

Исследование астероидов наземными дистанционными методами: спектрофотометрия, UVRI-фотометрия, поляриметрия

Щербина Марина Петровна (ИНАСАН),
Бусарев В.В. (ГАИШ МГУ, ИНАСАН)
Киселёв Н.Н. (КраО, ИНАСАН)

Актуальность

Спектрофотометрия

Фотометрия

Поляриметрия

Оценка класса

Активность


 IAU The International Astronomical Union
Minor Planet Center

Running Tallies

Near-Earth Objects Discovered

THIS MONTH:	40
THIS YEAR:	2420
ALL TIME:	36559

Minor Planets Discovered

THIS MONTH:	37
THIS YEAR:	16665
ALL TIME:	1392084

<https://minorplanetcenter.net/>
Актуальность:

- Пополнение накапливаемой в мире базы данных физико-химических свойств астероидов
- Вклад в решение задач космогонии Солнечной системы
- Решение проблемы астероидно-кометной опасности
- Планирование будущих космических миссий
- Исследование астероидов с целью использования их как источников потенциальных ресурсов
- Изучение астероидов с кометоподобной активностью, которые размывают границы между астероидами и кометами

 spec. type (SMASSII) IS DEFINED

 spec. type (Tholen) IS DEFINED

Matching Objects: 2174



 NASA Jet Propulsion Laboratory
 California Institute of Technology

Актуальность

Спектрофотометрия

Фотометрия

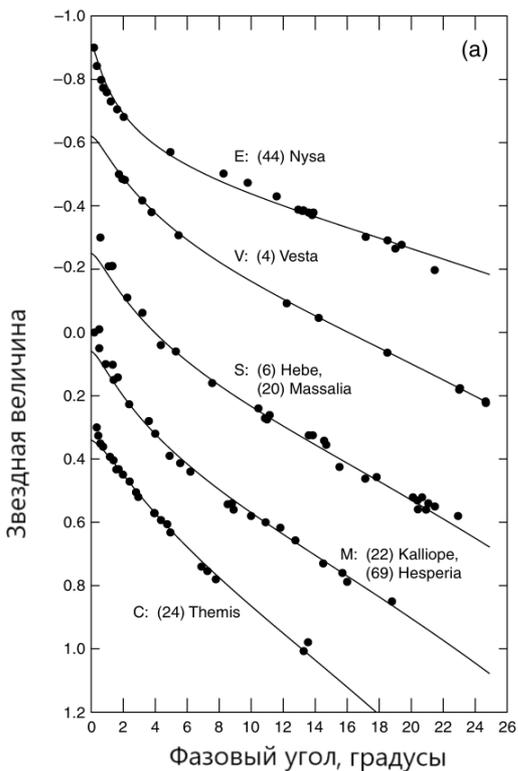
Поляриметрия

Оценка класса

Активность

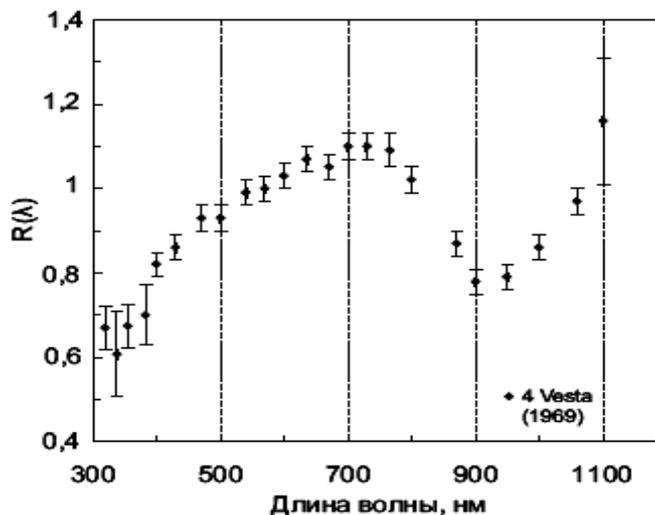
Оптические методы исследований астероидов

