеного класу може бути відповідність спектру відображення метеорита класу CI1 Orgueil (Рис. 20) [67], взятого з бази університету Вінніпег.



Малюнок 18 - Нормований спектр відображення астероїда 307 Ніка (2018.11.04) UTC 20:42)



Малюнок 19 - Нормований спектр відображення астероїда 307 Ніка [73]

СІ тип примітний тим, що характеризується складом, що є найбільш близьким до сонячного, а також найбільшою кількістю гідратованих силікатів у порівнянні з іншими метеоритами [42]. Петрографічне дослідження углистого хондриту Orgueil CI1 показує, що його матриця складається з Fe-Mg-серпентину і сапоніту.

Речовина даного метеорита зазнало значної зміни під впливом води на батьківському тілі [74].

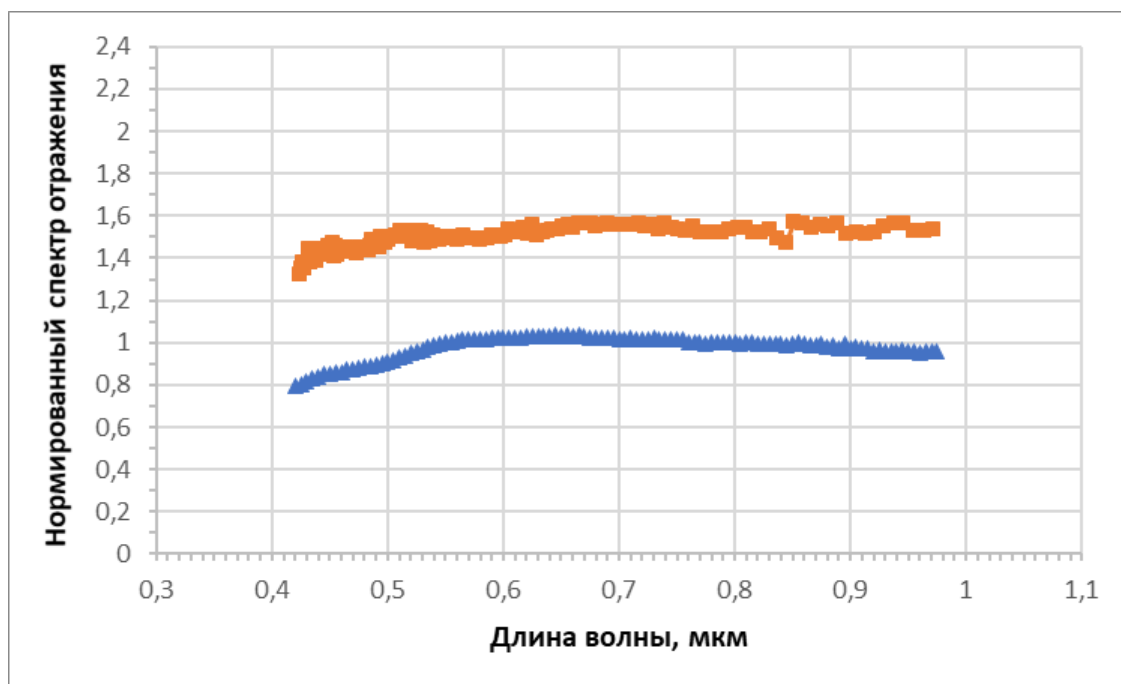
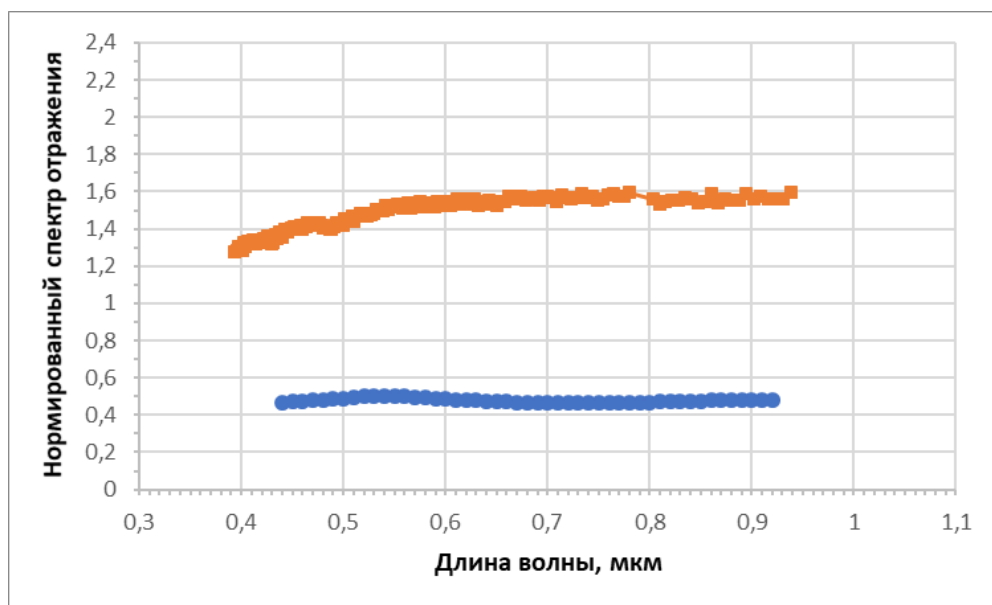


Рисунок 20 – Нормований спектр відображення астероїда 307 Ніка (2018.11.04 UTC 20:42) - верхній, нормований спектр відображення метеорита Orgueil (хондрит CI1) з бази університету Вінніпег – нижній

3.4 345 Терцидину (1892) О

Астероїд 345 Терцидину спостерігався у вересні 2016 року протягом однієї ночі, вдалося отримати лише 5 спектрів (Додаток А). Геометричне альbedo даного астероїда - 0,065, яке діаметр - 94,12 км. Період звернення становить 1294,95 діб, період обертання астероїда - 12,37 год. [2], [56].

Спектр відображення астероїда має невеликий позитивний градієнт (Рис. 21), що дозволяє зарахувати цей астероїд до таксономічного класу С, що збігається з оцінкою, зроблена іншими дослідниками [75], [76]. Підтверджувальною ознакою приналежності до цього класу є слабка смуга поглинання в діапазоні довжин хвиль 0,43-0,47 мкм (гідратованих силікатах).



Малюнок 21 — Нормований спектр відображення астероїда 345 Терцидину (1892 O) (2016.09.26 UTC 00:20) - верхній, нормований спектр відображення з бази SMASS - нижній

Додатковим підтвердженням може бути схожість зі спектром відображення метеорита Orgueil класу CI1 [67] , (Рис. 22), чия речовина не піддавалася значному нагріванню, а змінювалося під дією води [74].

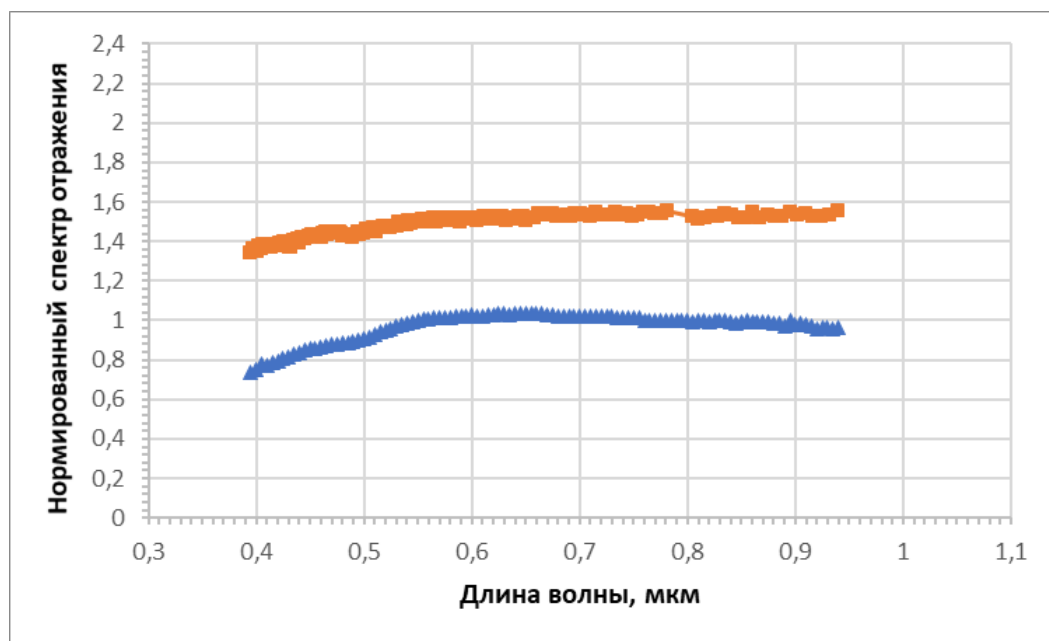


Рисунок 22 — Нормований спектр відображення астероїда 345 Терцидину (1892 O) (2016.09.26 UTC 00:20) - верхній, нормований спектр відображення метеорита Orgueil (хондрит CI1) з бази університету Вінніпег – нижній

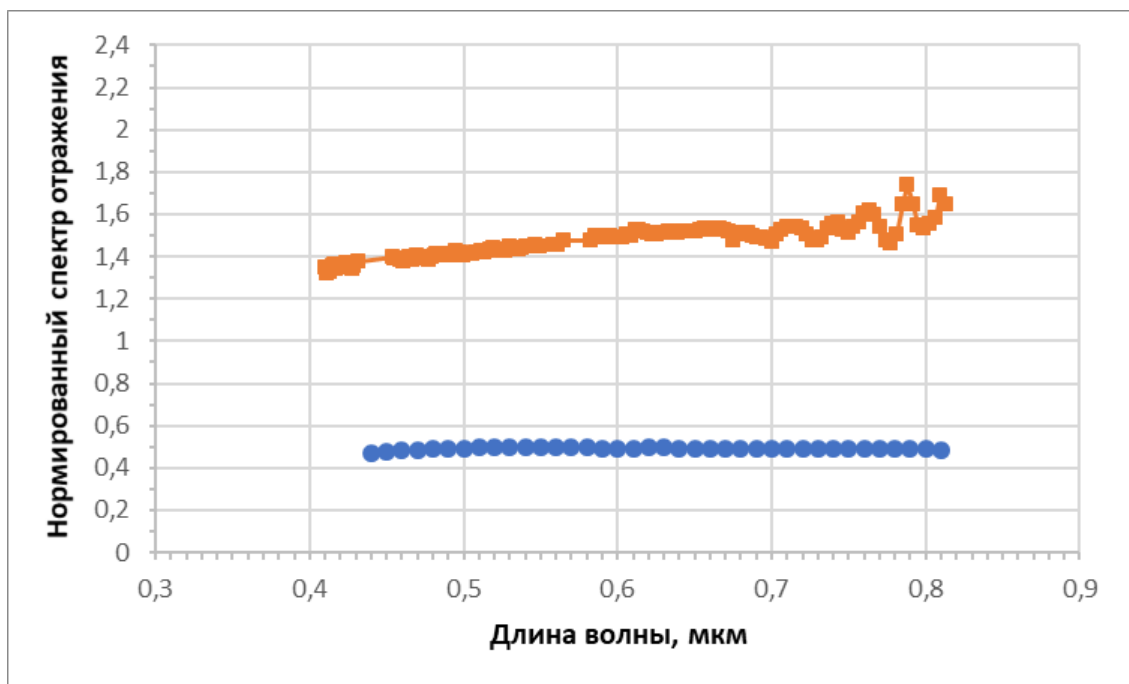
3.5 381 Мірра (1894 AS)

381 Мірра є астероїдом зовнішньої частини Головного Поясу. Період обігу даного астероїда становить 2114,6 діб, період обертання астероїда – 6,57 год. Геометричне альbedo має значення 0,06, діаметр – 120,58 км [2], [56] .

