

УДК 523.2

**ОЦЕНКА СОСТАВА ВЕЩЕСТВА АСТЕРОИДОВ 32 ПОМОНА,
145 АДЕОНА, 704 ИНТЕРАМНИЯ, 779 НИНА, (330825) 2008 ХЕЗ
И 2012 QG42 ПО ИХ СПЕКТРАМ ОТРАЖЕНИЯ¹**

Бусарев В. В.², Барабанов С. И.³, Пузин В. Б.⁴, Мусаев Ф. А.⁵

ESTIMATION OF MATTER COMPOSITION OF ASTEROIDS 32 POMONA, 145 ADEONA,
704 INTERAMNIA, 779 NINA, (330825) 2008 XE3 AND 2012 QG42 BY THEIR REFLECTION SPECTRA

Busarev V. V., Barabanov S. I., Puzin V. B., Musaev F. A.

Spectral analysis results of mineralogical content of asteroidal surfaces are presented. Spectra were obtained on spectrometer MMSC of Zeiss-2000 telescope by new mode of low spectral resolution $R \approx 100$.

Keywords: reflection spectrum, spectral analysis.

В сентябре 2012 г. на 2-м телескопе с призмным ПЗС-спектрометром (WI CCD 1240×1150) Терскольского филиала ИНАСАН в диапазоне 0,35–0,90 мкм с разрешающей силой $R \approx 200$ была выполнена спектрометрия астероидов Главного пояса 32 Помона, 145 Адеоны, 704 Интерамнии, 779 Нины, а также сближающихся с Землей амура 330825 (2008 ХЕЗ) и аполлона 2012 QG42. В качестве стандарта и солнечного аналога [1] использовалась звезда HD10307 (G1.5V). Обработка ПЗС-данных проведена с использованием стандартных процедур и спектрального программного пакета Dech [2]. Калибровка длин волн осуществлена по Бальмеровским линиям водорода в спектре звезды α Рег (В9III). Регистрация спектров каждого астероида осуществлялась в интервалах времени от 1 до 5^h. Расчет спектров отражения выполнен по общепринятой методике [3]. Для всех астероидов были вычислены нормированные спектры отражения (рис. 1–6), что позволило сделать оценку их спектральных типов и соответствующей базовой минералогии.

Ниже перечислены установленные на основе качественного подобия полученных спектров отражения астероидов (рис. 1–6) и их ранее опубликованных спектров отражения по данным Толена [4] и Бас [5]; в скобках приведен тип Толена [4], а в фигурных скобках — тип Бас [5] (прочерки означают отсутствие данных): 32 Помона — S (S) {S}, 145 Адеона — Ch (C) {Ch}, 704 Интерамния — Ch (F) {B}, 779 Нина — Ch (–) {X}, 330825 — C (–) {–}, 2012 QG42 — Cg (–) {–}. Таким образом, базовая высокотемпературная минералогия [5, 6] предполагается только у 32 Помона, а базовая низкотемпературная минералогия [5, 6] — у остальных астероидов.

Предполагается, что из результирующих спектров отражения астероидов исключены основные фотометрические и другие наблюдательные погрешности. Относительные ошибки (СКО) в центре используемого спектрального диапазона составляют 1–2% и находятся в пределах от 7 до 15% на его границах. В период наблюдений фазовые углы 32 Помона, 145 Адеоны, 704 Интерамнии и 779 Нины составляли соответственно 12°, 14°, 16° и 18°.

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (12-02-90444-Укр_а), Программы 22 Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы».

²Бусарев Владимир Васильевич, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга МГУ; e-mail: busarev@sai.msu.ru.

³Барабанов Сергей Иванович, к-т физ.-мат. наук, заведующий отделом Института астрономии РАН; e-mail: sbarabanov@inasan.ru.

⁴Пузин Василий Борисович, младший научный сотрудник Института астрономии РАН; e-mail: vpuzin@inasan.ru.

⁵Мусаев Фаиг Адылович, к-т физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Специальной астрономической обсерватории РАН; e-mail: faigm@rambler.ru.