Фотометрия



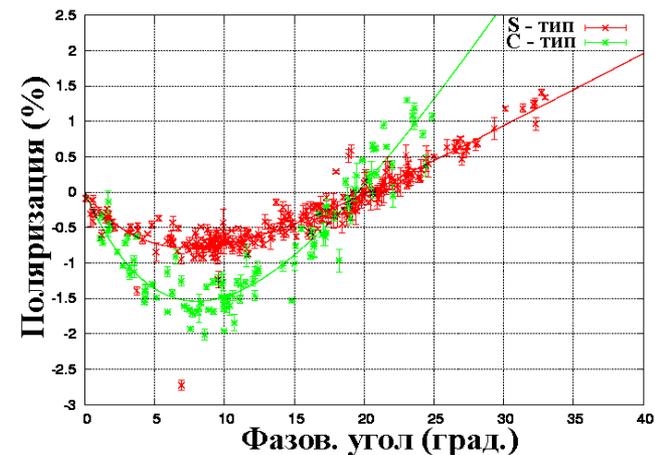
Muironen K. et al., 2002

Спектрофотометрия



McCord +, 1970

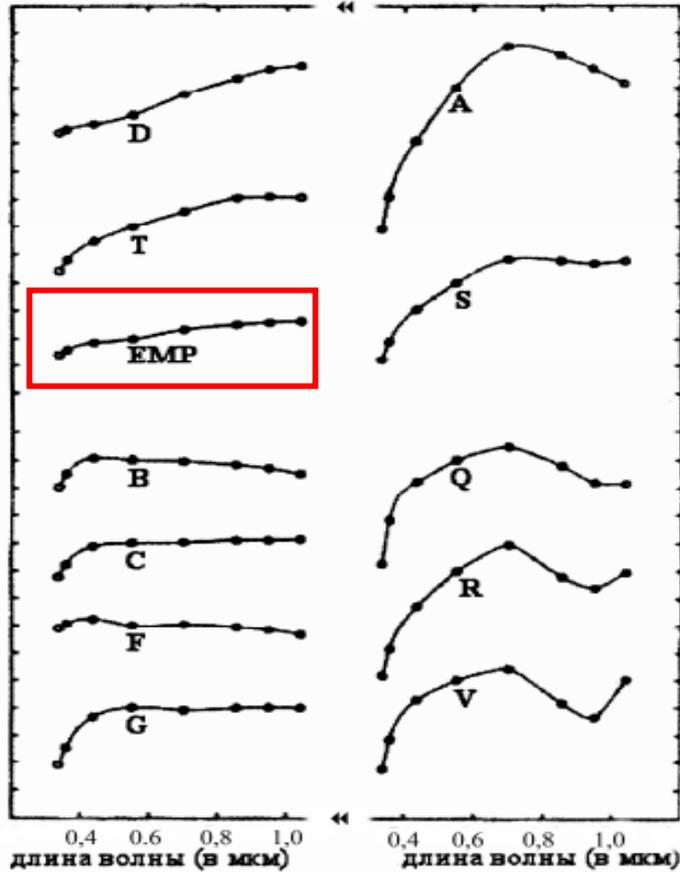
Поляриметрия



Stinson, 2016

Таксономическая классификация
Д. Толена

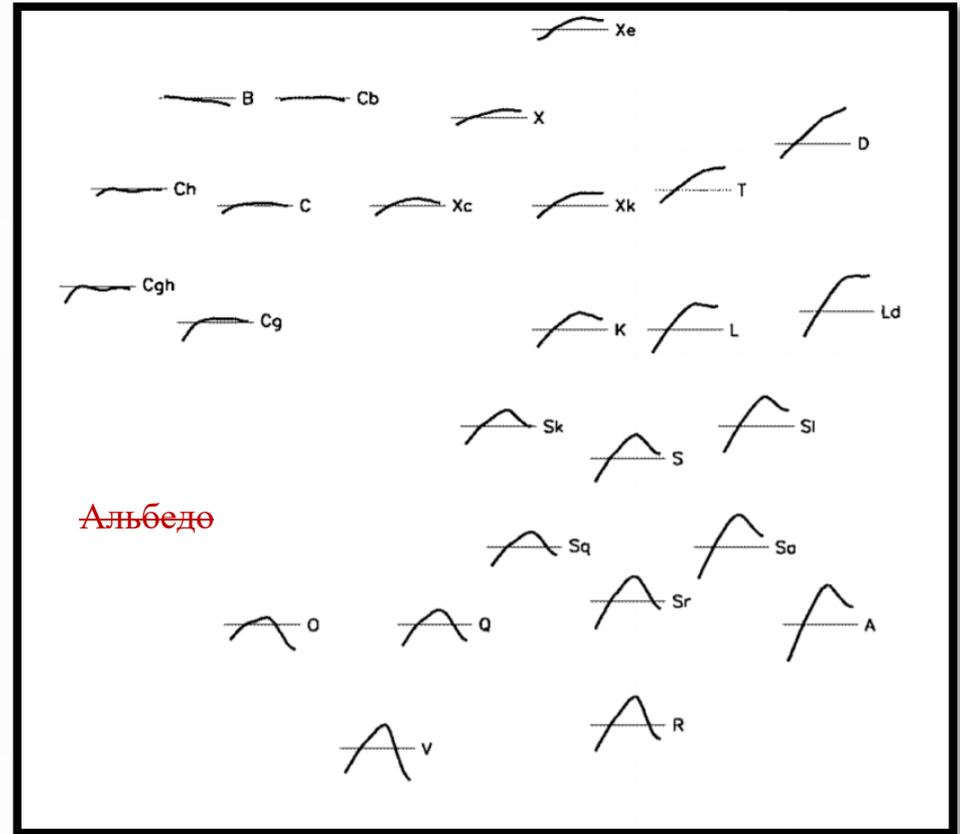
589 астероидов



Tholen D. J., 1989

Таксономическая классификация
SMASS II (Бас, Бинзел)

1447 астероидов



Bus S.J., Binzel R.P., 2002

Актуальность

Спектрофотометрия

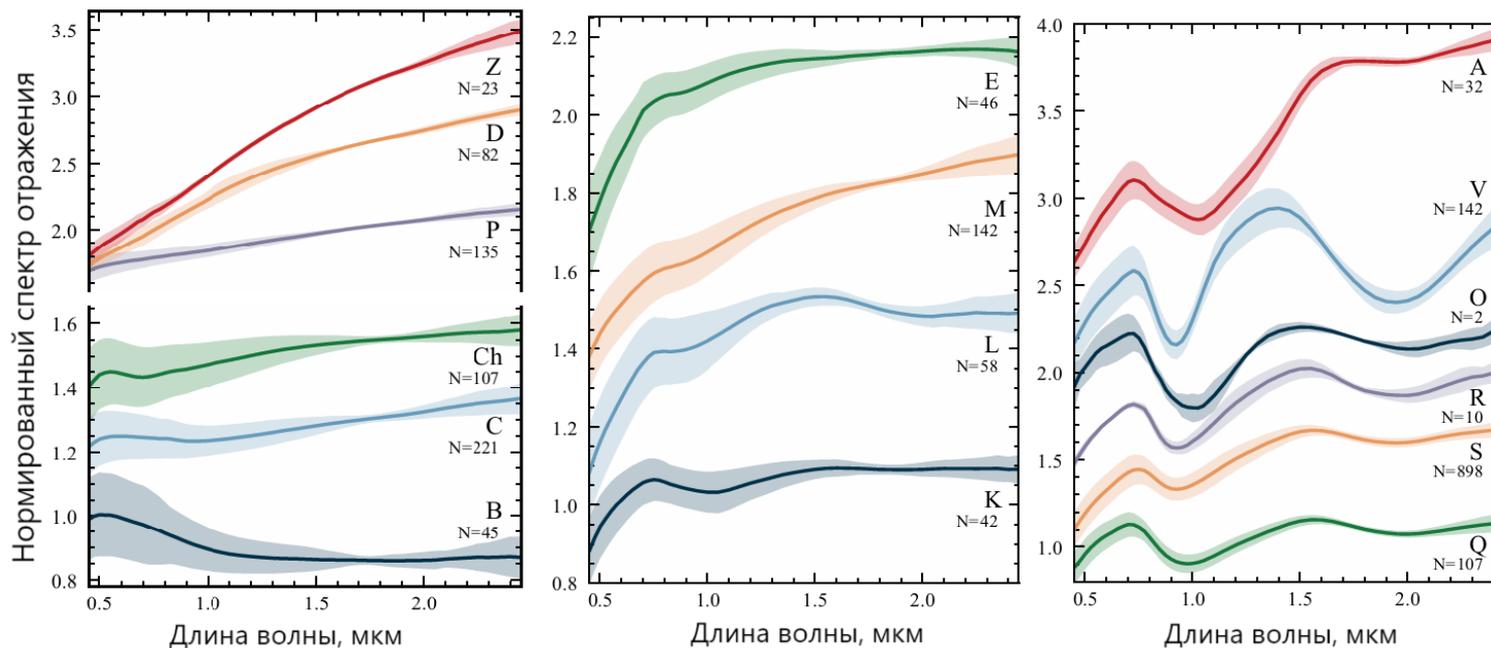
Фотометрия

Поляриметрия

Оценка класса

Активность

Классификация Малке (Mahlke)



Mahlke M. et. al., 2022

2125 астероидов

Вид спектра

Полосы поглощения

Альбедро

16 классов

Актуальность

Спектрофотометрия

Фотометрия

Поляриметрия

Оценка класса

Активность

Tholen		SMASSII		Mahlke
B	→	B	→	B
F	↗			
G	→	Cg	↘	
	→	Cgh	↘	
C	→	C	→	C
	→	Ch	→	Ch
	→	Cb	↗	
D	→	D	→	D
			→	Z
P	...	Xc	...	P
M	...	Xk	...	M
X	...	X	...	X
E	...	Xe	...	E
	...	Xn		
T	→	T		
		K	→	K
		L	→	L
Q	→	Q	→	Q
		Sq		
	↗	Sr	↘	
S	→	S	→	S
	↘	Sa	↗	
		Sv		
O	→	O	→	O
R	→	R	→	R
A	→	A	→	A
V	→	V	→	V

Тип	Подразумеваемая поверхностная минералогия	Возможные метеоритные аналоги
A	оливин или оливин-металл	оливиновый ахондрит (уреилит, брашинит) или палласит
B	гидросиликаты + углерод/органика/непрозрачные фазы	СП1-СМ2; а также предшествующие им семейства материалов
C		
F		
G		
D	Углерод / обогащенные органикой силикаты?	возможно: СП1-СМ2; Частицы космической пыли, обогащенные органикой
P		
E	энстатит или другие безжелезистые силикаты	энстатитовые ахондриты (обриты)
M	металл (со следами силикатов) и/или металл + энстатит	железные метеориты (возможно, с силикатными включениями), энстатитовый хондрит
Q	оливин + пироксен + металл	обыкновенные хондриты

