

## Астероиды С и Х-типа в группе Венгрии

© Т. А. Виноградова

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Произведен анализ таксономического состава астероидов в группе Венгрии. Ранее в этой области были выделены два семейства астероидов: (434) Hungaria и (1019) Strakea. Последнее семейство образовано астероидами S- и L-типа, что не вызывает никаких сомнений, поскольку такие астероиды преобладают во внутренних областях пояса астероидов. Относительно очень крупного семейства (434) Hungaria найдено, что оно состоит из астероидов C- и X-типа.

Известно, что родственные углистым хондритам C-астероиды преобладают во внешних областях. Наличие большого количества таких объектов в самой внутренней области пояса астероидов потребовало специального исследования. С использованием самых последних данных было найдено, что астероиды C- и X-типа в группе Венгрии характеризуются очень высоким альбедо. Это позволило сделать вывод, что в данном случае астероиды C-типа были классифицированы ошибочно. В действительности астероиды C-типа, также как и X-типа, в семействе (434) Hungaria должны быть отнесены к типу E.

**Ключевые слова:** небесная механика, астероиды, таксономические типы, семейства астероидов.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.51.49-57>

### Введение

Группа Венгрии — это ближайшая к Земле область пояса астероидов. Астероиды этой группы движутся на средних расстояниях 1.8–2.0 а. е. от Солнца, и их орбиты характеризуются большими наклонами — от 20° до 30°. Из-за близости к Земле здесь могут наблюдаться более мелкие астероиды по сравнению с другими областями. В настоящее время в группе Венгрии практически полностью обнаружены астероиды, имеющие абсолютную звездную величину  $H < 17^m$ , и подходит к концу открытие астероидов с  $H < 17.5^m$ . Для сравнения, в области Кибелы, самой удаленной части главного пояса астероидов, полностью открыты только астероиды с  $H < 14^m$ . Благодаря такому выгодному положению группа Венгрии, казалось бы, должна быть наиболее хорошо изучена. Тем не менее вопрос о количестве семейств и о таксономическом составе астероидов в этой области стоял до последнего времени.

В работе А. Леметр и др. [1] было впервые высказано предположение о том, что группа Венгрии не является однородной и содержит крупное семейство, возникшее в результате разрушения некоего родительского астероида. Это было подтверждено в последующих работах Б. Варнера и др. [2] и А. Милани и др. [3]. Кроме того, авторы второй работы предположили, что в области больших наклонов может существовать другое семейство. И действительно, это семейство было обнаружено Т. А. Виноградовой [4, 5].

Другой вопрос касается таксономического состава астероидов в этой области. Начало современной классификации астероидов на основе физических данных было положено в работе К. Чепмена и др. [6] в 1975 г. Тогда было выделено всего три типа астероидов: С, S, U. Для первых двух типов были найдены аналоги среди метеоритов, упавших на Землю. Астероиды С-типа принято считать темными углеродистыми объектами, которые родственны углистым хондритам, а астероиды S-типа — каменными объектами. К типу U были отнесены все остальные астероиды, не подпадающие под категории С и S. В дальнейшем данная классификация была расширена.

В настоящее время чаще всего используются две классификации: Д. Толена [7] и Ш. Баса [8]. Д. Толен увеличил число различных типов до 14, но их можно разделить на три больших класса: С, S, X. Кроме известных классов углистых и каменных астероидов был введен новый класс X, включающий разнородные астероиды. Сюда были отнесены металлические астероиды типа М и Е, имеющие средние и высокие альбедо соответственно, а также примитивный тип Р с очень низким альбедо. В классификации Ш. Баса, в основе которой лежит только исследование особенностей спектра астероидов, имеется уже 26 различных типов. В работе Ш. Баса и Р. Бинзеля [9] было показано, что в пространстве используемых спектральных характеристик все астероиды разделяются на две большие группы, между которыми существует четкая граница. Эти группы можно обозначить как С и S. При этом тип X оказывается включенным в группу С, и без использования дополнительных данных об альбедо разделить разные типы трудно.