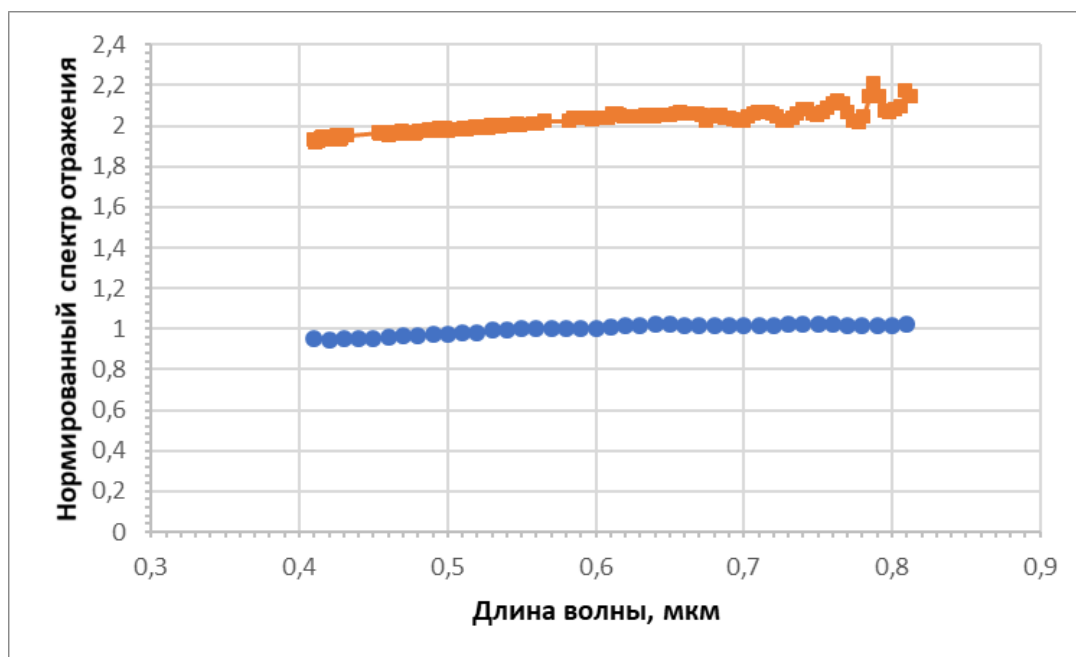
Астероїд спостерігався одну ніч, 2016.05.29, всього 1 спектр (Прил. А).

Спектр відображення астероїда має слабкий позитивний градієнт, що відповідає низькотемпературному класу С (Рис. 23), який також підтверджує робота [75] , [76] .

Також зауважимо подібність спектра відображення астероїда та спектра відображення метеорита групи CM2 - Murchison (Мал. 23) [67]. Даний тип метеорита відрізняється дрібними хондрами, тугоплавкими включеннями, рясною дрібнозернистою матрицею (~ 70 об.%), що містить гідратовані мінерали (філосилікати) [67], [77], [78].



Малюнок 23 – Нормований спектр відображення астероїда 381 Мірра (1894 AS) (2016.05.28 UTC 23:32) - верхній, нормований спектр відображення з бази SMASS - нижній

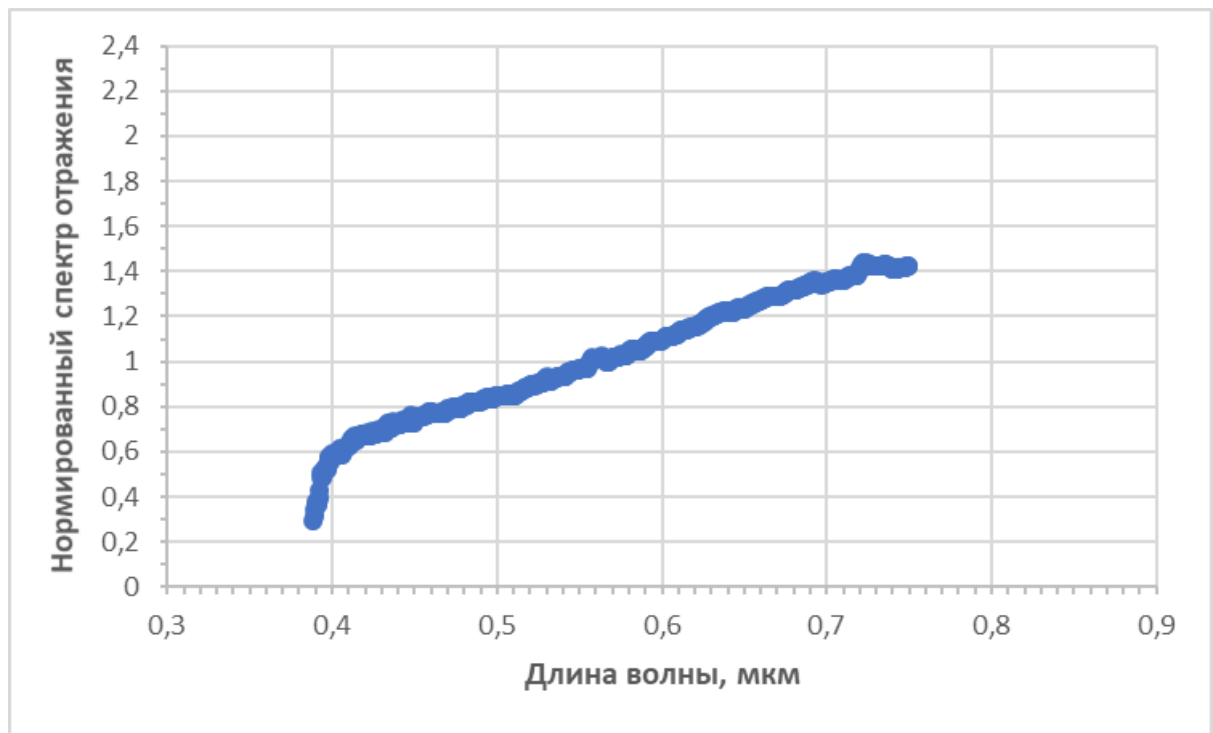


Малюнок 24 – Нормований спектр відображення астероїда 381 Мірра (1894 AS) (2016.05.29 UTC 23:32) - верхній, нормований спектр відображення метеорита Murchison (хондрит CM2) з бази університету Вінніпег – нижній

3.6 482 Петрина (1902) НТ)

Астероїд 482 Петрина спостерігався протягом двох ночей у червні 2017 року, всього було отримано 4 спектри (Додаток А). Період обігу даного астероїда становить 1895,25 діб, а період обертання астероїда – 11,79 год. Діаметр становить 46,57 км, геометричне альbedo – 0,24 [2], [56] .

Спектр відображення має добре виражене зростання в довгохвильовій ділянці, що вказує на високотемпературну мінералогію (Рис. 25). Згідно бази даних малих тел [56] астероїд відноситься до класу S по Толену (на підставі двох колірних індексів), що узгоджується з нашої оцінкою. Про це побічно говорить високе альbedo.



Малюнок 25 - Нормований спектр відображення астероїда 482 Петрина (1902) НТ)
(2017.06.24 UTC 19:57)

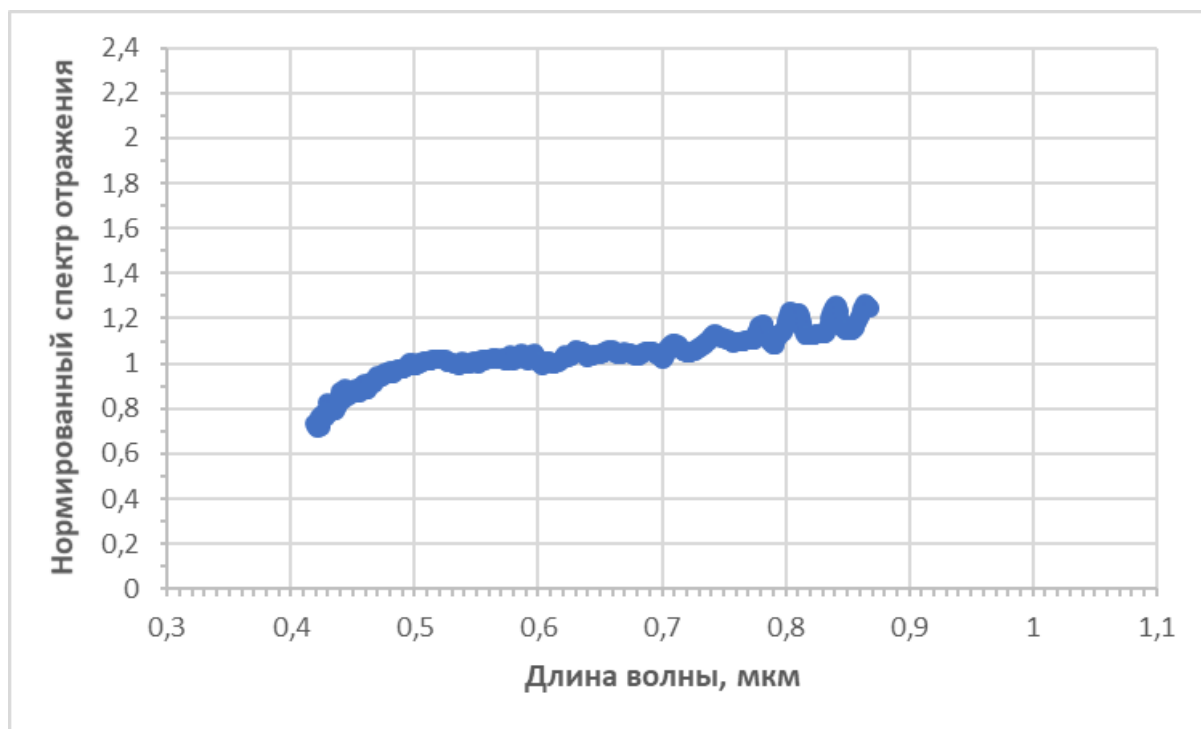
3.7 488 Креуса (1902) JG)

Період звернення 488 Креуси становить 2058,42 діб. , а ось дані про період обертання навколо власної осі суперечливі. Результат, отриманий во час спостережень в 1979-1981 рр, - більше 28 годин [79], робота від 2000 [80] дає оцінку в 6 годин. Обговорення такої різниці виходить за межі цієї роботи, але можна припустити, що астероїд пережив зіткнення з іншим об'єктом. Геометричне альбедо становить 0,047, діаметр - 168,117 км [2], [56] .