Gaffey M. J., 2011

Mahlke M. et. al., 2022

Актуальность

Спектрофотометрия

Фотометрия

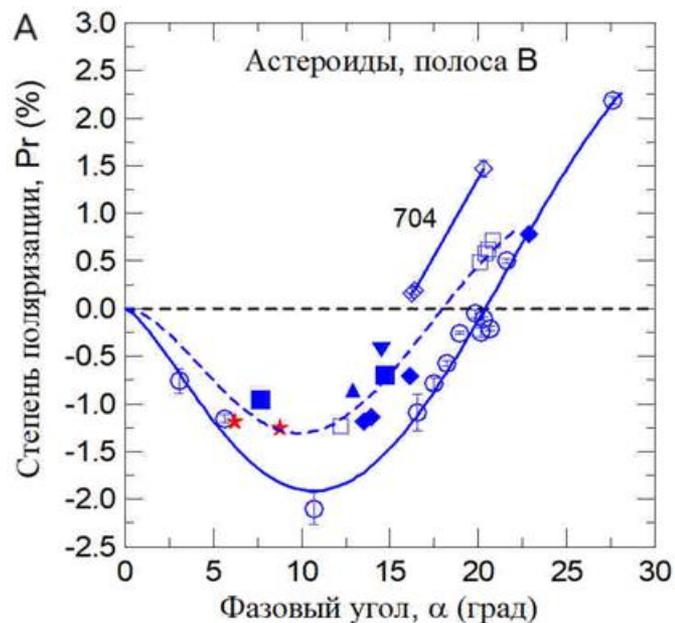
Поляриметрия

Оценка класса

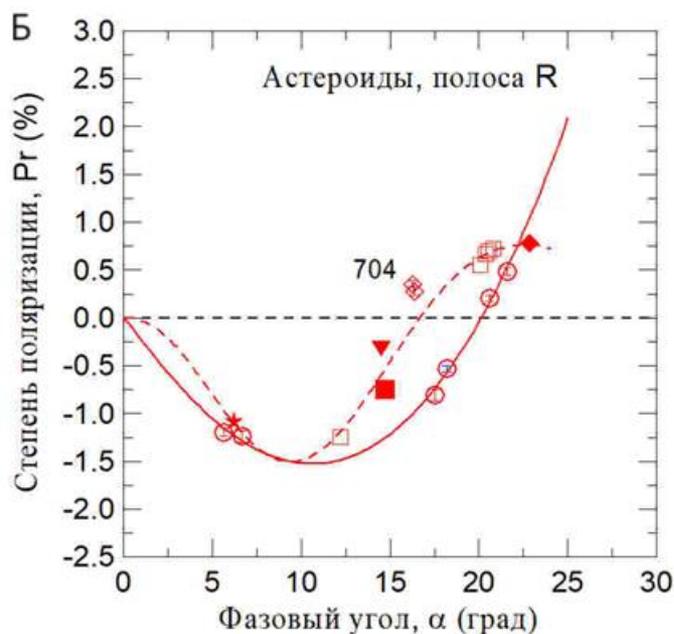
Активность

339 Dorothea (Доротея)	S	K	B
704 Interamnia (Интерамния)	F	B	Ch

Необходимо привлечение другого типа наблюдательных данных!



- Taxonomical class Ch (53, 324, 554, 654)
- ◇ Taxonomical class Ch (704)
- Taxonomical class C (1)
- Taxonomical class C (117)
- ◆ Taxonomical class C (164)
- ▲ Taxonomical class C (419)
- ▼ Taxonomical class C (1021)
- ★ Taxonomical class P (505)



- Taxonomical class Ch (53, 324, 554, 654)
- ◇ Taxonomical class Ch (704)
- Taxonomical class C (1)
- Taxonomical class C (117)
- ◆ Taxonomical class C (164)
- ▼ Taxonomical class C (1021)
- ★ Taxonomical class P (505)

Busarev V.V. et. al., 2024

Актуальность

Спектрофотометрия

Фотометрия

Поляриметрия

Оценка класса

Активность



Обсерватория «Пик Терскол» (obs. code: B18)

Крымская Астрофизическая обсерватория
(CrAO, obs. code: 095)

Кавказская Горная обсерватория ГАИШ МГУ (СМО SAI MSU).

Актуальность

Спектрофотометрия

Фотометрия

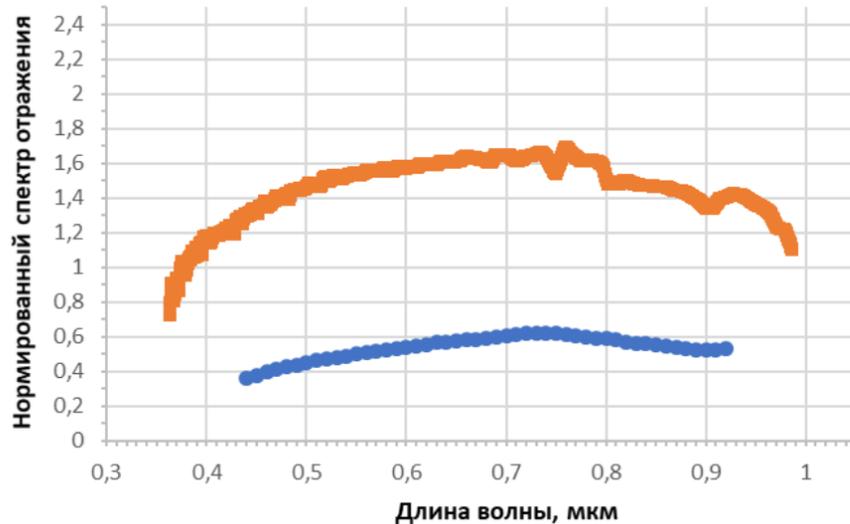
Поляриметрия

Оценка класса

Активность

Спектрофотометрия

- *качественная интерпретация полученных спектров отражения астероидов, выявление и исследование спектральных особенностей астероидов*

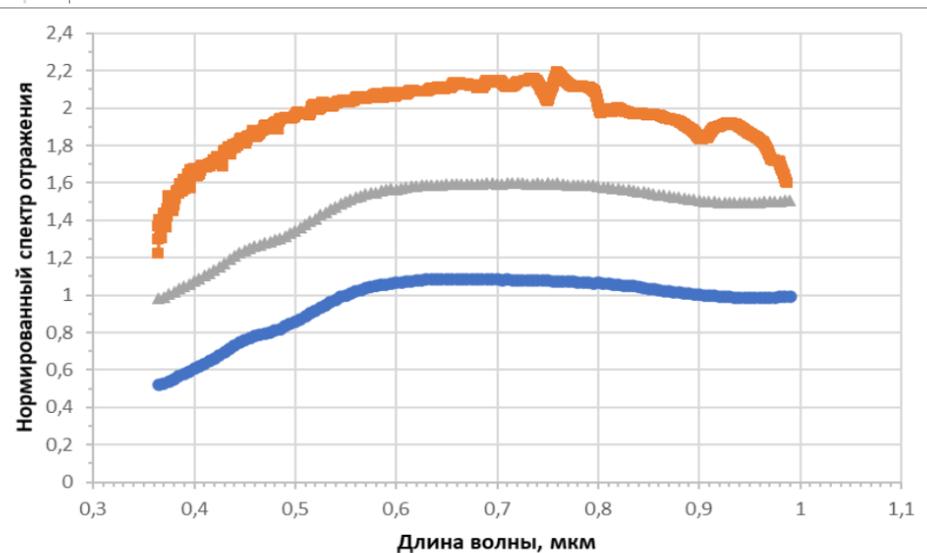


+ SMAS

+ геометрическое альbedo
период вращения

11 Парфенопа

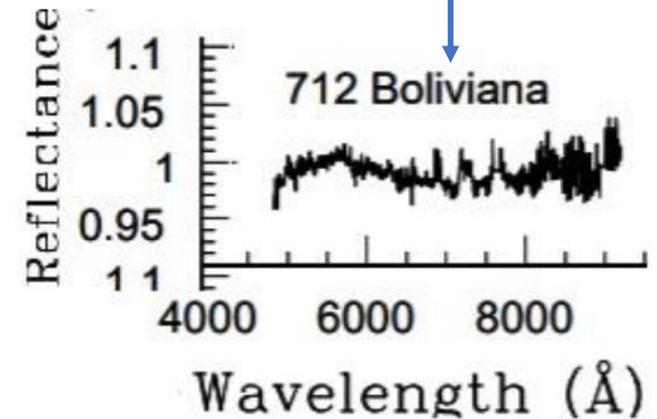
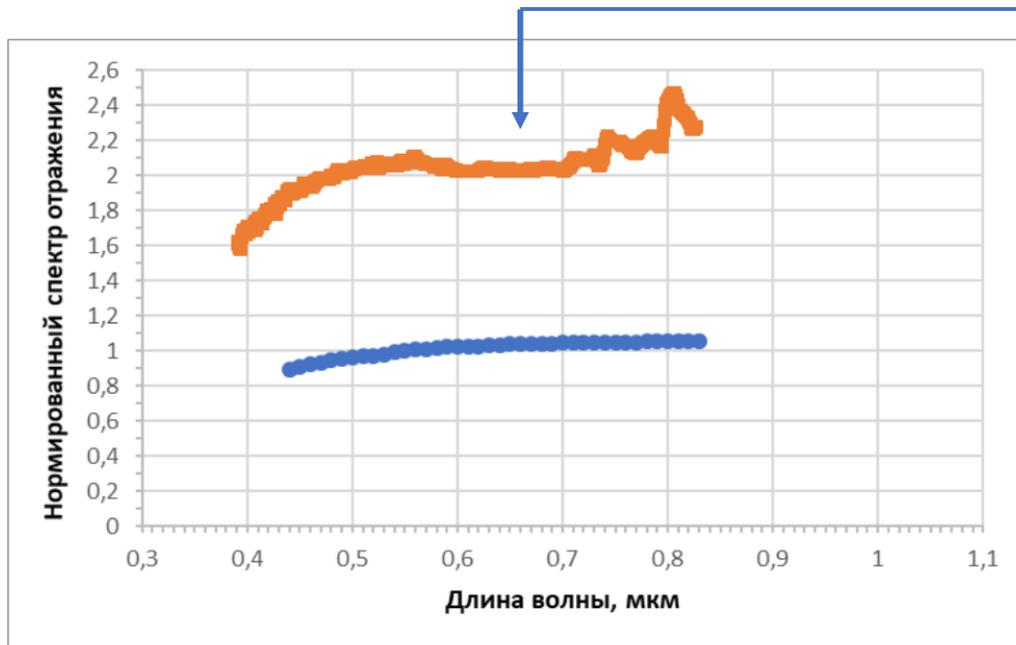
+ HOSERLab
метеориты