Д. Толен и М. Баруччи [10] определили таксономический тип для 30 астероидов в группе Венгрии. Основными типами были S, X, E. Астероиды этих типов характеризуются средними и большими значениями альбедо. Главный астероид популяции (434) Hungaria принадлежит E-типу. Предполагалось, что и все семейство, принадлежащее ему, состоит из таких же астероидов. Долгое время произвести более детальный таксономический анализ этой популяции было невозможно из-за недостаточного количества данных. Только SDSS MOC (Sloan Digital Sky Survey Moving Object Catalog) [11] позволил определить таксономический тип достаточного количества астероидов в этой области.

С использованием этих данных Б. Варнер и др. [2] и А. Милани и др. [3] получили таксономические типы для 350 астероидов в группе Венгрии. Результаты этих авторов практически совпадают. Ими было найдено, что около 80 % объектов принадлежат типу X, 12–17 % — типу S и только 4–6 % — типу С. По классификации Ш. Баса X-тип представляет собой широкий класс объектов со спектрами, подобными типам С, М, Е [9]. Астероиды этих типов сильно отличаются друг от друга по составу, но имеют похожие спектры. Объект может быть отнесен к одному из этих трех типов только в том случае, если определено его альбедо. Но до последнего времени такие дополнительные данные были известны только для небольшого количества астероидов в этой области. Поэтому Б. Варнером и др. [2] было сделано предположение, что во внешней области пояса астероидов (большая полуось орбит  $> 2.6$  а. е)  $X = C$ , тогда как в группе Венгрии  $X = E$ . В результате X-астероиды были включены в семейство (434) Hungaria, а C-астероиды были отнесены к фоновой составляющей.

Другие авторы, М. Ассандри и Р. Гил-Хаттон [12], нашли, что 26 % объектов в группе Венгрии принадлежат С-типу. Авторы предположили, что если эти астероиды действительно родственны углистым хондритам, то должен существовать механизм транспортировки таких астероидов из более удаленных областей пояса астероидов во внутреннюю.

В настоящей работе показано, что оба эти предположения относительно С-астероидов неверны. Автором данной статьи произведен анализ распределения таксономических типов в группе Венгрии с использованием самых последних данных, собранных в базе NASA SBN PDS (Small Bodies node of NASA Planetary Data System). Эта база включает большое количество новых таксономических данных, полученных SDSS [13], и более ранние данные [14]. Были использованы также данные об альbedo астероидов, собранные в этой базе данных. Наибольший вклад в определение альbedo был внесен спутником WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer), получившим данные об альbedo для более 100 тыс. астероидов [15]. Кроме того, были использованы данные об альbedo, полученные спутником AKARI и собранные в AcuA (Asteroid Catalog Using AKARI) [16].

## **Два семейства в группе Венгрии**

В работе [4] был описан метод поиска семейств астероидов в группе Венгрии. В результате поиска были обнаружены два семейства: (434) Hungaria и (3854) George. Обнаружить второе семейство стало возможным благодаря применению нового эмпирического метода вычисления собственных элементов. В отличие от современных методов [17], использующих для получения собственных элементов численное интегрирование на очень больших промежутках времени в миллионы лет, этот метод позволяет произвести необходимые вычисления без каких-либо затрат времени. Для исключения вековых возмущений из оскулирующих элементов в нем использована только формула преобразования координат. С помощью этого метода можно очень быстро получить собственные элементы для всех открытых к настоящему времени нумерованных и нумерованных астероидов. Надо заметить, что количество астероидов, используемых для поиска семейств, имеет очень большое значение, особенно если семейство образовано мелкими астероидами. Для группы Венгрии было найдено около 14 тыс. многоопозиционных астероидов, для которых вычислены собственные элементы и произведен поиск семейств.