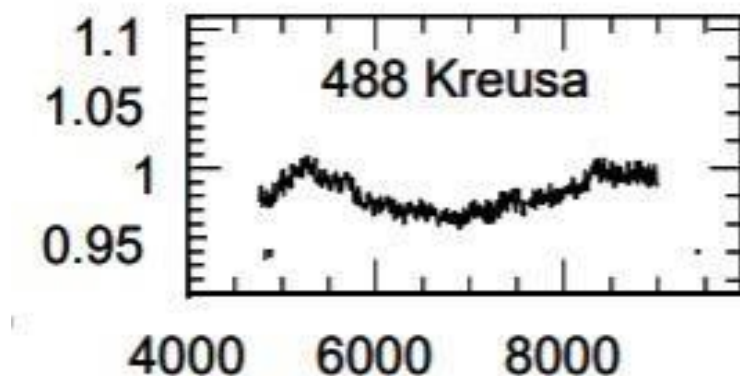
Астероїд спостерігався одну ніч, всього 3 спектру (Додаток А) .

Спектр відображення має невеликий позитивний градієнт (рис. 26), що відповідає низькотемпературної мінералогії класу 3, що узгоджується з результатами інших авторів, а також додатковими спостереження в більш широкому діапазоні [43], [81]. Так у роботі [43] зазначається наявність достатньо широкою смуги поглинання з центром у 0,7 мкм (Мал. 27),

характерною для гідратованих з'єднань (філосилікати), а також наявність даних з'єднань підтверджується наявністю смуги у 3 мкм [81].

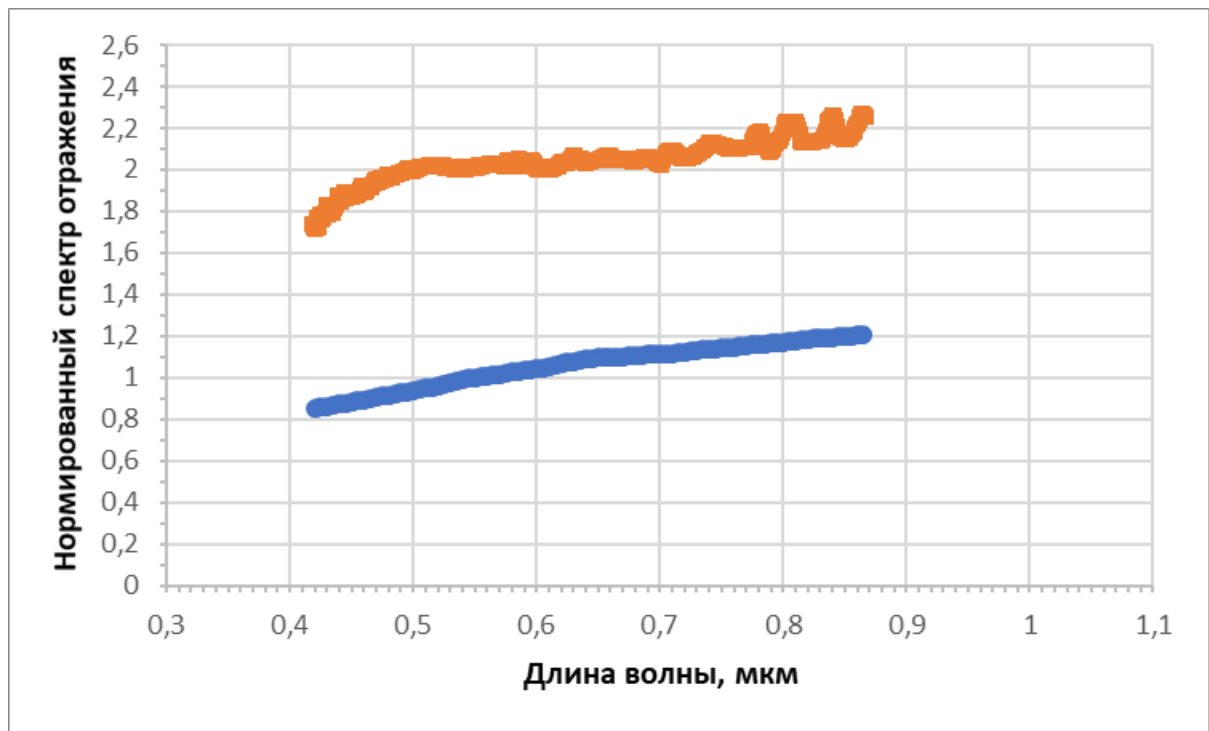


Малюнок 26 - Нормований спектр відображення астероїда 488 Креуса (2019.05.22 UTC 20:17)



Малюнок 27 - Нормований спектр відображення астероїда 488 Креуса (1902) JG) [43]

Як метеорита-аналог можна навести Mighei (CM2) (Рис. 28). Цей метеорит містить позаземні органічні сполуки (загальний зміст = 2,6%) і позаземну воду, яка пов'язана з філосилікатами заліза-магнію (загальний вміст H_2O = 12%) [82].



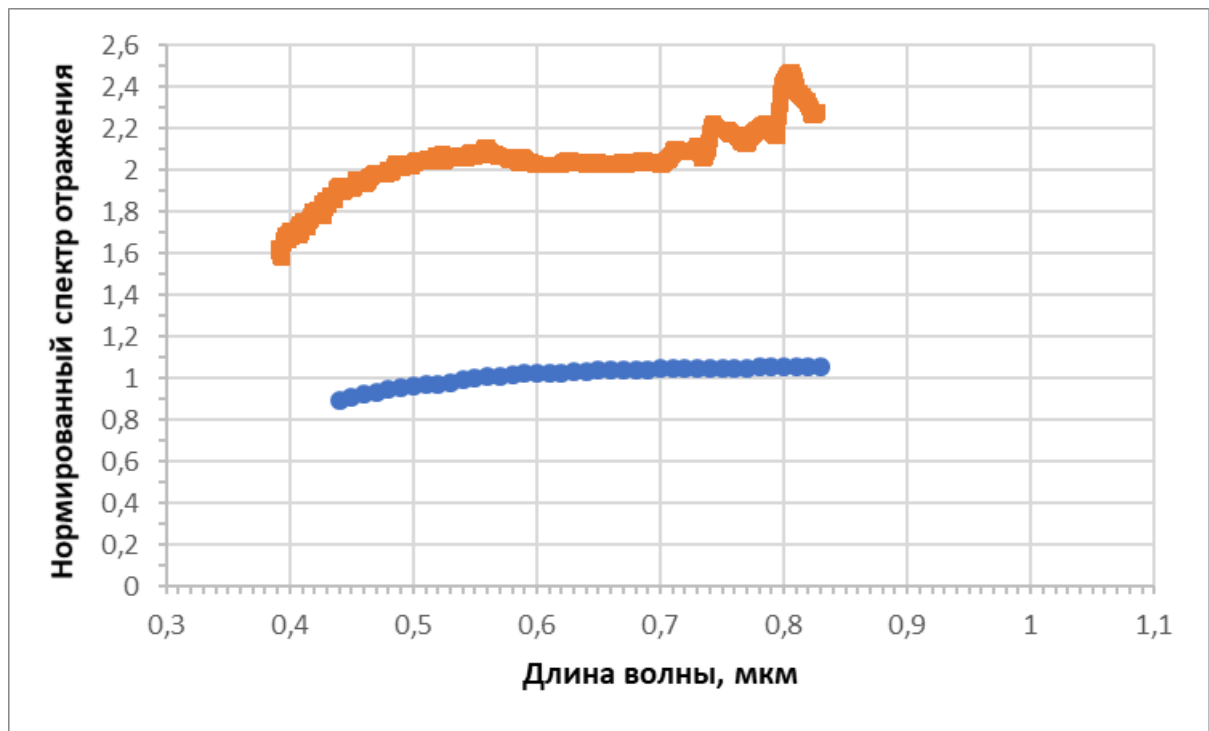
Малюнок 28 – Нормований спектр відображення астероїда 488 Креуса (2019.05.22 UTC 20:17) - верхній, нормований спектр відображення метеорита Mighei (хондрит CM2) з бази університету Вінніпег – нижній

3.8 7 12 Болівіана (1911) LO

Період обігу астероїда 712 Болівіана становить 1509,48 діб, а період обертання астероїда – 11,732 год, геометричне альbedo – 0,051, діаметр – 127,57 км [2], [56] .

Астероїд спостерігався дві ночі, всього 3 спектру (Додаток А).

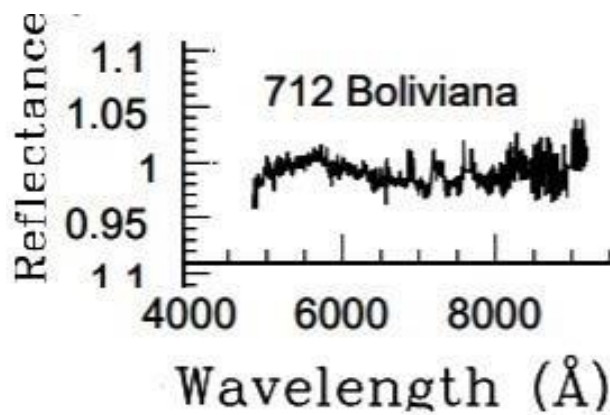
Низьке геометричне альbedo сигналізує про низькотемпературну мінералогію, форма спектру відображення в діапазоні 0,55-0,67 мкм змінюється від опуклої до увігнутої (Мал. 29). Причиною появи цієї значної смуги поглинання (мабуть, через перенесення заряду Fe^{2+} Fe^{3+}) може бути наявність гідросилікатів. Це твердження підтверджується іншими авторами [43] (Рис. 30). Однак позитивний градієнт спектра відбиття може вказувати на неоднорідність складу.



Малюнок 29 – Нормований спектр відображення астероїда 712 Болівіана (1911 LO) (2017.06.27 UTC 21:25) – верхній, нормований спектр відображення з бази SMASS - нижній

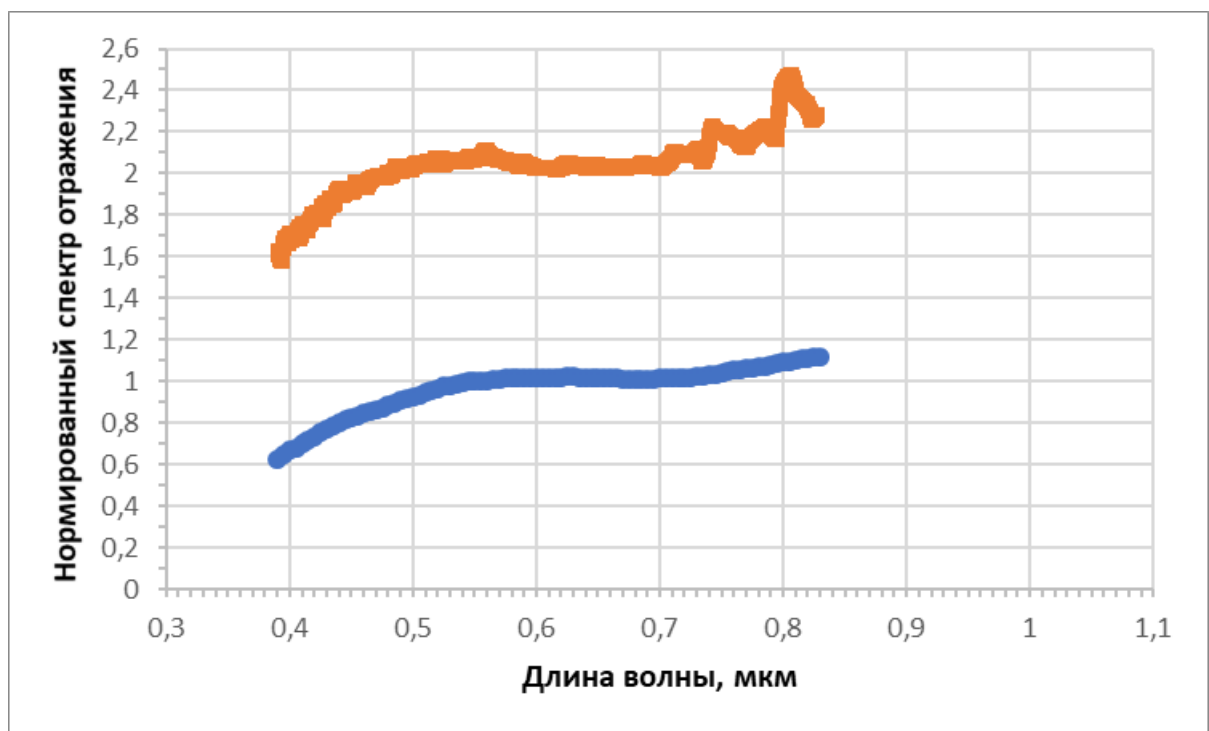
Згідно [56] по класифікації Толена астероїд належить класу С, по роботі [14] згідно з класифікацією SMASS II – класу Х.