Спектрофотометрия

- качественная интерпретация полученных спектров отражения астероидов, *выявление и исследование спектральных особенностей астероидов*

Причиной появления полосы поглощения может являться наличие гидросиликатов. Это утверждение подтверждается и другими авторами



Fornasier S, 1999

Актуальность

Спектрофотометрия

Фотометрия

Поляриметрия

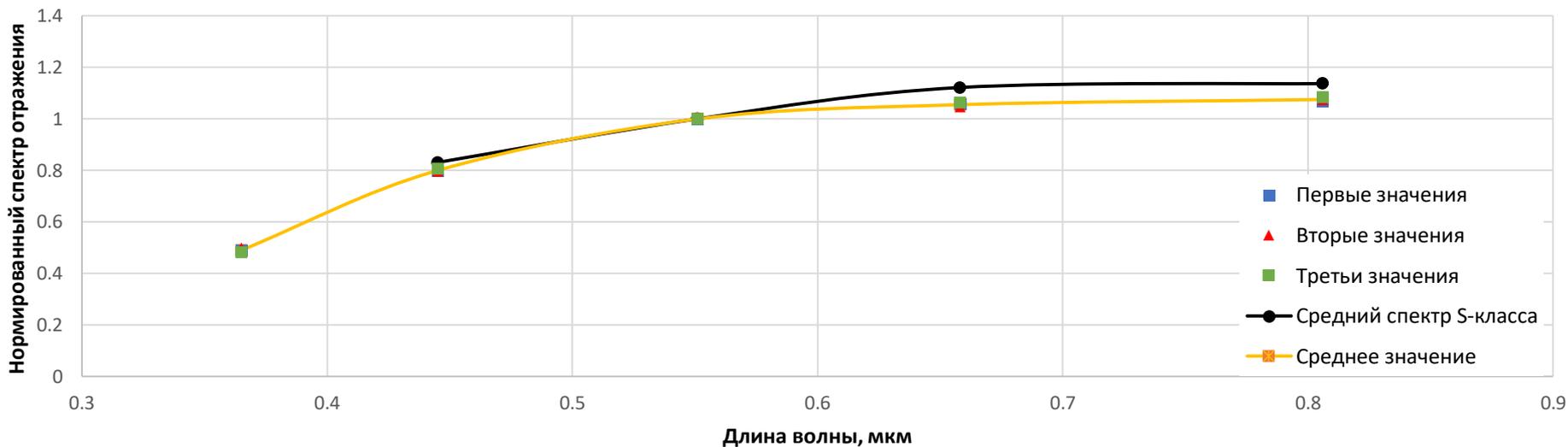
Оценка класса

Активность

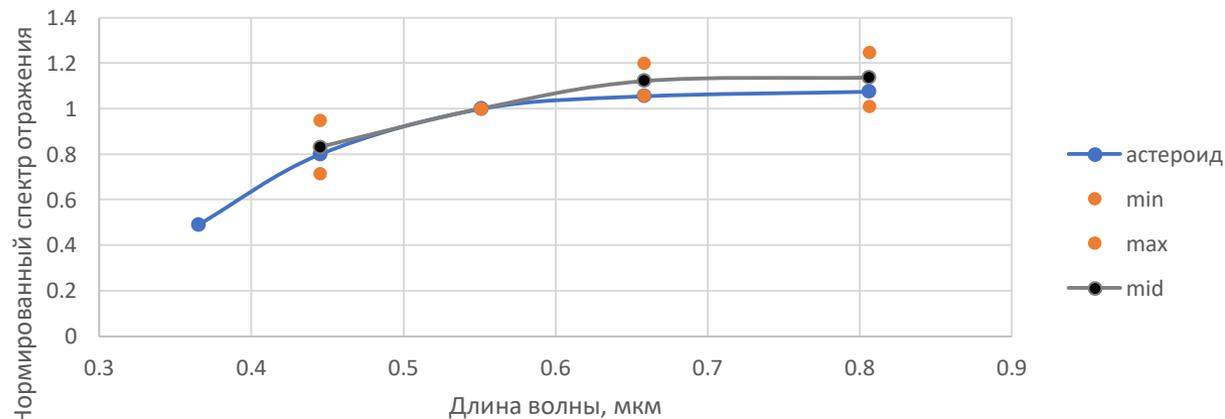
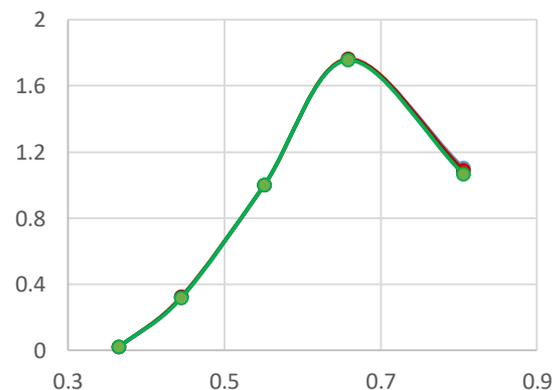
Фотометрия

573 Recha, 15/12/2021

Альbedo 0.100



Сравнение с представителями S-класса

Контрольная звезда
TYS 2926-1681-1

Актуальность

Спектрофотометрия

Фотометрия

Поляриметрия

Оценка класса

Активность

2018

2019

2020

2021

2022

2023

2024

Спектрофотометрия
63 астероида

UVRI-фотометрия
158 астероидов

1. Проведена качественная интерпретация спектров отражения астероидов Главного пояса и астероидов, сближающихся с Землёй, с последующей оценкой принадлежности к тому или иному таксономическому классу.

Для ряда объектов подобная оценка была проведена впервые.

2. Некоторые астероиды имеют смешанный состав вещества, указывающий на их интенсивную ударную эволюцию, связанную, вероятно, с падениями на их поверхность тел с составом вещества, отличающимся от состава астероидов-мишеней, так как их спектры отражения имеют как признаки низкотемпературной, так и высокотемпературной минералогии.