Свое название семейство получает по имени астероида с наименьшим порядковым номером. При использовании разных начальных данных и разного количества астероидов состав семейства может изменяться. Так, при использовании новых данных из каталога оскулирующих элементов MPC (Minor planet Center) версии окт.2018, к ранее найденному семейству (3854) George был присоединен астероид (1019) Strakea, поэтому под таким именем это семейство было опубликовано в более поздней работе [5].

Два найденных семейства сильно различаются по своим характеристикам. Крупное семейство (434) Hungaria имеет все признаки реального семейства, возникшего в результате столкновения астероидов. Оно включает большую часть астероидов группы Венгрии, более 12 тыс. Второе семейство,

(1019) Strakea, не так многочисленно: оно включает в настоящий момент около 300 астероидов. Найденные семейства имеют различный таксономический состав. Семейство (1019) Strakea образовано каменными астероидами класса S, L, тогда как (434) Hungaria — астероидами типа C и X.

Астероид (434) Hungaria принадлежит таксономическому классу E, поэтому всегда предполагалось, что семейство, возглавляемое этим астероидом, образовано астероидами такого же типа. Тем не менее к настоящему времени используемые базы предоставляют данные только о трех дополнительных астероидах типа E в группе Венгрии. Полученное для семейства (434) Hungaria большое количество астероидов типа C, которые родственны углистым хондритам и свойственны внешним областям пояса астероидов, потребовало специального исследования.

### Распределения астероидов C и X-типа, доказывающие общность их происхождения

Для доказательства общего происхождения C- и X-астероидов в результате одного катастрофического события в области группы Венгрии были рассмотрены некоторые распределения элементов их орбит. На рис. 1а приведено распределение собственных элементов ( $i_p$ ,  $a_p$ ) для всех астероидов группы Венгрии. Здесь  $i_p$  — собственный наклон,  $a_p$  — собственная большая полуось орбиты. Это распределение наглядно подтверждает существование двух семейств. Большое семейство Венгрии расположено в области собственных наклонов от  $18^\circ$  до  $24^\circ$ . Выше, в области наклонов  $24^\circ$ – $26^\circ$ , находится семейство (1019) Strakea.

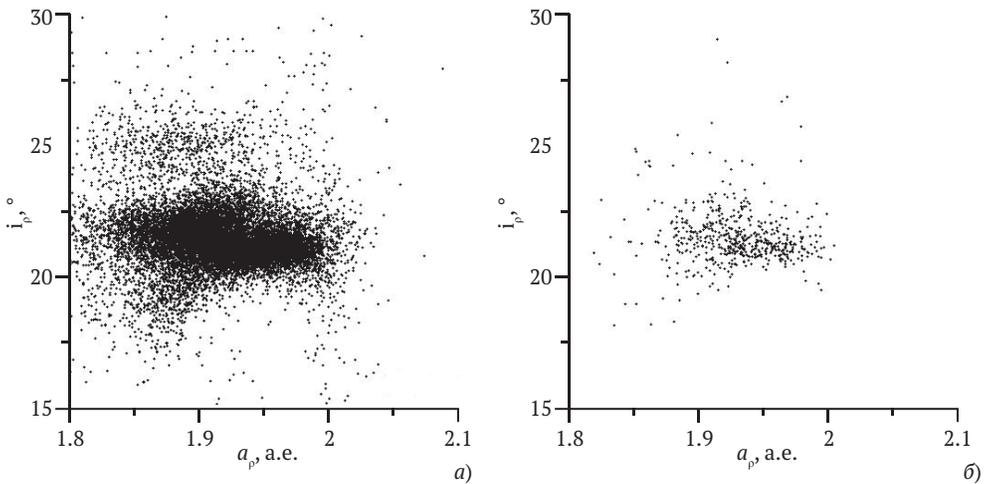


Рис. 1. Распределение собственных элементов ( $i_p$ ,  $a_p$ ) орбит астероидов в группе Венгрии: а — все астероиды, б — астероиды C, X-типа