Порівнюючи спектр відображення даного астероїда та спектри відображення хондритів, представлених в базі університету Вінніпег, можна, можливо Відзначити подібність із діапазоном хондриту Lewis Cliff (85311) (Рис. 31). Lewis Cliff (LEW) 85311 класифікується як СМ-хондрит, проте він має деякі незвичайні властивості. Цей метеорит складається з хондр, оточених облямівкою, і тугоплавких включень, які розташовані в дрібнозернистій багатій на філосилікат матриці.



Малюнок 30 - Нормований спектр відображення астероїда 712 Болівіана (1911 LO (1892 O) [43]

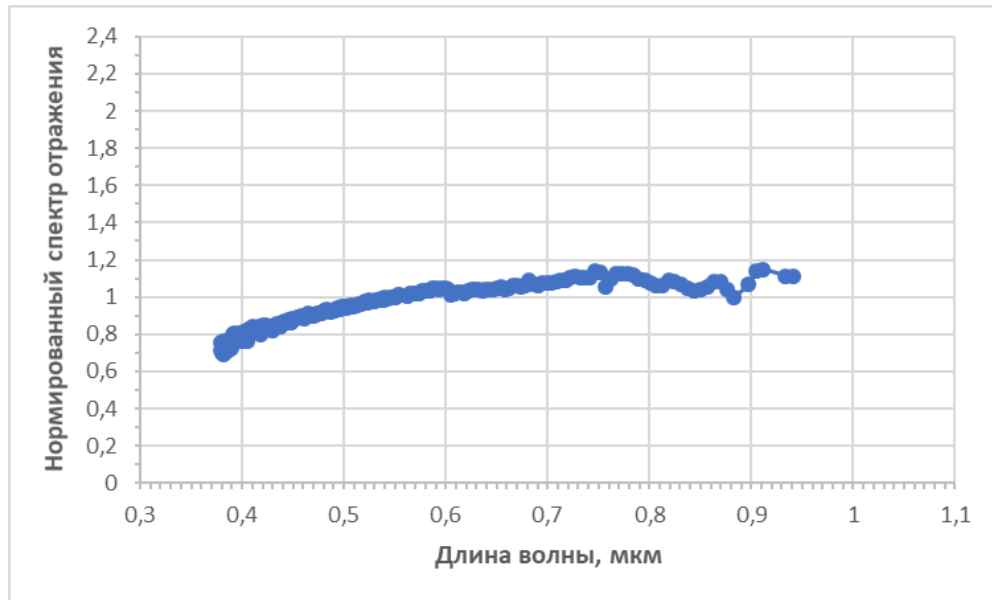
LEW 85311 збагачений тугоплавкими елементами, в даний час визначають як CM - негрупований. Відмінна риса цього метеорита - наявність рясних тугоплавких включень та об'єктів мікрометрового розміру, що складаються з голчастого кальциту [83].



Малюнок 31 – Нормований спектр відображення астероїда 712 Болівіана (1911 LO) (2017.06.27 UTC 21:25)– верхній, нормований спектр відображення метеорита Lewis Cliff 85311 (хондрит CM2 негрупований) з бази RELAB – нижній

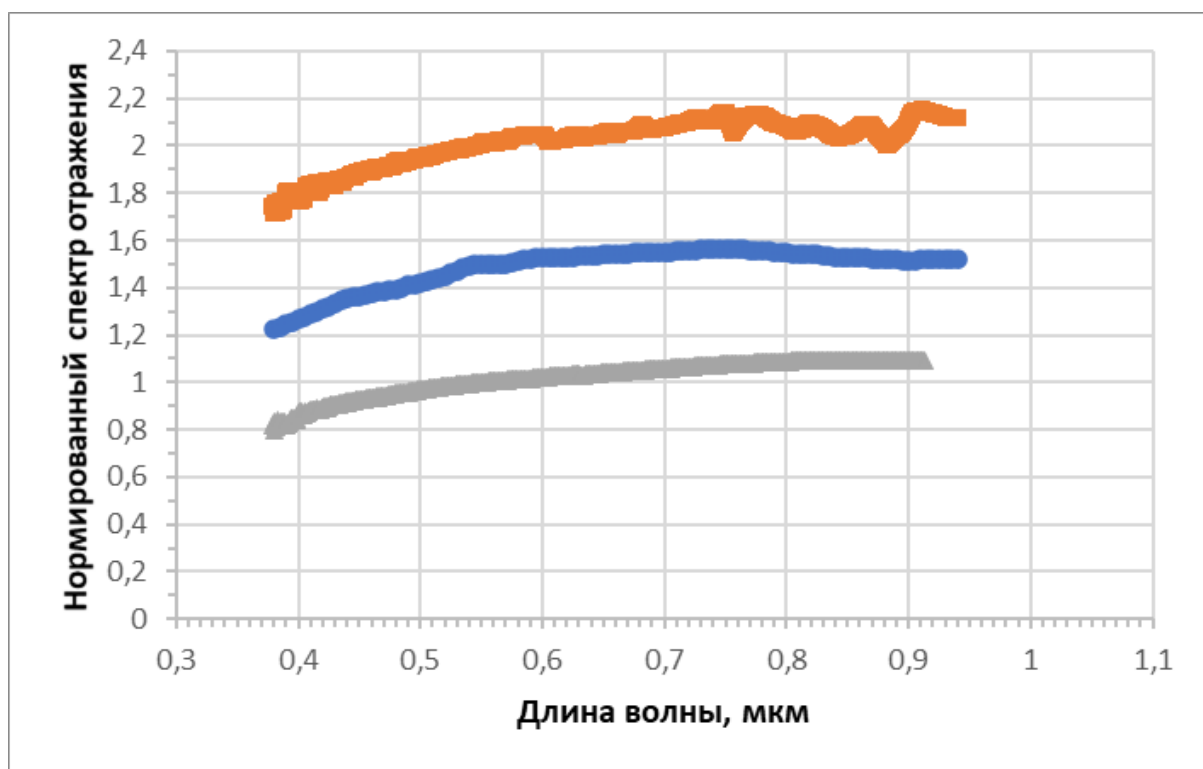
3.9 787 Москва (1914) UQ

Цей астероїд спостерігався протягом двох ночей, отримано 4 спектри відбиття. Геометричне альbedo становить 0,19, діаметр – 27,9 км. Період звернення становить 1477,74 діб, а період обертання астероїда - 6,056 год [2], [56] .



Малюнок 32 - Нормований спектр відображення астероїда 787 Москва (1914) UQ) (2016.09.26 UTC 21:19)

Порівняно плоска форма спектру відображення має невеликий позитивний градієнт (Мал. 32). У сукупності з низьким геометричним альbedo (проте не дозволяє зарахувати його до С-типу), це дозволяє зробити припущення про належність даного астероїда до проміжного спектрального типу Х. Додатково, невеликий період обертання, ймовірно, вказує на монолітність структури тіла. На момент публікації нашої роботи [65] іншими дослідниками не оцінювався спектральний клас астероїда 787 р. Москва. В даний час у роботі [66] даний астероїд відноситься до класу S на підставі поляриметричних спостережень. Однак отриманий нами спектр відображення не характерний для цього класу, тому робимо висновок о приналежність до класу Х.

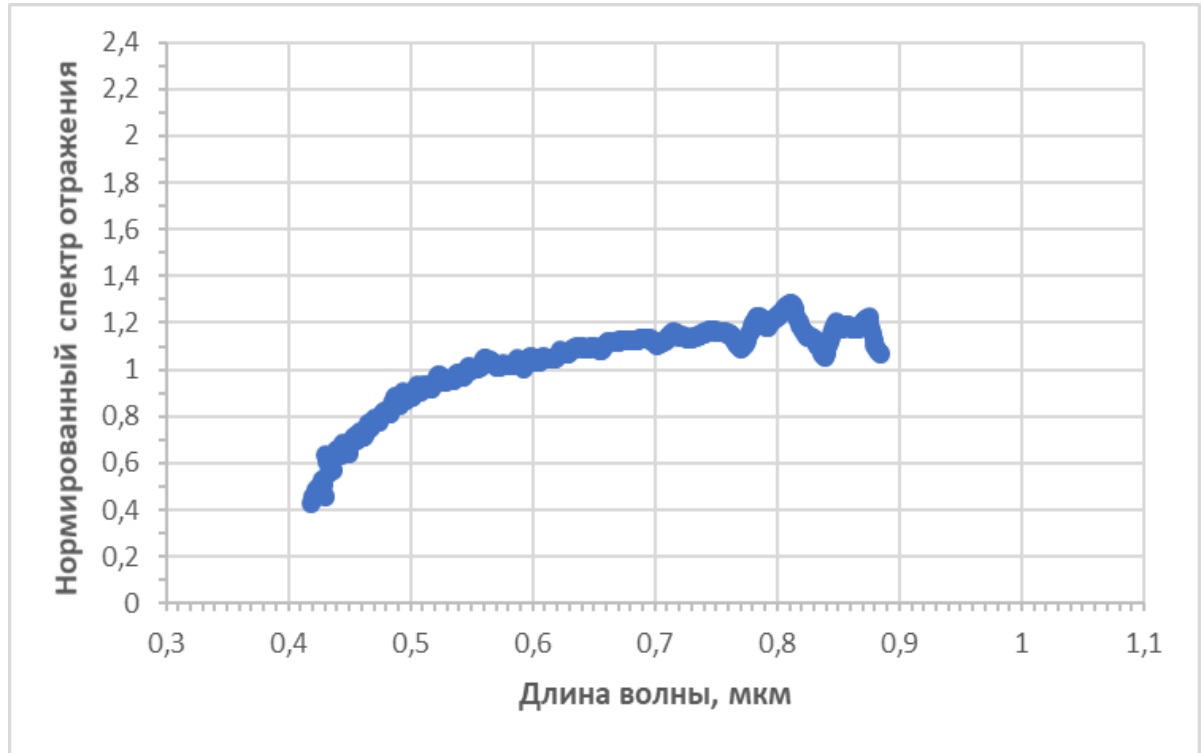


Малюнок 33 - Нормований спектр відображення астероїда 787 Москва (1914 UQ) (2016.09.26 UTC 21:19) - верхній, нормований спектр відображення метеорита Vigarano (хондрит, CV3) з бази університету Вінніпег – середній, нормований спектр відображення метеорита Мокоеіа (хондрит CV3) з бази університету Вінніпег – нижній

Зазначимо схожість спектра відображення даного астероїда та підібраних з бази університету Вінніпег спектрів відображення метеоритів CV3 класу (Рис. 33). Метеорит Vigarano є типовим представником цього класу вуглистих хондритів. Він характерний високий вміст тугоплавких включень [42]. Передбачається, що метеорити Vigarano та Мокоеіа можуть походити з одного і того ж батьківського тіла з максимальною температурою 800-1100° С [84]. Подібність спектрів відображення астероїда і даних метеоритів є додатковим зазначенням неоднорідного складу речовини поверхні 787 Москви.