Актуальность

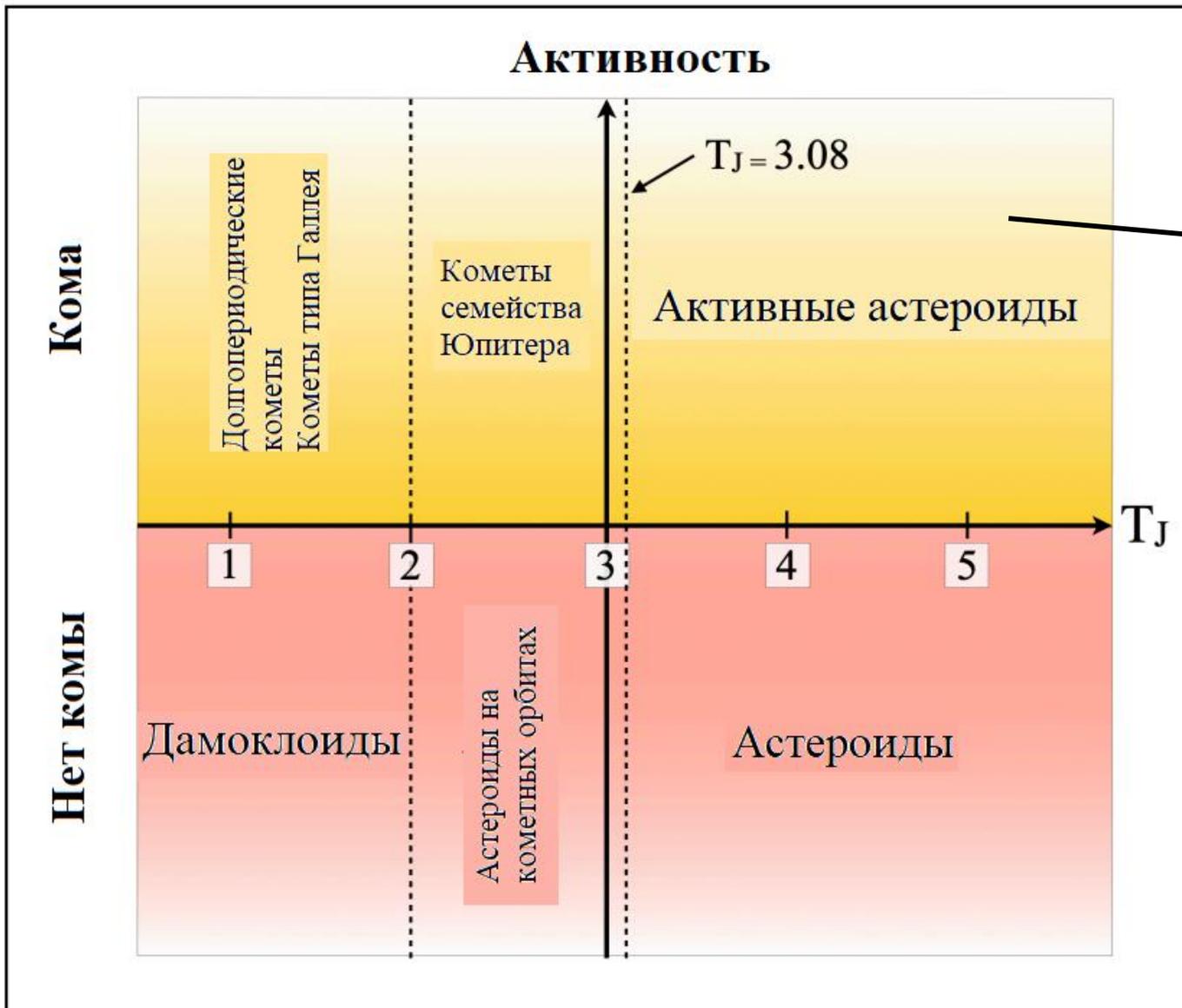
Спектрофотометрия

Фотометрия

Поляриметрия

Оценка класса

Активность



→ небесные тела, движущиеся по орбитам, характерным для астероидов, но, в то же время, демонстрирующие временную активность, подобную активности кометы

Jewitt, Hsieh, 2022

Актуальность

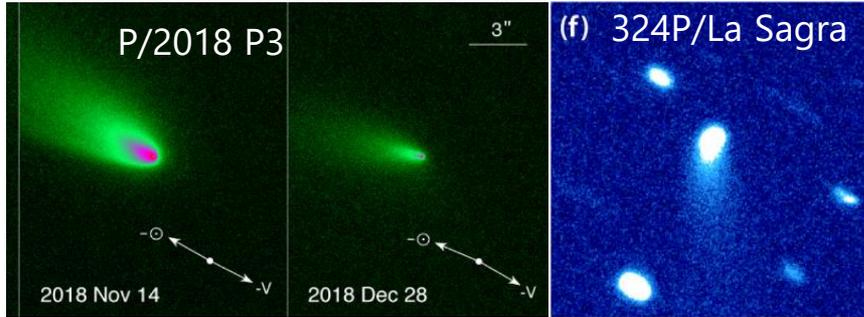
Спектрофотометрия

Фотометрия

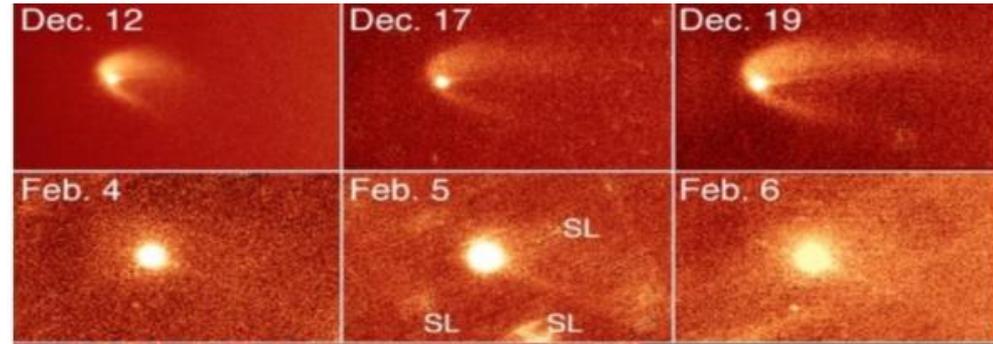
Поляриметрия

Оценка класса

Активность



Kim Y., 2022



Ishiguro M., 2011

Сублимационная активность

Механизмы

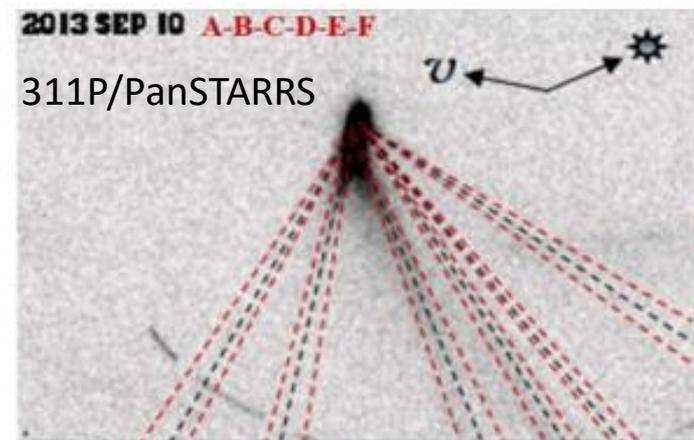
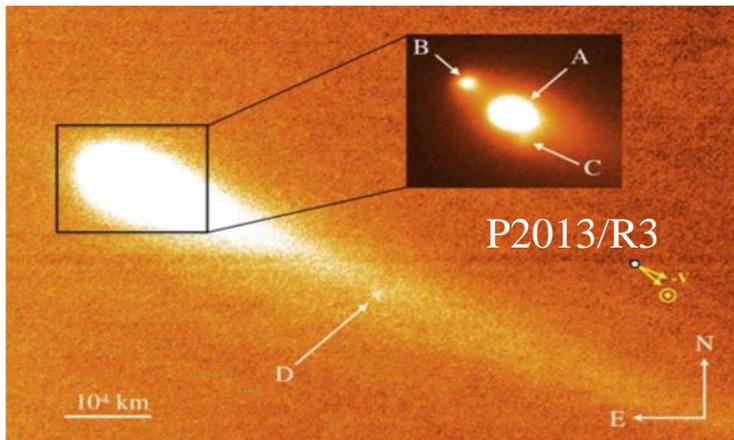
Столкновения

...