Интересно рассмотреть такое же распределение для астероидов разных типов. При использовании самых последних таксономических данных [13, 14] было найдено, что спектральный тип определен в настоящее вре-

мя для 702 астероидов группы Венгрии. Это значительно больше, чем имели в своем распоряжении предыдущие исследователи. Основными типами являются: С — 47 %, Х — 33 % и S — 7 %. Совместное распределение астероидов С- и Х-типа показано на рис. 1б. Хорошо видно, что астероиды этих двух типов располагаются в одной и той же области, а именно в области семейства (434) Hungaria. Можно сказать, что практически все эти астероиды входят в состав семейства. Лишь незначительная часть астероидов С- и Х-типа рассеяна по остальному пространству, их следует отнести к фоновой составляющей этой популяции.

Еще более показательным является распределение  $(a, H)$ , где  $a$  — большая полуось орбиты,  $H$  — абсолютная звездная величина. Элементы орбит, такие как большая полуось, эксцентриситет и наклон, для астероидов, являющихся членами одного динамического семейства, демонстрируют распределение специфического треугольного вида в зависимости от размера астероида [18]. Это объясняется тем, что мелкие фрагменты разлетаются при разрушении родительского астероида с большими скоростями. Вследствие этого распределение  $(a, H)$  тоже имеет треугольный вид. Самый крупный астероид располагается при этом вблизи вершины треугольника.

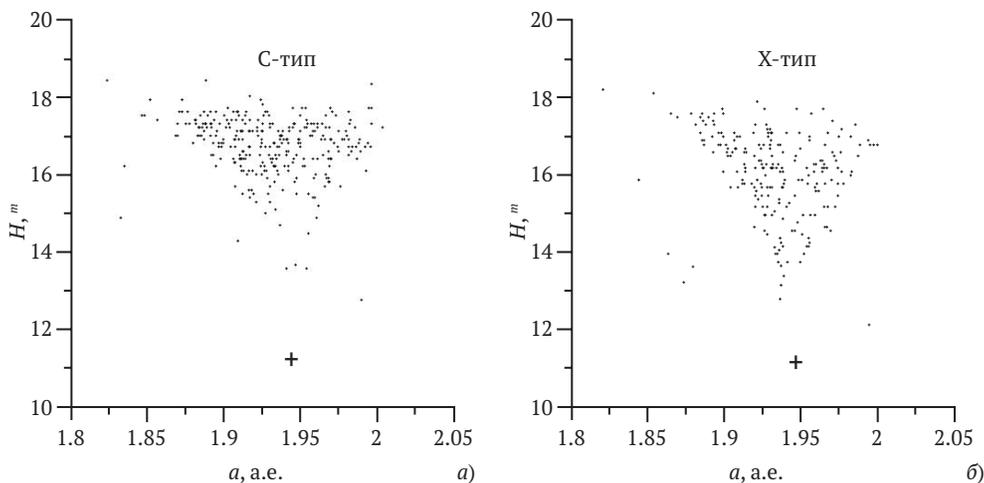


Рис. 2. Распределение  $(a, H)$ , построенное для астероидов группы Венгрии: а) астероиды С-типа; б) астероиды Х-типа; плюсом показано положение главного астероида (434) Hungaria

Именно такое распределение имеют астероиды С- и Х-типа в группе Венгрии (рис. 2). Плюсом показано положение главного астероида (434) Hungaria из этого семейства. Приведенные распределения доказывают, что астероиды С- и Х-типа имеют общее происхождение в результате дробления одного родительского тела, что снимает вопрос о транспортировке С-астероидов из более удаленных областей пояса астероидов.