3.10 788 Гогенштейна (A914 HE)

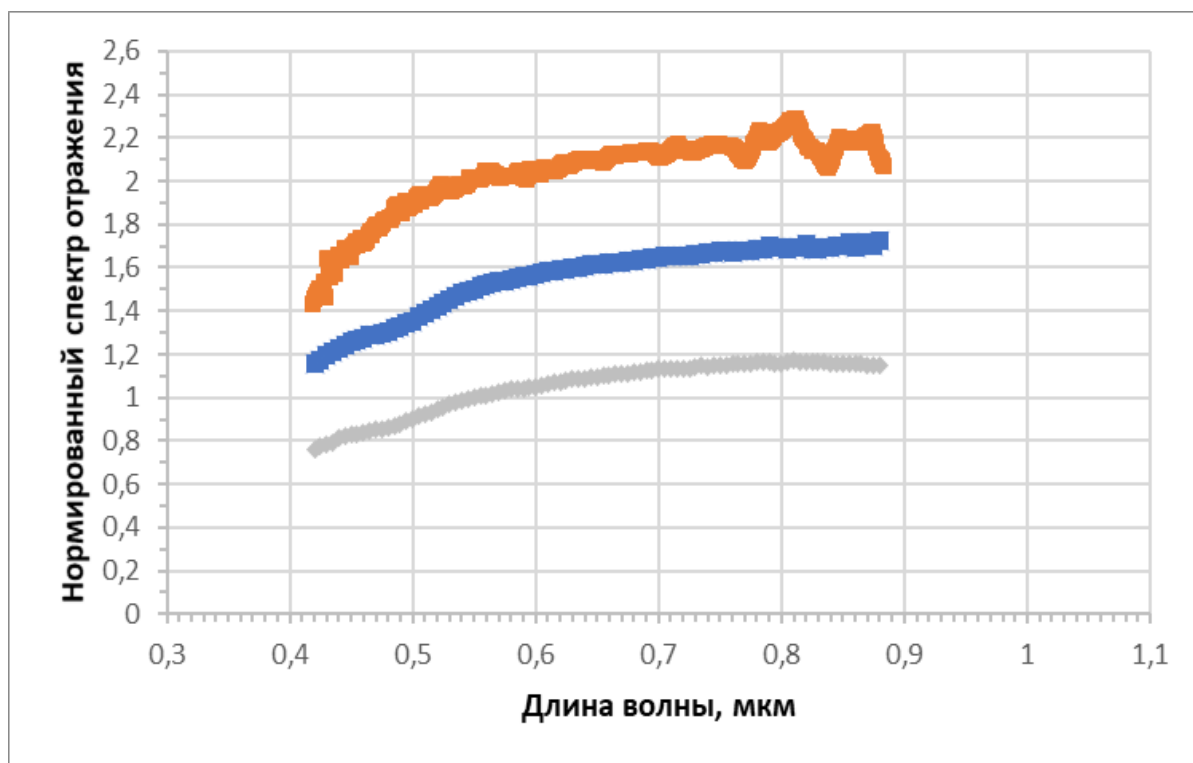
Астероїд 788 Гогенштейна має період звернення 2017,71 добу., період обертання - 33,2 год [85]. Геометричне альbedo становить 0,041, діаметр - 111,295 км [2], [56] .



Малюнок 34 - Нормований спектр відображення астероїда 788 Гогенштейна (A914 HE) (2019.05.23 UTC 21:37)

Мале геометричне альbedo, а також спектр відображення без яскраво вираженого зростання у 0,7 мкм характерне для низькотемпературних класів, проте спектр недостатньо плоский: спостерігається плавне зростання спектра відображення астероїда в довгохвильовій області, що вказує на змішаний склад поверхневої речовини (Рис. 34).

На даний момент іншим дослідниками не було проведено спектрофотометричних спостережень даного астероїда з метою оцінки його таксономічного класу, але в роботі [86] на підставі показників кольору робиться висновок про належність даного астероїда до класу C.



Малюнок 35 - Нормований спектр відображення астероїда 788 Гогенштейна (A914 HE) (2019.05.23 UTC 21:37) – верхній, нормований спектр відображення метеорита Ivuna (хондрит CI1) з бази університету Вінніпег – середній, нормований спектр відображення метеорита Elephant Moraine 83389 (хондрит CO3).

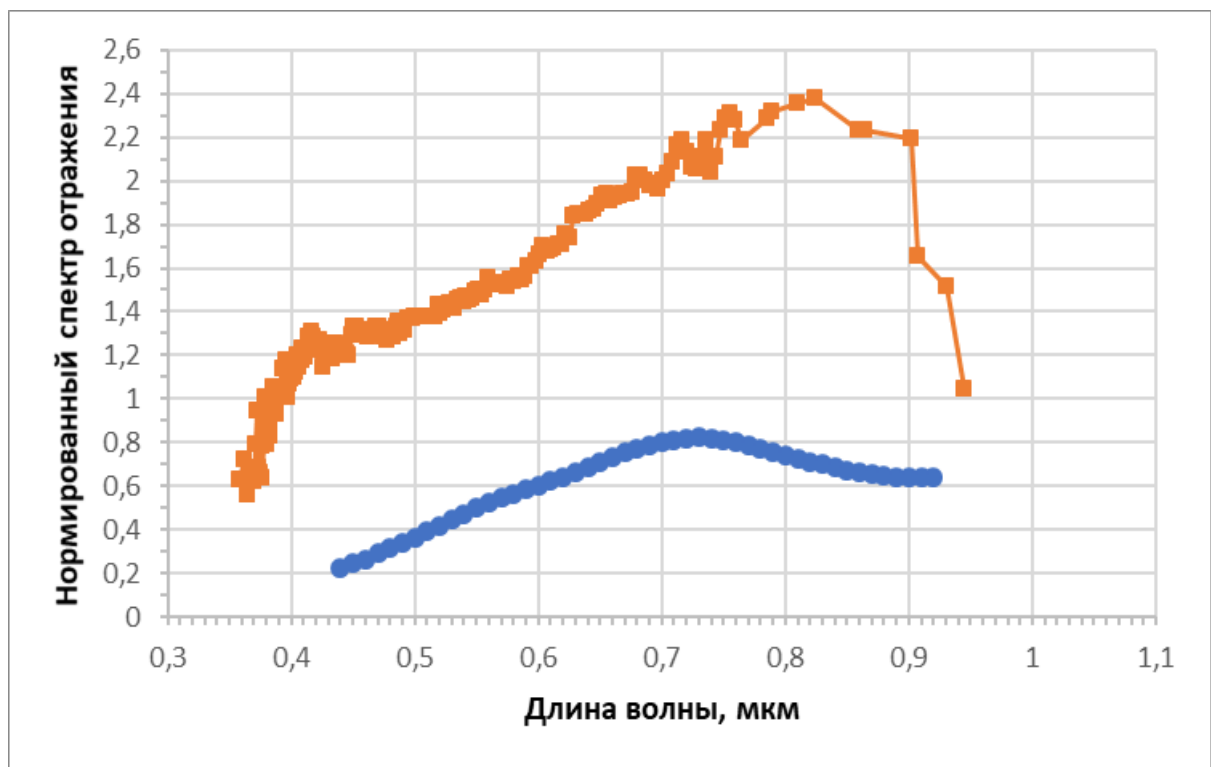
На користь низькотемпературної мінералогії речовини може бути схожість спектра відображення астероїда 788 Гогенштейна і метеорита Ivuna, що є типовим представником CI1 класу [67]. Представники групи CI - найбільш гідратовані серед усіх хондритів і мають найбільш примітивний склад речовини [42]. Однак спектр відбиття астероїда не має характерної для гідросилікатів смуги поглинання 0,46 мкм [34]. З іншого боку, у проміжку довжин хвиль від 0,5 до 0,9 мкм має місце явна схожість зі спектром відображення метеориту CO3 Elephant Moraine 83389 (Рис. 35) з меншим щодо попереднього середньоквадратичним метеорита відхиленням. Головною рисою типу CO3 в відмінність від 3 CI є відсутність філосилікатів і більше виражений температурний метаморфізм [42]. На підставі порівняння зі спектрами відображення

метеоритів робиться висновок о змішаній мінералогії астероїда 788 Гогенштейна.

3.11 863 Бенкеела (1917) ВН

Астероїд 863 Бенкеела є астероїдом зовнішньої частини Головного Поясу. Період звернення цього тіла становить 2093,44 діб, а період обертання - 7,03 год, геометричне альbedo – 0,595, діаметр - 27,06 км [2], [56].

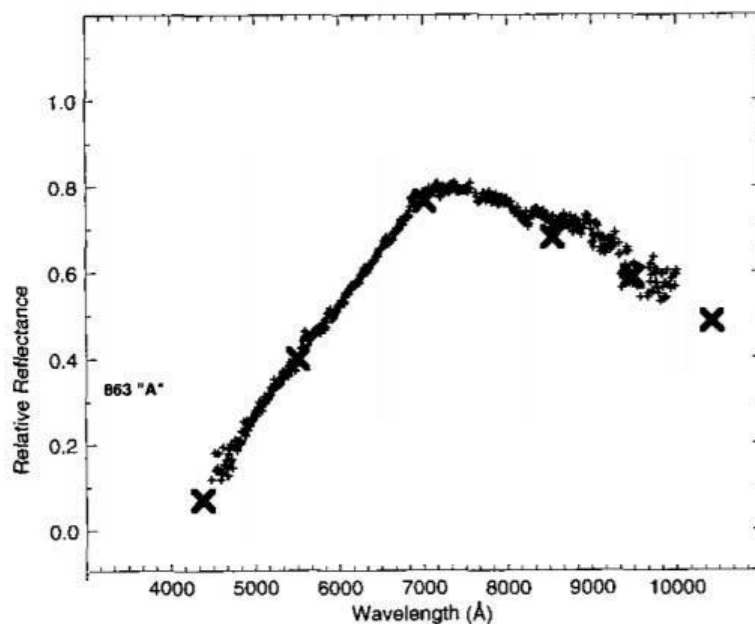
Астероїд спостерігався одну ніч, 2016.06.03, всього 2 спектру (Прил. а)