Jewitt D., 2017

Разрушение из-за вращения

Liu B. et al., 2023



Актуальность

Спектрофотометрия

Фотометрия

Поляриметрия

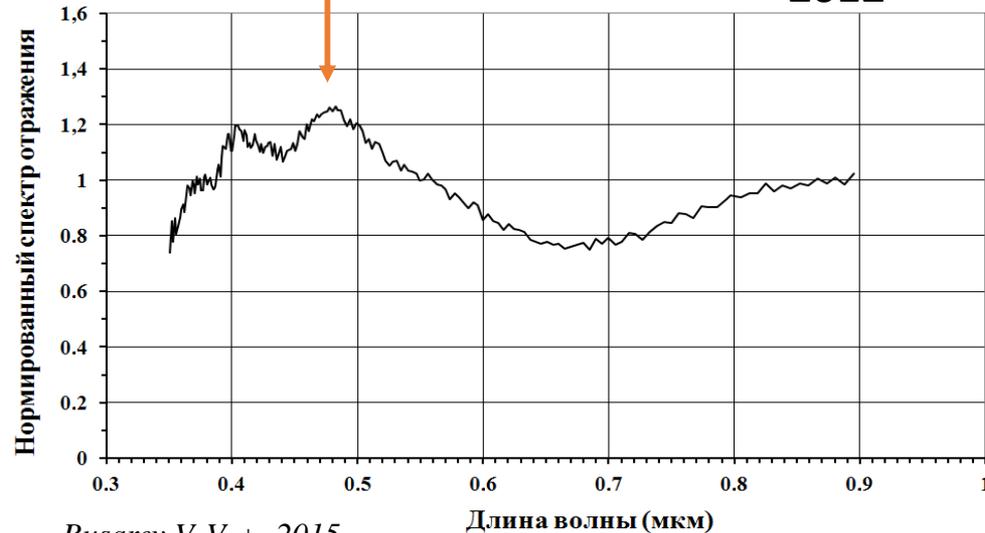
Оценка класса

Активность

Спектрофотометрия

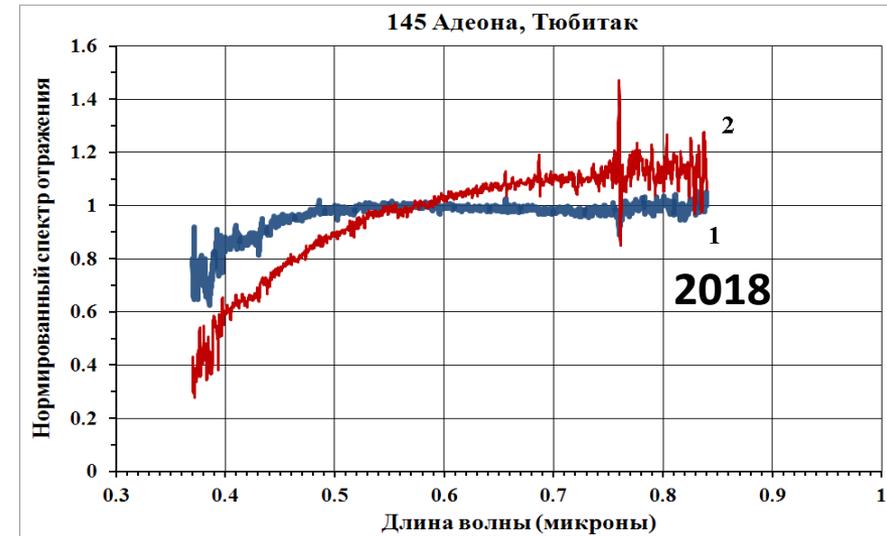
Busarev V. V. +, 2019

145 Адеона 2012 (a)

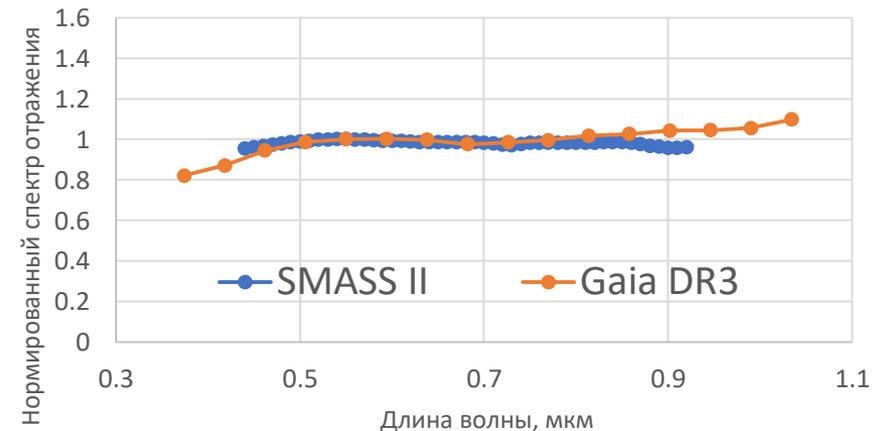


Busarev V. V. +, 2015

- Пик отражательной способности (модель = частицы из водяного льда),
- Высокий положительный градиент (модель = пылевые частицы).



145 Адеона (С-класс)



Актуальность

Спектрофотометрия

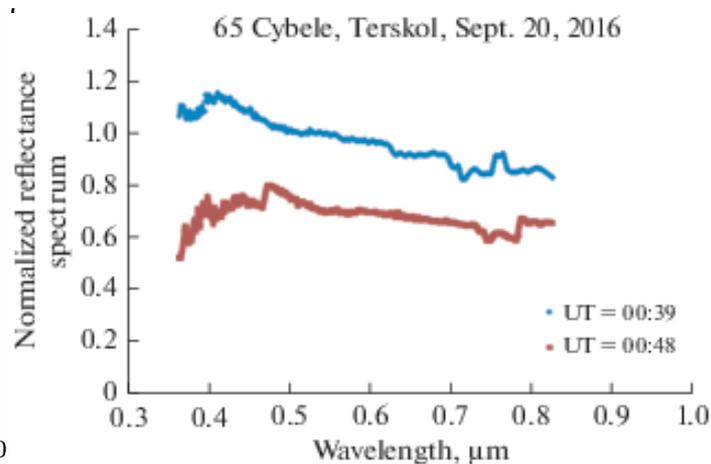
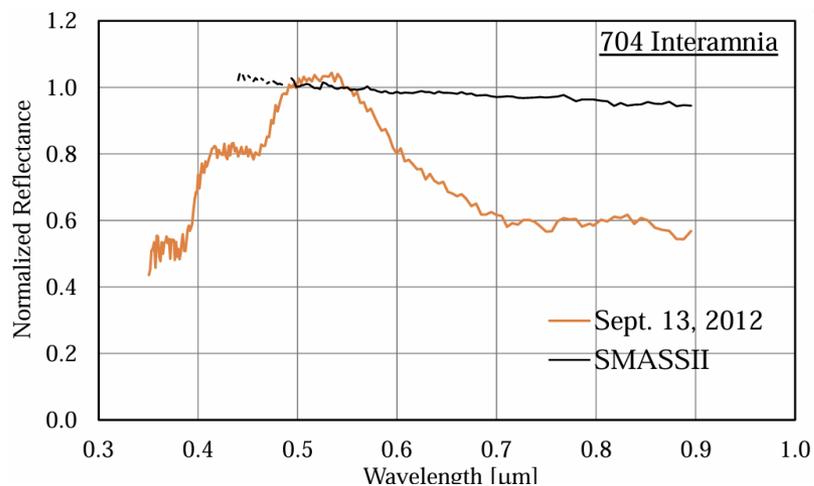
Фотометрия

Поляриметрия

Оценка класса

Активность

Спектрофотометрия



19 Fortuna	379 Huenna
52 Europa	383 Janina
65 Cybele	704 Interamnia
145 Adeona	779 Nina
177 Irma	1474 Beira
203 Pompeja	

2012-2022

(Busarev V.V., 2015)
 (Busarev V.V., 2016)
 (Busarev V.V., 2017)
 (Busarev V.V., 2019)
 (Shcherbina M.P., 2022)
 (Busarev V.V., 2022)

Актуальность

Спектрофотометрия

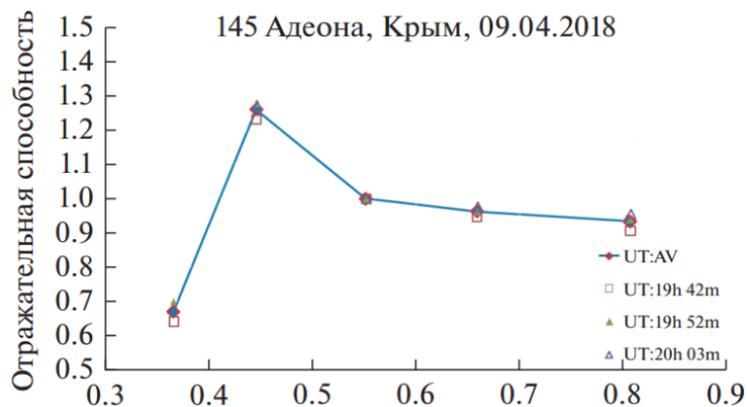
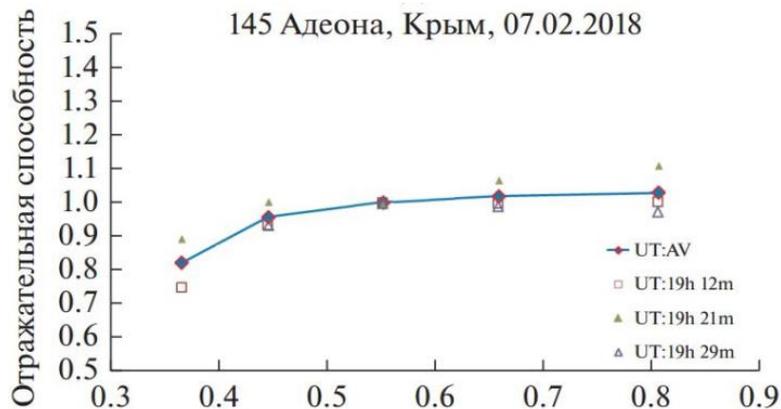
Фотометрия