## Высокое альbedo астероидов X- и C-типа в группе Венгрии

Как было показано выше, астероиды X-типа в группе Венгрии представляют достаточно большую популяцию, они составляют треть всех астероидов с известной таксономией. Большой проблемой у авторов предыдущих работ был вопрос о том, к какому типу ближе эти астероиды по своим свойствам: к типу С или к типу Е. При высоких альbedo X-астероиды близки к типу Е, при низких — к типу С. Трудность заключалась в том, что для этих астероидов не было определено альbedo. В работе Б. Варнера и др. [2] астероиды X-типа были причислены к Е-типу, и, таким образом, отнесены к семейству (434) Hungaria, а астероиды С-типа были отнесены к фоновой составляющей.

Мы воспользовались данными об альbedo, собранными в базе данных NASA SBN. Среди астероидов с известным альbedo были выделены астероиды группы Венгрии, для которых определен также и таксономический тип. Среди этих астероидов было найдено 44 астероида типа X. Среднее значение альbedo для этих астероидов оказалось очень высоким, около 0.7. Точно такое же среднее альbedo получено и для Е-астероидов. Отсюда можно сделать вывод, что все астероиды X-типа в семействе (434) Hungaria, а также подавляющее большинство таких астероидов в группе Венгрии в целом, следует отнести к типу Е.

Остается выяснить, что представляют собой астероиды С-типа в этой области. Только для 11 астероидов этого типа в группе Венгрии было определено альbedo. Среднее значение альbedo для этих астероидов было вычислено равным 0.8, в то время как общепринятым значением альbedo для астероидов С-типа является 0.06. К примеру, для астероидов S-типа вычислено обычное среднее альbedo 0.25.

Для сравнения были рассмотрены астероиды С-, X-типа в ближайшей к группе Венгрии области пояса астероидов 2.0–2.5 а.е. Были найдены данные об альbedo для 1946 нумерованных астероидов спектрального класса С и для 364 астероидов типа X. Большинство этих астероидов имеют низкие и умеренные альbedo. На рис. 3 построена гистограмма распределения астероидов в зависимости от геометрического альbedo в визуальных лучах  $p_v$  для двух этих областей. Сравнение распределений на рис. 3а и рис. 3б говорит о том, что большинство астероидов С, X-типа в группе Венгрии имеет другие физические свойства поверхности по сравнению с астероидами таких же типов в области 2.0–2.5 а.е.

Тем не менее альbedo отдельных астероидов С-типа в области 2.0–2.5 а.е. оказалось тоже очень большим. Сравнение данных WISE и AKARI показывает, что большие значения альbedo для некоторых астероидов не являются ошибкой. Данные разных спутников, полученные для одних и тех же астероидов, довольно хорошо согласуются между собой. Максимальное альbedo, определенное спутником AKARI в этой области для астероидов типа С, равно 0.442. Такое альbedo получено для астероида (620) Drakonia. WISE определил для него почти такое же значение альbedo 0.433. Таким образом, этот астероид действительно имеет высокое альbedo, несовместимое с С-типом. Исследование других областей пояса астероидов показывает, что с удалением от Солнца количество С-астероидов с высоким альbedo уменьшается.