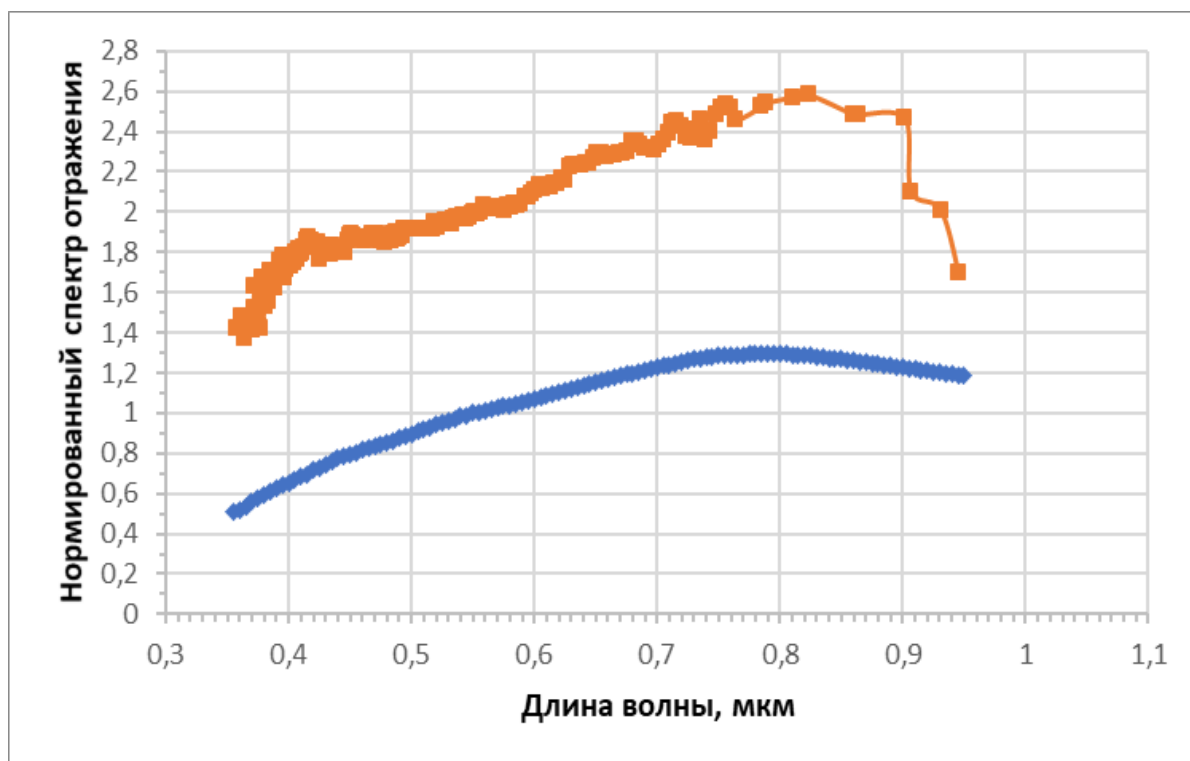
Малюнок 36 – Нормований спектр відображення астероїда 863 Бенкеела (1917 ВН) (2016.06.02 UTC 23:03) - верхній, нормований спектр відображення з бази SMASS - нижній

Спектр відбиття астероїда має форму, яка властива високотемпературному класу А (рис. 35). Додаткове підтвердження дає висока альbedo астероїда. Стоїть відзначити сильну смугу поглинання Fe^{2+} у 1 мкм, яка характерна для високотемпературних мінералів

(Олівінів, піроксенів та ін). Цей висновок підтверджують такі публікації, як [14], [75] та [87] (рис. 36).



Малюнок 37 - Нормований спектр відображення астероїда 863 Бенкеєла (1917) ВН [73]



Малюнок 38 — Нормований спектр відображення астероїда 863 Бенкоєла (1917 ВН) (2016.06.02 UTC 23:03) - верхній, нормований спектр відображення метеорита Northwest Africa 1500

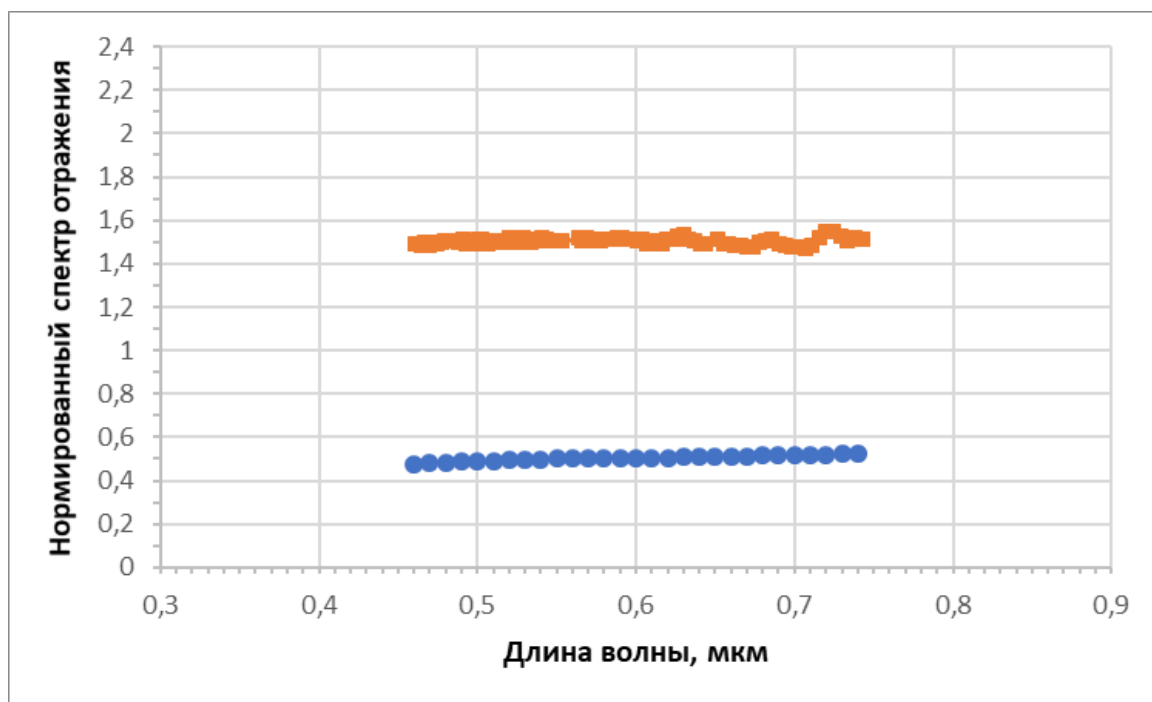
(ахондрит негрупований) з бази університету Вінніпег – нижній Метеорит Northwest Africa 1500, що має схожий спектр відображення, раніше ставився до групи уреїлітів, але зараз є негрупованим ахондритом [67]. Це метеорит, що має ультраосновний склад, в якому переважає крупнозернистий (~ 100-500 мкм) олівін (95-96%). Однак його істотно відрізняється термічна історія (порівняно з уреїлітами), через що його було переведено в негруповані ахондрити, може бути більш правдоподібно пояснена, якщо він утворився на іншому материнському тілі [88]. Діяльність [89] обговорюється можлива приналежність даного метеорита до групи брашинітів. І уреїліти, і брашиніти є передбачуваними метеоритними аналогами астероїдів класу А, тому можна вважати схожість спектрів відображення 863 Бенкоели та Northwest Africa 1500 додатковим підтвердженням нашої оцінки.

3.12 1264 Літаба

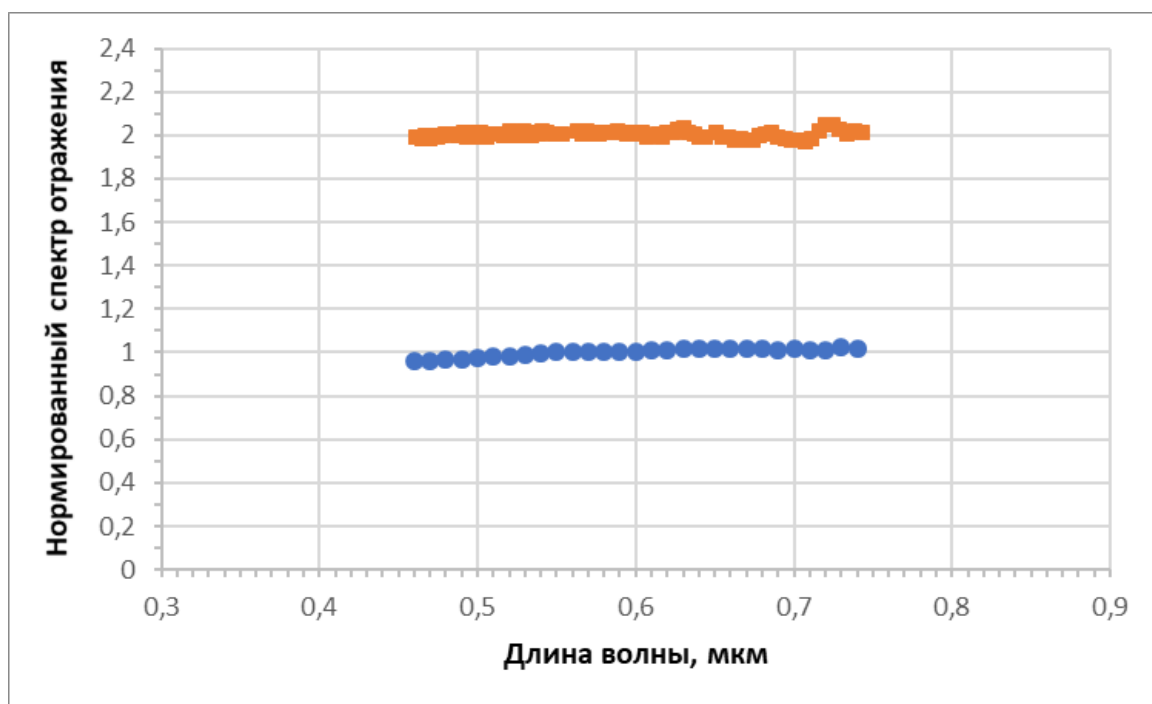
Геометричне альbedo астероїда 1264 Літаба досить низька - 0,073, діаметр - 74,7 км. Період звернення складає 1772,3 добу., період обертання - 32,2 год [2], [56] .

Спектр даного астероїда є горизонтальним, має слабкий нахил (Рис. 39). Разом з малим значенням альbedo форма спектра відображення вказує на низькотемпературний клас - С. Форма в діапазоні 0,6 - 0,7 мкм злегка змінюється від опуклої до увігнутої, що може свідчити про наявність гідросилікатів. Оцінка спектрального класу підтверджується іншими авторами [14].

Спектр відображення астероїда 1264 схожий зі спектрів відображення метеорита класу CM2 Murchison (Мал. 40). Як згадувалося в 1.9.1.5 при описі астероїду 381 Мірра, цей тип метеориту (CM2) відрізняється великою кількістю гідратованих мінералів. Крім того, в даним зразку містяться в в тому числі і органічні молекули [90], що однозначно вказує на низькотемпературний мінералогічний склад, що в свою черга служить непрямим доказом правильності оцінки спектрофотометричного класу астероїда.



Малюнок 39 - Нормований спектр відображення астероїда 1264 Літаба (2016.05.25) UTC 22:05) – верхній, нормований спектр відображення з бази SMASS – нижній



Малюнок 40 – Нормований спектр відображення астероїда 1264 Літаба (2016.05.25 UTC 22:05) - верхній, нормований спектр відображення метеорита Murchison (хондрит CM2) з бази університету Вінніпег – нижній

Висновки

У першому розділі докладно описані методика обробки отриманих спектрофотометричних даних та розрахунку спектрів відбиття астероїдів. Наглядові дані було отримано на обсерваторії «Пік Терскол» (філія ІНАСАН). Наглядові параметри астероїдів вказані у додатках А та В.