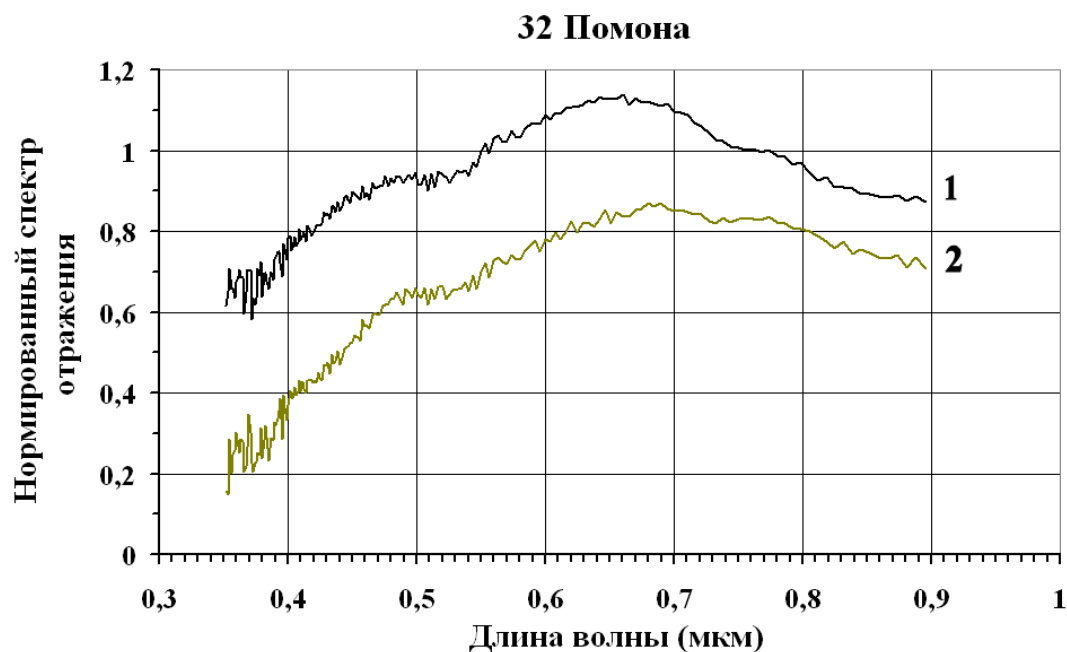


Рис. 1. Нормированные (на длине волны 0,55 мкм) спектры отражения астероида 32 Помона, представленные в хронологической последовательности. Исходные спектры получены в течение примерно 1,5 ч., что соответствует $\sim 1/5$ периода вращения астероида. Спектр 2 произвольно смещен относительно первого на 0,3 ед. вниз для удобства сравнения. Спектр 1 является средним из 6, а спектр 2 — средним из 2 отдельных близких по форме спектров отражения

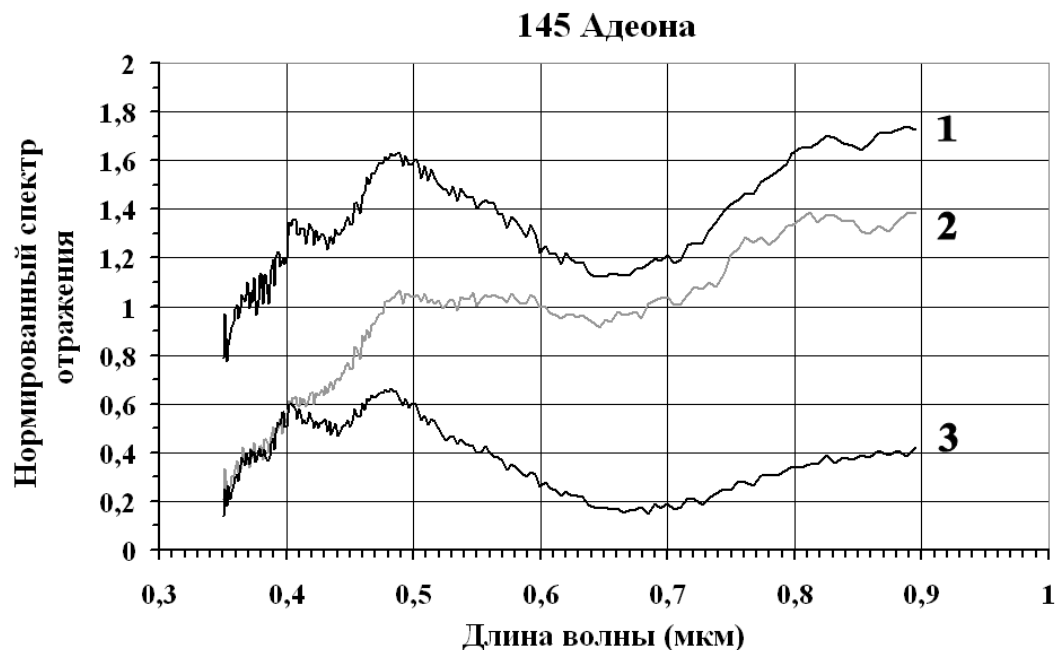


Рис. 2. Нормированные (на длине волны 0,55 мкм) спектры отражения астероида 145 Адеона, представленные в хронологической последовательности. Исходные спектры получены в течение примерно 1,5 ч., что соответствует $\sim 1/10$ периода вращения астероида. Спектр 1 произвольно смещен относительно 2-го на 0,4 ед. вверх, а спектр 3 относительно 2-го — на 0,6 ед. вниз для удобства сравнения. Каждый из спектров 1 и 3 является средним из 2 отдельных, близких по форме спектров отражения. Спектр отражения 2 рассчитан по исходному спектру, зарегистрированному с экспозицией 20 мин.