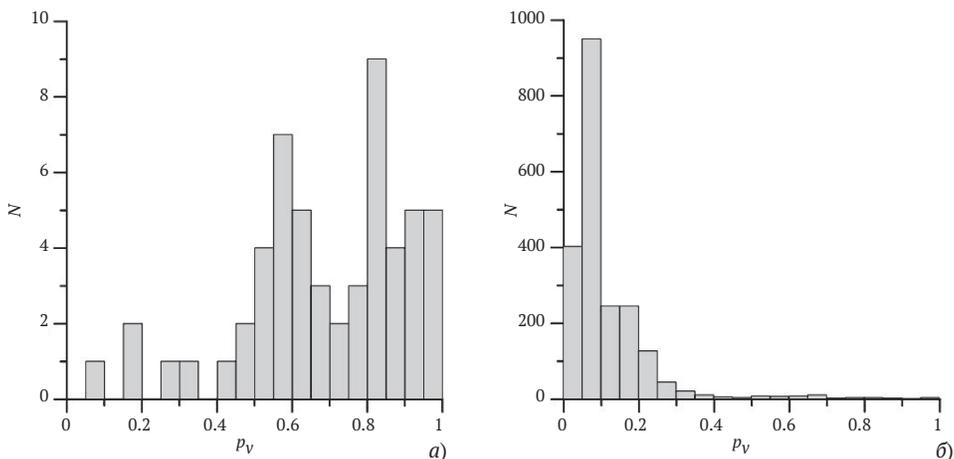


Рис. 3. Гистограмма распределения количества астероидов С-, Х-типа в зависимости от альbedo  $p_v$ : а) в группе Венгрии; б) в области 2.0–2.5 а. е.

Кроме того, были рассмотрены альbedo астероидов, сближающихся с Землей. По причине периодической близости к Земле эти астероиды изучены лучше, чем астероиды группы Венгрии. Для многих из них спектральный тип определялся многократно разными авторами. Большинство астероидов С-типа в этой популяции характеризуются низким альbedo, но, тем не менее, часть из них имеет несовместимое с их типом высокое альbedo. Для примера можно привести астероид (54789) 2001MZ7, для которого определено альbedo 0.856 и дважды определен спектральный тип: С и Х. Для астероида (4660) Nereus также определено высокое альbedo 0.39 и тип: С, Е и Х.

Приведенные примеры говорят о том, что довольно часто астероидам Е-типа ошибочно присваивается тип С. В результате можно сделать вывод, что астероиды семейства (434) Hungaria, отнесенные к С-типу, являются в действительности астероидами Е-типа. Такие астероиды характеризуются высоким альbedo. Предполагают, что их поверхность образована силикатами с низким содержанием железа, такими как энстатит, форстерит и полевои шпат. Лишь незначительное число астероидов С- и Х-типа в группе Венгрии характеризуется низким альbedo, такие астероиды являются реальными углистыми объектами, их следует отнести к фоновой составляющей этой популяции.

## Заключение

В данной работе была исследована природа астероидов С- и Х-типа в группе Венгрии. Большое количество С-астероидов, обнаруженных в этой области в последнее время, противоречит современному представлению о том, что углистые объекты преобладают во внешних областях пояса астероидов.

Анализ распределения разных таксономических классов в пространстве собственных элементов показывает, что С- и Х-астероиды в группе Венгрии располагаются в одной и той же области, а именно в области семейства

(434) Hungaria. Таким образом, эти астероиды имеют общее происхождение в результате разрушения общего родительского тела. Это снимает вопрос о транспортировке С-астероидов из других областей пояса астероидов.

Кроме того, с использованием самых последних данных об альбедо, полученных спутниками WISE и AKARI, было найдено, что альбедо астероидов С- и Х-типа в этой области очень высокое. Это говорит о том, что астероиды С-типа в семействе Венгрии были классифицированы ошибочно. Эти астероиды в действительности не являются углистыми объектами и должны быть отнесены к типу Е, так же как и астероиды Х-типа.

## Л и т е р а т у р а

1. *Lemaître A.* Hungaria: A potential new family // Astronomical society of the Pacific conference series / ed. by Kozai Y., Binzel R. P., Hirayama T. in: Seventy-five years of Hirayama asteroid families: the role of collisions in the Solar system history. — 1994. — Vol. 63. — P. 140–145.

2. *Warner B. D., Harris A. W., Vokrouhlický D., Nesvorný D., Bottke W. F.* Analysis of the Hungaria asteroid population // *Icarus*. — 2009. — Vol. 204. — P. 172–182.

3. *Milani A., Knežević Z., Novaković B., Cellino A.* Dynamics of the Hungaria asteroids // *Icarus*. — 2010. — Vol. 207. — P. 769–794.