В роботі представлені отримані спектри відображення для 12 астероїдів Головного поясу та 9 астероїдів, що зближуються із Землею, (АСЗ) та марс-кроссерів, серед яких є 4 потенційно небезпечні об'єкти. В результаті на підставі загального градієнта спектра відображення, а також певних смуг поглинання було дано висновок про спектральний клас згідно таксономії Толіна. Отримані оцінки добре узгоджуються з відомими даними о даних об'єктах, а також з деякими непрямими характеристиками, такими як період обертання, геометричне альbedo та подібність зі спектрами відображення метеоритів різних груп. Для 8 спектральний тип астероїдів був визначений вперше. Не всім астероїдів вдалося підібрати відповідний метеоритний аналог, і навіть іноді спостерігалось невідповідність мінералогічним властивостям речовини метеоритного речовини при схожих спектрах відбиття. Це може бути викликано як змішаним складом поверхневої речовини астероїда, наприклад, в результаті зіткнень з тілами, що відрізняються по мінералогії, так і неповнотою колекцій метеоритної речовини.

Коротко результат представлений в Табл. 12

Таблиця 12 - Результати Глави 1

Об'єкт	Орбітальна група	Спектральний тип по Толен (відомий за ін. джерелам)	Встановлений спектральний тип по Толену у межах даної роботи	Коментар
11 Парфенопа	Головний Пояс	S	A- Q	Значна ширина смуги поглинання у 1 мкм.
225 Генрієтта	Зовнішня частина Головного поясу	F	C- S	Змішаний склад
307 Ніка	Головний Пояс	Z	Z	-
345 Терцидину	Головний Пояс	Z	Z	Наявність гідратованих силікатів
381 Мірра	Зовнішня частина Головного поясу	Z	Z	-
482 Петрина	Головний Пояс	S	S	-
488 Креуса	Головний Пояс	C	C	-
712 Болівіана	Головний Пояс	C	C- S	Змішаний склад, наявність філосілікатів
787 Москва	Головний Пояс	?	X	-
788 Гогенштейна	Головний Пояс	?	C- S	Змішаний склад поверхневої речовини

863 Бенкоела	Зовнішня частина Головного поясу	A	A	Наявність піроксенів / олівінів
1264 Літаба	Головний Пояс	З	З	Наявність гідросилікатів
4450 Пан	Група Аполлона	?	З - S	Потенційно небезпечний, Контактний подвійний, Наявність гідратованих силікатів
20826	Група Аполлона	S	S	-
24445	Група Аполлона	?	A- S	Наявність піроксенів/олівінів
68216	Група Аполлона	S	S	Потенційно небезпечний, Наявність піроксенів/олівінів
93768	Марс-кросер	?	S	-
112493	Марс-кросер	?	S	-
337866	Група Амура	S	S	Наявність піроксенів
468738	Група Амура	?	C	Потенційно небезпечний, Наявність гідросилікатів
518810	Група Аполлона	?	S- C	Потенційно небезпечний, Змішаний склад

ВИСНОВКИ

Дана дипломна робота присвячена спектрофотометричним дослідженням ряду астероїдів Головного поясу. Серед особистого внеску автора у роботу слід зазначити проведення обробки даних (згідно прийнятим процедур), розрахунку спектрів відображення астероїдів та їх якісна інтерпретація. У підсумку виконаного дослідження можна вважати визначення спектрального типу (а значить і хіміко-мінералогічного складу на якісному рівні) згідно з класифікацією Толена 12 астероїдів Головного поясу. Коротко висновки представлені в Табл. 14. Зазначимо, що деякі об'єкти мають змішаний склад поверхні.

Таблиця 14 – Результати визначення таксономічного класу астероїдів, подані в Главі 1. Зірочкою відзначені ті об'єкти, для яких на даний момент не визначено таксономічний клас іншими авторами

Об'єкт	Клас по Толену	Об'єкт	Клас по Толену
11 Парфенопа	A- Q	1264 Літа7ба	C
225 Генрієтта	C- S	4450 Пан*	C- S
307 Ніка	C	20826	S
345 Терцидину	C	24445*	A- S
381 Мірра	C	68216	S
482 Петрина	S	93768*	S
488 Креуса	C	112493*	S
712 Болівіана	C- S	337866	S
787	X	468738*	C

Москва*	
788 Гогенштейн а*	C- S
863 Бенкеела	A

518810*	S- C

Як рекомендації та перспективи подальшої роботи відзначимо необхідність продовження накопичення спостережних даних для розширення бази даних, пошук активних астероїдів серед астероїдів примітивного типу, а також проведення спектроскопічних спостережень високого дозволу для більш детальної інтерпретації спектрів відображення.

Список літератури

1. *Бусарєв В.В.* Спектрофотометрія астероїдів і її програми - LAP LAMBERT Acad. Publish. GmbH & Co. KG, Saarbrucken, Germany, 2011. - 250 с.
2. The International Astronomical Union Minor Planet Center [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.minorplanetcenter.net/> (дата звернення: 10.12.2018 р.)
3. *Morbidelli A. et al.* Evidence from the asteroid belt for violent past evolution of Jupiter's orbit //The Astronomical Journal. - 2010 року. - Vol. 140, №. 5. - P. 1391-1401.
4. *Binzel R. P.* The Torino impact hazard scale // Planetary and Space Science. - 2000. - Vol. 48 №. 4. - P. 297-303.
5. *Board S. S. et al.* Defending planet Earth: Near-Earth-Object surveys and hazard mitigation Strategies. - National Academies Press, 2010. - P. 152
6. Sonter M Mining Economics and Risk-Control in Development of Near- Earth- Asteroid Resources [Електронний ресурс] //Department of Civil and Mining Engineering. Adelaide: University of Wollongong – 2006. – Режим доступу: http://www.spacefuture.com/archive/mining_economics_and_risk_control_in_the_development_of_near_earth_asteriod_resources.shtml (дата звернення: 10.12.2018 р.)
7. World Produces 1.05 Billion Tonnes of Steel in 2004 [Електронний ресурс] // International Iron and Steel Institute – 2005. – Режим доступу: https://www.newmaterials.com/News_Detail_World_produces_105_billion_tonnes_of_steel_in_2004_833.asp (дата звернення: 10.12.2018 р.)
8. *Lewis J. S.* Mining the sky: untold riches from the asteroids, comets, and planets // Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co., 1996 - P.2748.
9. *Fujiwara A. et al.* The rubble-pile asteroid Itokawa as observed by Hayabusa // Science. - 2006. - Vol. 312, №. 5778. - P. 1330-1334 .

10. *Russell C. T. et al.* Dawn mission to Vesta and Ceres //Earth, Moon, i Planets. - 2007. - Vol. 101 №. 1-2. - P. 65-91.
11. *Tachibana S. et al.* Hayabusa2: Scientific importance of samples returned from C-type near-Earth asteroid (162173) 1999 JU3 //Geochemical Journal. - 2014. - Vol. 48 №. 6. - P. 571-587.
12. *Lauretta D S ma in.* The OSIRIS-REx target asteroid (101955) Bennu: Зустрічі його фізичної, geological, i dynamickoї натури від astronomical observations // Meteoritics & Planetary Science. - 2015 року. - Vol. 50 №. 4. - P. 834-849.
13. *Tholen D. J.* Asteroid taxonomy from cluster analysis of Photometry. - The University of Arizona, 1984. - P.161.
14. *Bus S. J., Binzel R. P.* Phase II of the small main-belt asteroid spectroscopic survey: A feature-based taxonomy //Icarus. - 2002. - Vol. 158 №. 1. - P. 146-177.
15. *Бусарєв В.В.* Спектрофотометрія безатмосферних тел Сонячна система //Астрон. вестн. - 1999. - Т. 33, №. 2. - С. 140-150.
16. *Томозов В. М.* Про деякі закономірності розподілу хімічного складу в атмосферах зірок // Сонячно-земна фізика. - 2013. - №. 23. - С. 23-32.
17. *Шкуратов Ю. р. i ін.* Розсіювання світла поверхнями складної структури. – ХНУ ім. ВН Каразіна, 2008. - С.18.
18. *Caraccioli F. ma in.* Phase curves of meteorites and terrestrial rocks: Laboratory measurements and applications to asteroids //Icarus. - 1990. – Vol. 83 №. 2. - P. 325-348.
19. *Макарова е. А.* Потік сонячного випромінювання. - Наука, 1991. - 396 с.
20. *Kurucz R. L.* Atlas12, synthe, atlas9, width9, et cetera //Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi. - 2005. - Vol. 8. - P. 14.
21. *Смирнов О.* Застосування однорідних структур для виявлення космічних частинок на астрономічних зображеннях
//Інтелектуальні системи. - 2004. - Т. 8, №. 1-4 .
22. *Chapman C. R., Morrison D., Zellner B.* Surface properties of asteroids: На synthesis polarimetry, radiometry, i spectrophotometry //Icarus. - 1975. - Vol. 25, №. 1. - P. 104-130.

23. *Zellner B. та ін.* Asteroid albedo scale. I-Laboratory polarimetry of meteorites //Lunar and Planetary Science Conference Процеси. - 1977. – Vol. 8. - P. 1091-1110.
24. *Zellner B., Tholen DJ, Tedesco EF* Оцінка: 8 589 minor planets //Icarus. - 1985. - Vol. 61. - №. 3. - P. 355-416 .
25. *Tholen D. J., Barucci M. A.* Asteroid taxonomy //Asteroids II. - 1989. - P. 298-315.
26. *Bell J. F. et al.* Asteroids-The big picture //Asteroids II. - 1989. - P. 921-945 .
27. *Pieters C. M., Hiroi T.* RELAB (Reflectance Experiment Laboratory): A NASA multiuser spectroscopy facility //Lunar and Planetary Science Conference. - 2004. - Vol. 35.
28. *Cloutis E. A. et al.* Spectral reflectance properties of ureilites //Meteoritics & Planetary Science. - 2010. - Vol. 45 №. 10-11. - P. 1668-1694.
29. *Fernandes C.* Spectral studies of extra-terrestrial materials : дис. - The Open University, 2012. - P.204.
30. *Gaffey M. J.* Mineralogy of asteroids //AIP Conference Процеси. - American Institute of Physics, 2011. - Vol. 1386 №. 1. - P. 129-169.
31. *Wasson J. T.* Classification of Meteorites // Meteorites. - Springer, Berlin, Heidelberg, 1974. - P. 11-38.
32. *Додд P.T.* Метеорити - петрологія і геохімія. - М.: Мир, 1986. - 382 с.
33. *Scott E. R. D., Wasson J. T.* Classification and properties of iron meteorites //Reviews of Geophysics. - 1975. - Vol. 13. - №. 4. - P. 527-546 .
34. *Залізнів н. Б.* Астероїдно-кометна небезпека: сучасний стан проблеми //Фізика космосу: Тр. , 2004. - С.56-72.
35. *Галазутдінов Г.А.* Система обробки зіркових ешелє-спектрів. I. Обробка зображень. II. Обробка спектрів. Препринт № 92. – Нижній Архіз: САТ РАН, 1992. – 52 с.
36. *Щербина М. П., Бусарєв Ст Ст, Барабанов С. І.* Спектрофотометричні дослідження астероїдів, що зближуються із Землею, і Головного пояси // Вісник Московського університету. Серія 3 Фізика, астрономія. - 2019. - № 6. - С. 93-96.
37. *Belskaya I. N. et al.* Refining the asteroid taxonomy by Polarimetric observations //Icarus. - 2017. - Vol. 284. - P. 30-42.