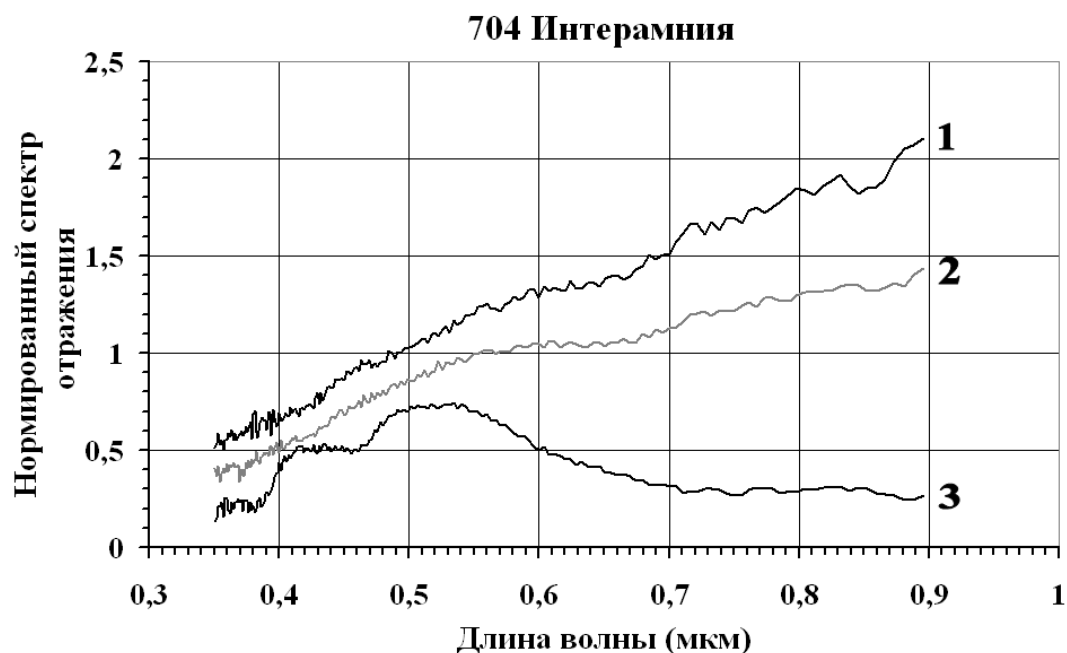


Рис. 3. Нормированные (на длине волны 0,55 мкм) спектры отражения астероида 704 Интерамния, представленные в хронологической последовательности. Исходные спектры получены в течение примерно 3 ч., что соответствует $\sim 1/4$ периода вращения астероида. Спектр 1 произвольно смещен относительно 2-го на 0,2 ед. вверх, а спектр 3 относительно 2-го — на 0,7 ед. вниз для удобства сравнения. Спектр 1 является средним из трех, спектр 2 — из двух, а спектр 3 — из пяти близких по форме отдельных спектров отражения