Поляриметрия

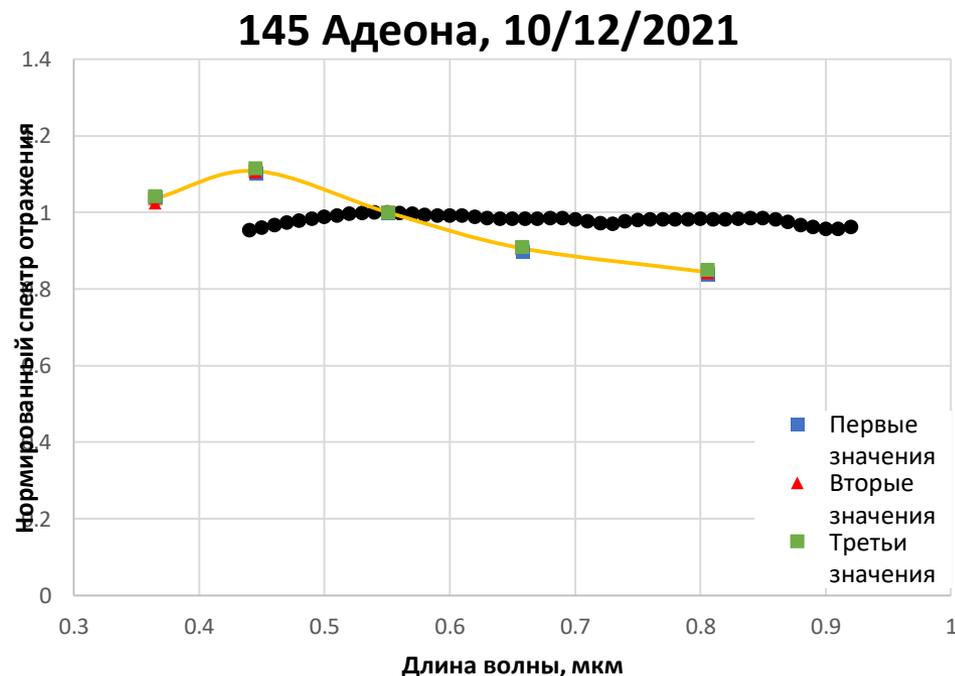
Оценка класса

Активность

Фотометрия



UBVRI-фотометрия, особенно значение в U-фильтре, чувствительна к изменениям отражательной способности



Фотометрия

24 Themis, March–April 2019

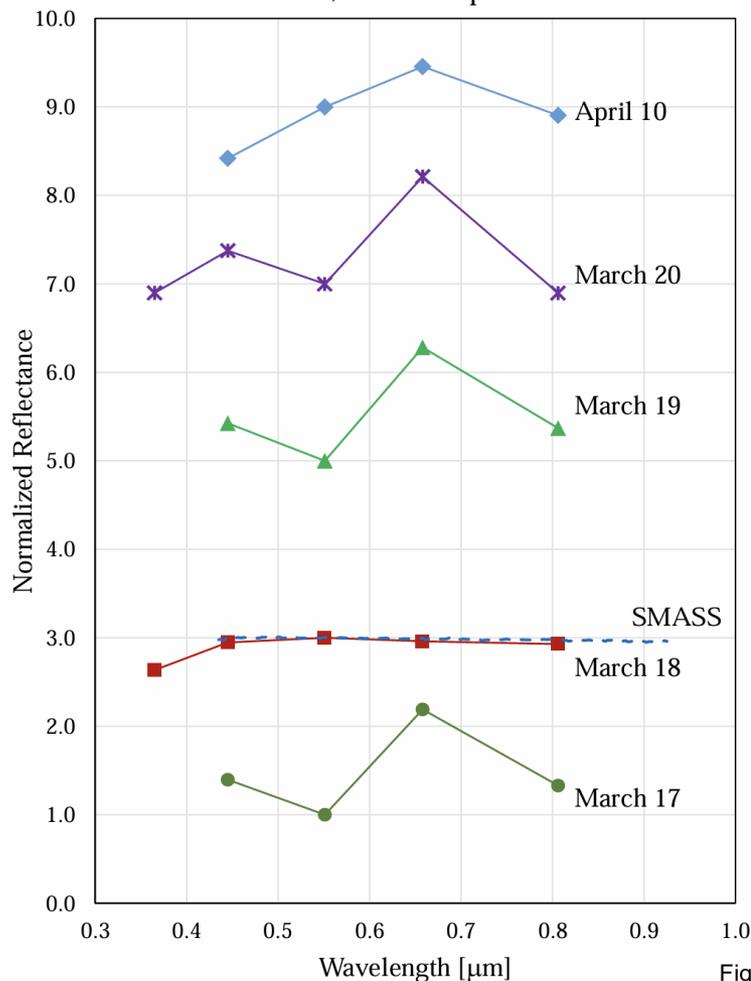
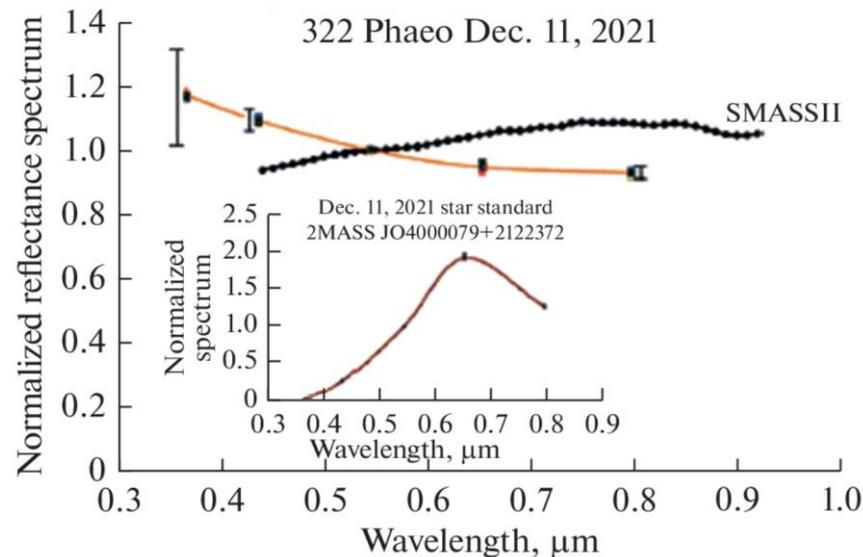


Fig. 4

(Busarev V.V., 2021)
 (Busarev V.V., 2022)
 (Shcherbina M.P., 2022)
 (Busarev V.V., 2024)