додаток А. Ефемериди і спостерігаються параметри астероїдів Головного Пояси [2], [53]

11 Парфенопа												
Дата (рік місяць чи число)	Час UTC	R (h m)	De cl. (° ')	De lta (AU)	R (AU)	Elo ng (°)	Фа зовий кут(°)	V (m)	Ви сота.(°)	Час експозиції (s)	По вітряна маса	Віднос на фаза обертання
16 09 19 20	1600 23	43 40.03 00	55 11.2 -02	718 1.2	603 2.2	6.397 16	02 6.0	6 9.2	8 33.	45	33 1.5	0
16 09 19 20	1700 23	43 40.00 00	55 11.5 -02	718 1.2	603 2.2	6.397 16	02 6.0	6 9.2	7 33.	45	36 1.5	0
16 09 19 20	2000 23	43 39.89 00	55 12.4 -02	718 1.2	603 2.2	6.400 16	01 6.0	6 9.2	2 33.	45	44 1.5	0.01
16 09 19 20	2200 23	43 39.82 00	55 13.0 -02	718 1.2	603 2.2	6.401 16	01 6.0	6 9.2	0 33.	45	49 1.5	0.01
2 F Повітряна маса 1.173												
016 09 19 D 9986												
225 Генрієтта												
Дата (Рік місяць чи число)	Час UTC	R (h m)	De cl. (° ')	De lta (AU)	R (AU)	Elo ng (°)	Фа зовий кут(°)	V (m)	Ви сота.(°)	Час експозиції (s)	По вітряна маса	Віднос на фаза обертання
19 05 17 20	5100 23	46 48.01 15	0 54 37 +0	59 1.8	29 2.8	9.571 15	68 7.1	85 12.	6 34.	120	24 1.7	-

2 F Повітряна маса 1.318 019 05 17 D 115382												
307 Ніка												
Дата (Рік місяць число)	Дата с UTC	Р A (h m)	De cl. (° ')	De lta (AU)	R (AU)	Elo ng (°)	Фа зовий кут(°)	V (m)	Ви сота.(°)	Час експозиції (s)	По вітряна маса	Віднос на фаза обертання
20 18 11 03	22 0300	01 53 10	+0 1 45 57	1.5 77	2.5 42	16 3.087	6.5 13	13. 63	41. 2	120 0	1.4 99	0
20 18 11 03	22 2800	01 53 09	+0 1 45 54	1.5 77	2.5 42	16 3.070	6.5 20	13. 63	38. 1	120 0	1.5 97	0.04
20 18 11 03	22 5300	01 53 08	+0 1 45 52	1.5 77	2.5 42	16 3.053	6.5 26	13. 63	34. 7	900 30	1.7	0.07

18 11 03	20 1200	23 53 08	01 1 45 50	+0	1.5	2.5	16	6.5	13.	32.	900	1.8	0.10
18 11 04	20 2400	20 52 26	01 1 43 52	+0	1.5	2.5	16	6.8	13.	47.	900	1.3	0.89
18 11 04	20 4200	20 52 25	01 1 43 50	+0	1.5	2.5	16	6.8	13.	47.	120	1.3	0.91
18 11 04	20 0400	21 52 25	01 1 43 48	+0	1.5	2.5	16	6.8	13.	46.	120	1.3	0.94
18 11 09	20 2000	22 48 37	01 1 34 55	+0	1.5	2.5	15	8.8	13.	33.	600	1.7	0.14
18 11 09	20 3200	22 48 37	01 1 34 55	+0	1.5	2.5	15	8.8	13.	33.	900	1.7	0.16

2018 11 03 HD 9986 Повітряна маса 1.709

2018 11 04 HD 9986 Повітряна маса 1.222

2018 11 09 HD 10307 Повітряна маса 1.292

345 Терцидину

та (Рік міс яць число)	Да с UTC	Ча A (h m)	R	De cl. (° ')	De lta (AU)	R (AU)	Elo ng (°)	Фа зовий кут(°)	V (^m)	Ви сота.(°)	Час екс позиції (s)	По вітряна маса	Відно сна фаза обертання
16 09 26	20 3800	23 07 06.18	02	+1	1.3	2.2	14	13.	12.	59.	480	1.1	0
16 09 26	20 4800	23 07 05.96	02	+1	1.3	2.2	14	13.	12.	58.	480	1.1	0.01
16 09 26	20 5900	23 07 05.71	02	+1	1.3	2.2	14	13.	12.	57.	500	1.1	0.03

16 09 27	20 0900	02 07 05.49	+1 6 09 42.0	1.3 32	2.2 51	14 8.805	13. 342	12. 11	56. 6	500 72	1.1	0.04
16 09 27	2000	02 07 05.24	+1 6 09 38.8	1.3 32	2.2 51	14 8.813	13. 338	12. 11	55. 4	500 88	1.1	0.06
2016 09 27 HD 9986 Повітряна маса 1.379												
381 Міппа												
Да та (рік місяць чи сло)	Ча с UTC	R A (h m)	De cl. (° ')	De lta (AU)	R (AU)	Elo ng (°)	Фа зовий кут(°)	V (m)	Ви сота.(°)	Час експозиції (s)	По вітряна маса	Відно сна фаза обертання
16 05 28	23 3200	16 16 33.85	-04 29 27.8	1.9 71	2.9 54	16 2.786	5.8 25	12. 69	30. 5	180 0	1.9 27	-
2016 05 29 HD146233 Повітряна маса 2.158												

482 Петрина												
Дата (Рік місяць число)	Час UTC	Р A (h m)	De cl. (° ')	De lta (AU)	R (AU)	Elo ng (°)	Фа зовий кут(°)	V (^m)	Ви сота.(°)	Час експозиції (s)	По вітряна маса	Відно сна фаза обертання
2017 06 24	192400	1611 39.42	+00 01 12.7	1.837	2.713	142.180	13.279	13.16	46.6	1800	1.375	0
2017 06 24	195700	1611 38.7	+00 01 10.5	1.837	2.713	142.160	13.285	13.16	45.4	1800	1.403	0.04
2017 06 24	202900	1611 38.01	+00 01 08.4	1.838	2.713	142.141	13.291	13.16	43.1	1800	1.462	0.09
2017 06 24	210000	1611 37.34	+00 01 06.3	1.838	2.713	142.122	13.297	13.16	40.0	1800	1.554	0.13
2017 06 24 HD 143436 Повітряна маса 1.632729												

488 Креуса												
Дата (Рік місяць число)	Час UTC	Р A (h m)	De cl. (° ')	De lta (AU)	R (AU)	Elo ng (°)	Фа зовий кут(°)	V (^m)	Ви сота.(°)	Час експозиції (s)	По вітряна маса	Відно сна фаза обертання
2019 05 22	193200	1053 29.17	+21 01 21	2.406	2.695	95.269	21.962	12.93	40.1	1200	1.505	0
2019 05 22	195500	1053 29.84	+21 01 13	2.407	2.695	95.257	21.962	12.93	36.9	1200	1.643	0.06
2019 05 22	201700	1053 30.48	+21 01 05	2.407	2.695	95.246	21.963	12.93	32.8	1200	1.811	0.13
2019 05 22 HD 107633 Повітряна маса 1.176												

712 Болівіана													
та (Рік міс яць число)	Да с UTC	Ча A (h m)	R cl. (° ')	De lta (AU)	De (AU)	R ng (°)	Elo зовий кут(°)	Фа (m)	V сота.(°)	Ви позиції (s)	Час екс вітряна маса	По сна обертання	Відно фаза
20 17 06 27	21 1500	23 17 10.74	+1 1 55 47	2.0 21	2.4 26	10 0.8	24. 3	13. 09	21. 5	180 0	2.7 126	0	
20 17 06 27	21 2500	23 17 51.52	+1 2 05 24	2.0 07	2.4 24	10 1.5	24. 3	13. 08	24. 0	180 0	2.4 47	0.06	
20 17 06 27	22 3000	23 17 53.10	+1 2 05 47	2.0 07	2.4 24	10 1.5	24. 3	13. 08	35. 5	180 0	1.7 19	0.15	
2017 06 27 HD 109931 Повітряна маса 1.373													

787 Москва												
Дата (Рік місяць число)	Час UTC	Радіус (h m)	Делта (° ')	Делта (AU)	Радіус (AU)	Висота (°)	Фазовий кут(°)	Висота (m)	Висота(°)	Час експозиції (s)	Повітряна маса	Відносна фаза обертання
2016 09 19	2200	54 39.56	06 21.6	81	70	6.273	23	49	9	600	1.4	0
2016 09 26	1900	50 51.28	38 11.7	13	76	8.831	46	69	0	150	1.5	0.68
2016 09 26	4600	50 50.71	38 26.0	13	76	8.810	55	69	0	150	1.6	0.76
2016 09 26	1400	50 50.12	38 40.8	13	76	8.788	64	69	3	150	1.8	0.84
2016 09 19 НІР 109931 Повітряна маса 1.261												
2016 09 26 НІР 100963 Повітряна маса 1.608												

788 Гогенштейна												
Дата (рік місяць число)	Час UTC	Радіус (h m)	Делта (° ')	Делта (AU)	Радіус (AU)	Висота (°)	Фазовий кут(°)	Висота (m)	Висота(°)	Час експозиції (s)	Повітряна маса	Відносна фаза обертання
19 05 23	3300	00 32	3 00 20	36	09	2.345	196	95	5	180	1.4	0
19 05 23	0500	00 32	3 00 23	36	09	2.323	203	95	1	180	1.4	0.02
19 05 23	3700	00 31	3 00 27	36	09	2.301	210	95	8	180	1.6	0.03

2019 05 23 HD 134902 Повітряна маса 1.152													
863 Бенкеела													
та (Рік міс яць число)	Да с UTC	Ча A (h m)	R cl. (° ')	De lta (AU)	De (AU)	R ng (°)	Elo зовий кут(°)	Фа (m)	V сота.(°)	Ви екс позиції (s)	Час вітряна маса	По сна обертання	Відно фаза
16 06 02	20 0300	23 41 11.63	17 36 52.0	-00 88	2.1 33	3.1 4.296	15 75	8.0 85	13. 5	43. 0	180 32	1.4	0
16 06 02	20 3400	23 41 10.59	17 36 55.9	-00 87	2.1 33	3.1 4.309	15 71	8.0 85	13. 0	41. 0	180 99	1.4	0.07
2016 06 02 HD133600 Повітряна маса 1.0501													

1264 Літаба													
та (Рік міс яць число)	Да с UTC	Ча A (h m)	R cl. (° ')	De lta (AU)	De (AU)	R ng (°)	Elo зовий кут(°)	Фа (^m)	V сота.(°)	Ви екс позиції (s)	Час вітряна маса	По сна обертання	Відно фаза
16 05 25	20 0500	22 29 27.22	20 8 27 23.8	+0	1.9	2.4	11	22.	14.	33.	180	1.7	0
16 05 25	20 0700	23 29 27.76	20 8 28 04.2	+0	1.9	2.4	11	22.	14.	43.	180	1.4	0.03
2016 05 25 HD173071 Повітряна маса 1.472													