4. *Виноградова Т. А.* Поиск семейств астероидов группы в Венгрии // Труды ИПА РАН — СПб.: ИПА РАН, 2018 — Вып. 45. — С. 20–33.

5. *Vinogradova T. A.* Empirical method of proper elements calculation and identification of asteroid families // *MNRAS*. — 2019. — Vol. 484, no. 3. — P. 3755–3764.

6. *Chapman C. R., Morrison D., Zellner B.* Surface properties of asteroids: A synthesis of polarimetry, radiometry, and spectrophotometry // *Icarus*. — 1975. — Vol. 25. — P. 104.

7. *Tholen D. J.* Asteroid taxonomy from cluster Analysis of photometry. Doctoral thesis. — University of Arizona, 1984.

8. *Bus S. J.* Compositional structure in the asteroid belt: results of a spectroscopic survey. — PhD thesis. — Boston: Massachusetts Institute of Technology, 1999. — P. 367.

9. *Bus S. J., Binzel R. P.* Phase II of the Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey: A feature-based taxonomy // *Icarus*. — 2002. — Vol. 158. — P. 146–177.

10. *Tholen D. J. and Barucci M. A.* Asteroid taxonomy // In *Asteroids II* / ed. by R. P. Binzel et al. — Tucson: Univ. of Arizona, 1989. — P. 298–315.

11. *Ivezic Z. et al., the SDSS Collaboration.* Solar System objects observed in the Sloan Digital Sky Survey commissioning data // *Astron. J.* — 2001. — Vol. 122. — P. 2749–2784.

12. *Assandri M. C., Gil-Hutton R.* Surface composition of Hungaria asteroids from the analysis of the Sloan Digital Sky Survey colors // *A & A*. — 2008. — Vol. 488. — P. 339–343.

13. *Hasselmann P. H., Carvano J. M. and Lazzaro D.* SDSS-based asteroid taxonomy V1.1. EAR-A-I0035-5-SDSSTAX-V1.1. NASA Planetary Data System — 2012.

14. *Neese C. (Ed).* Asteroid taxonomy V6.0. EAR-A-5-DDR-TAXONOMY-V6.0. NASA Planetary Data System. — 2010.

15. *Masiero J. R., Mainzer A. K. et al.* Main belt asteroids with WISE/NEOWISE. I. Preliminary albedos and diameters // *Astrophys. J.* — 2011. — Vol. 74. — P. 68–89.

16. *Usui F., Kasuga T. et al.* Albedo properties of main belt asteroids based on the infrared all-sky survey of the astronomical satellite AKARI // *The Astrophysical Journal*. — 2013. — Vol. 762, no. 1. — P. 14.

17. *Knežević Z., Lemaître A., Milani A.* The determination of asteroid proper elements // *Asteroids III*. — University of Arizona Press, 2002. — P. 603–612.

18. *Zappalà V., Cellino A., Dell’Oro A., Paolicchi P.* Physical and dynamical properties of asteroid families // *Asteroids III*. — University of Arizona Press, 2002. — P. 619–631.

# C- and X-type Asteroids in the Hungarian Group

T. A. Vinogradova

The taxonomy of asteroids in the Hungarian group was analysed. Earlier, two families of asteroids were identified in this area: (434) Hungaria and (1019) Strakea. The latter family is formed by S-, L-type asteroids, which is no doubt, since suchlike asteroids predominate in the inner regions of the asteroid belt. As for the family (434) Hungaria, it was found to consist of C-, X-type asteroids. As is known C-type asteroids predominate in the outer regions of the asteroid belt. The presence of a large number of such asteroids in this family required a special study. As a result of the albedo analysis, it was found that asteroids of C- and X-types in (434) Hungaria are characterized by a high albedo. This led to the conclusion that C-type asteroids were previously classified erroneously. In fact, C-type asteroids, as well as X-type ones, should be assigned to type E in the Hungarian family.

**Keywords:** celestial mechanics, asteroids, taxonomical types, asteroid families.