Актуальность

Спектрофотометрия

Фотометрия

Поляриметрия

Оценка класса

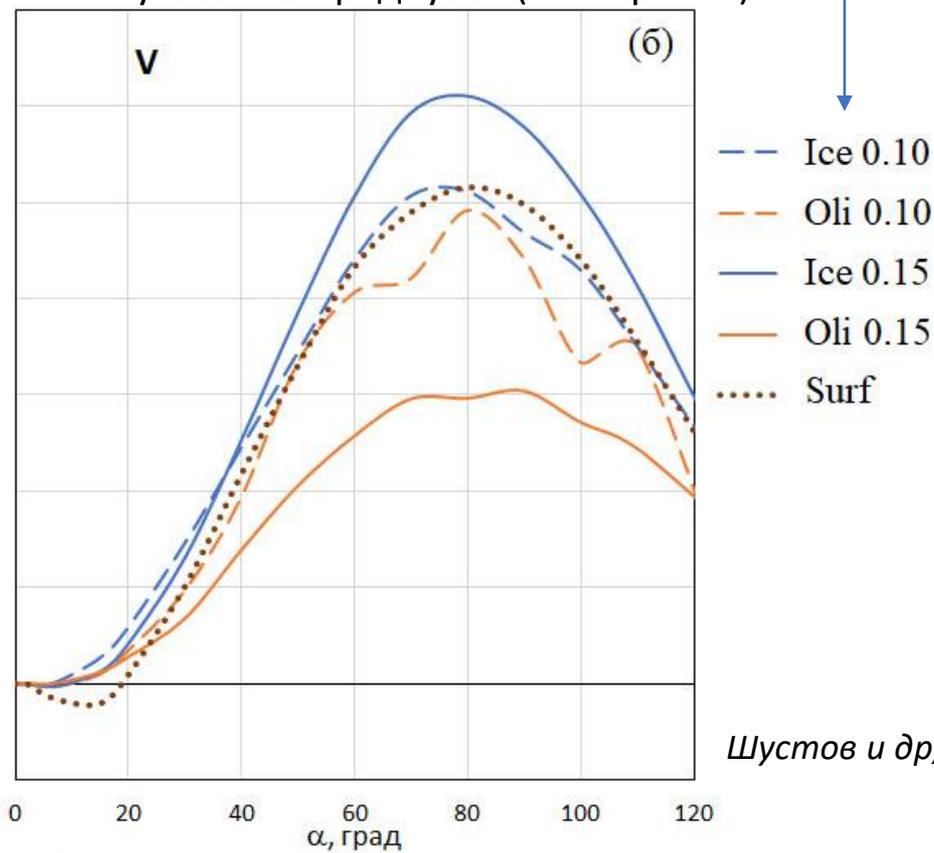
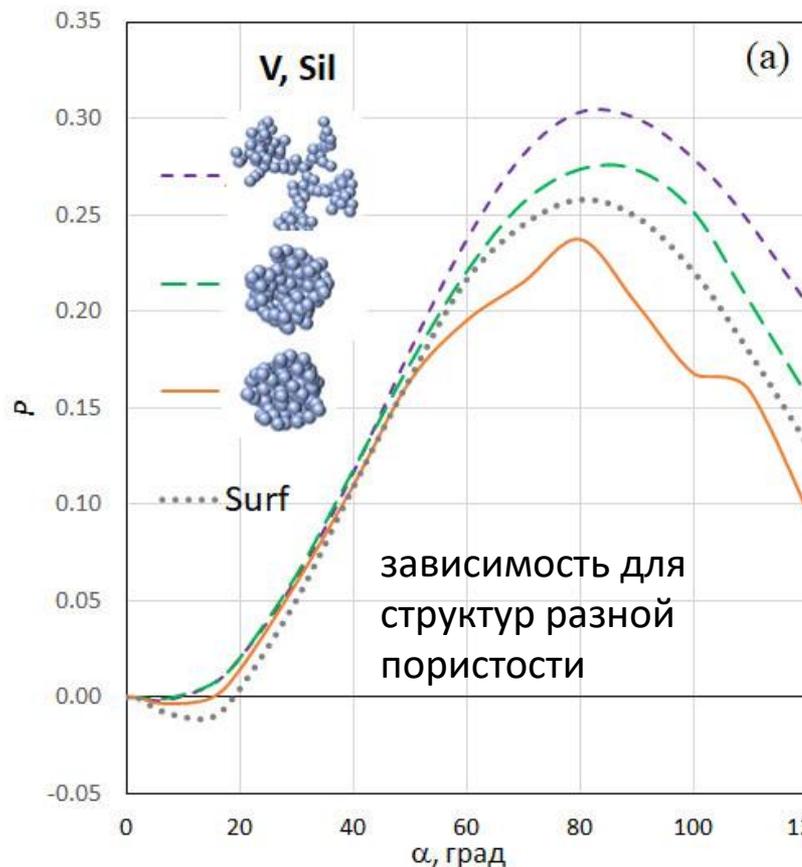
Активность

Фотометрия

24 Themis	435 Ella	757 Portlandia
<u>145 Adeona</u>	449 Hamburga	762 Pulcova
164 Eva	629 Bernardina	778 Theobalda
302 Clarissa	690 Wratislavia	<u>779 Nina</u>
322 Phaeo	<u>704 Interamnia</u>	859 Bouzareah
360 Carlova	750 Oskar	1121 Natasha
424 Gratia	751 Faina	1687 Glarona

Поляриметрия

Агрегатные частицы льда и оливина (пористость ~ 0.54), состоящие из мономеров указанных радиусов (в микронах).



Шустов и др, 2024

Степень линейной поляризации света P , отражённого модельным астероидом с экзосферой оптической толщины 0.5 на $\lambda = 0.54$ мкм, состоящей из частиц — случайно ориентированных агрегатов ($N = 100$ мономеров размером r)

Актуальность

Спектрофотометрия

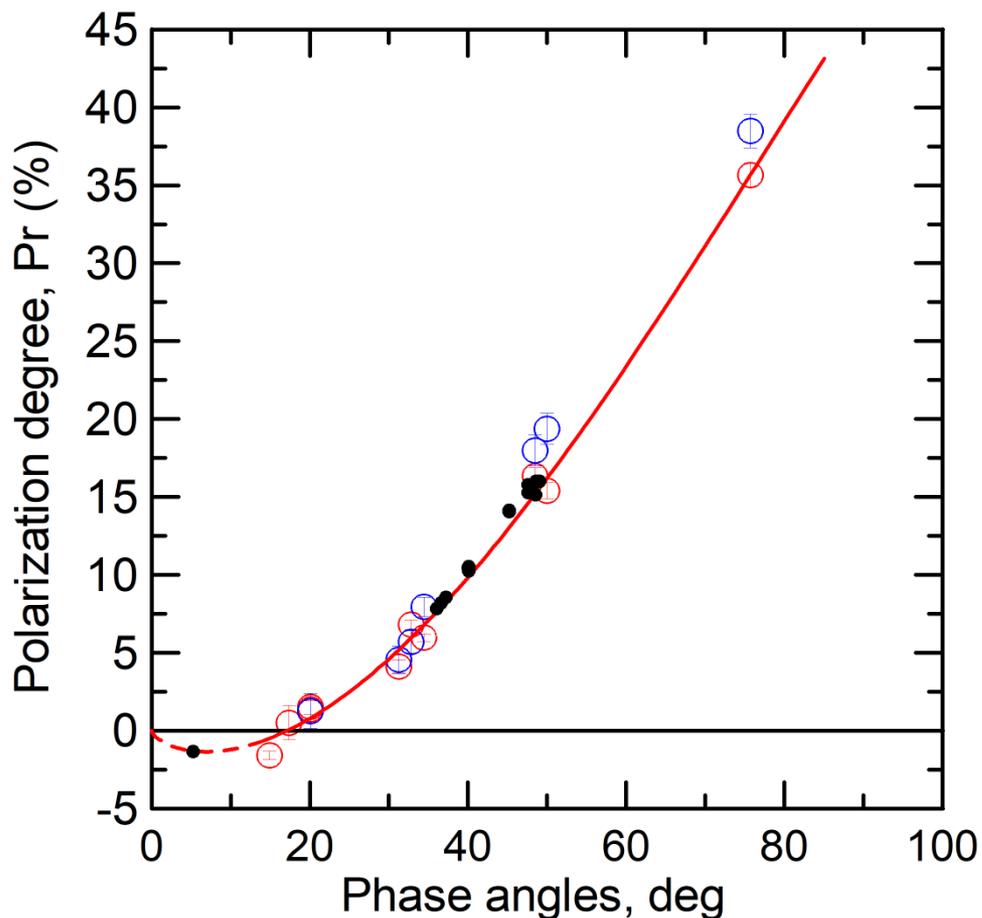
Фотометрия

Поляриметрия

Оценка класса

Активность

Поляриметрия



NEA 25330 (1999 KV4)

○ band V

○ band R

Comet C/1995 O1 (Hale-Bopp)

● band R

Активный астероид?