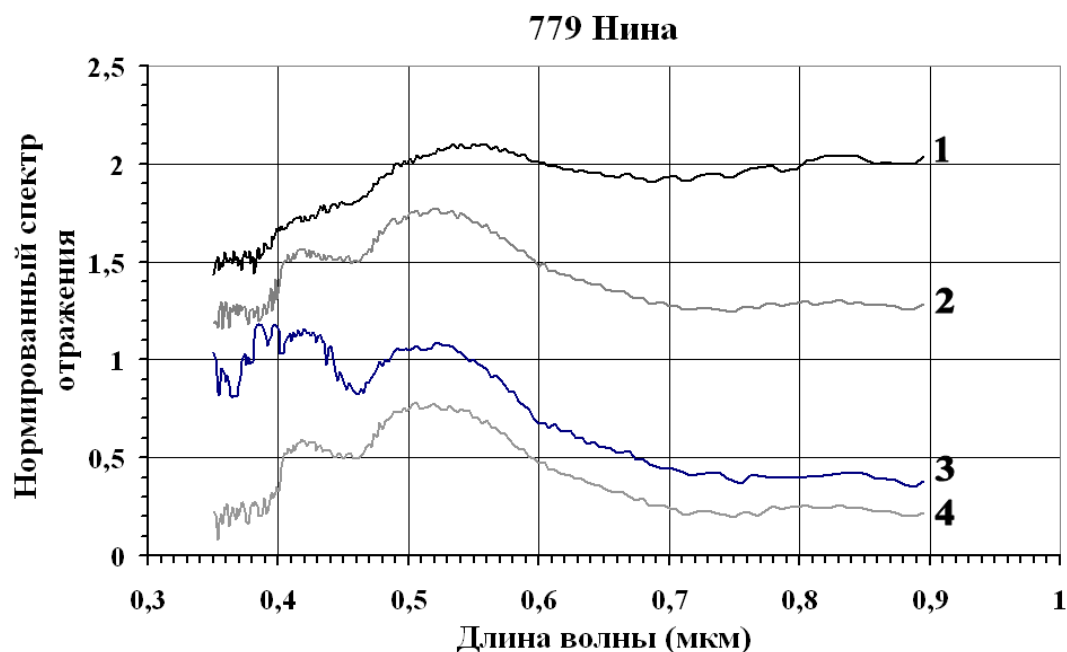


Рис. 4. Нормированные (на длине волны 0,55 мкм) спектры отражения астероида 779 Нина, представленные в хронологической последовательности. Исходные спектры получены в течение примерно 5 ч., что соответствует $\sim 1/2$ периода вращения астероида. Спектры 1 и 2 произвольно смещены относительно 3-го на 1,1 ед. и 0,7 ед. вверх соответственно, а спектр 4 смещен относительно 3-го спектра на 0,7 ед. вниз для удобства сравнения. Спектры 1 и 2 являются средними из пяти, а спектр 4 — из двух близких по форме отдельных спектров отражения. Спектр отражения 3 рассчитан по отдельному исходному спектру, полученному с экспозицией 15 мин.

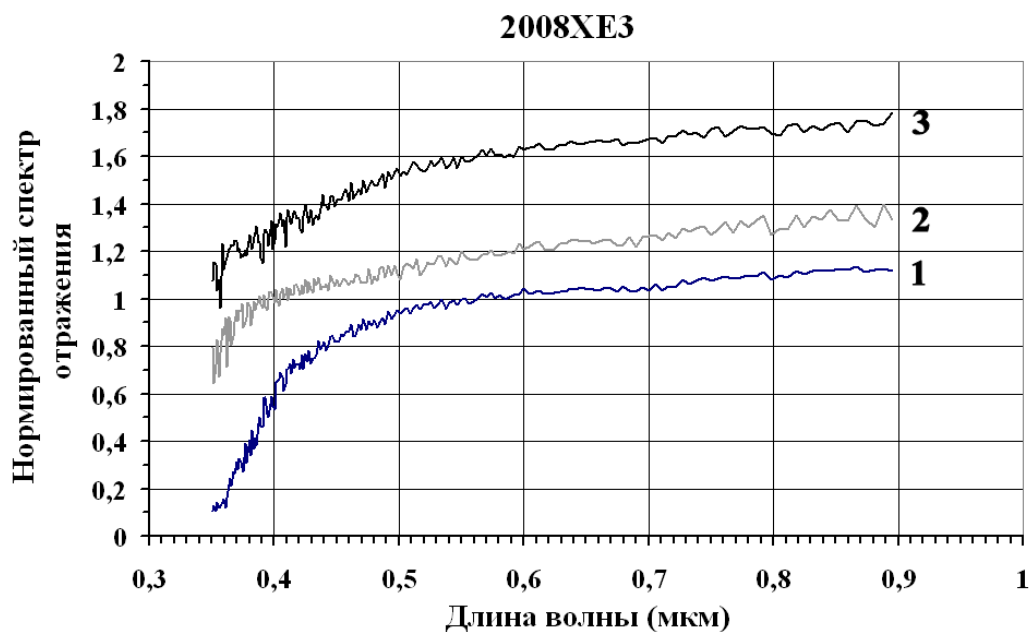


Рис. 5. Нормированные (на длине волны 0,55 мкм) спектры отражения астероида 330825 (2008 XE3), представленные в хронологической последовательности. Исходные спектры получены в течение примерно 2,5 ч., что соответствует $\sim 3/5$ периода вращения астероида. Спектры 2 и 3 произвольно смещены относительно 1-го на 0,2 ед. и 0,6 ед. вверх соответственно для удобства сравнения. Спектр 1 является средним из трех, а спектр 3 — из двух близких по форме отдельных спектров отражения. Спектр отражения 2 рассчитан по отдельному исходному спектру, полученному с экспозицией 30 мин.

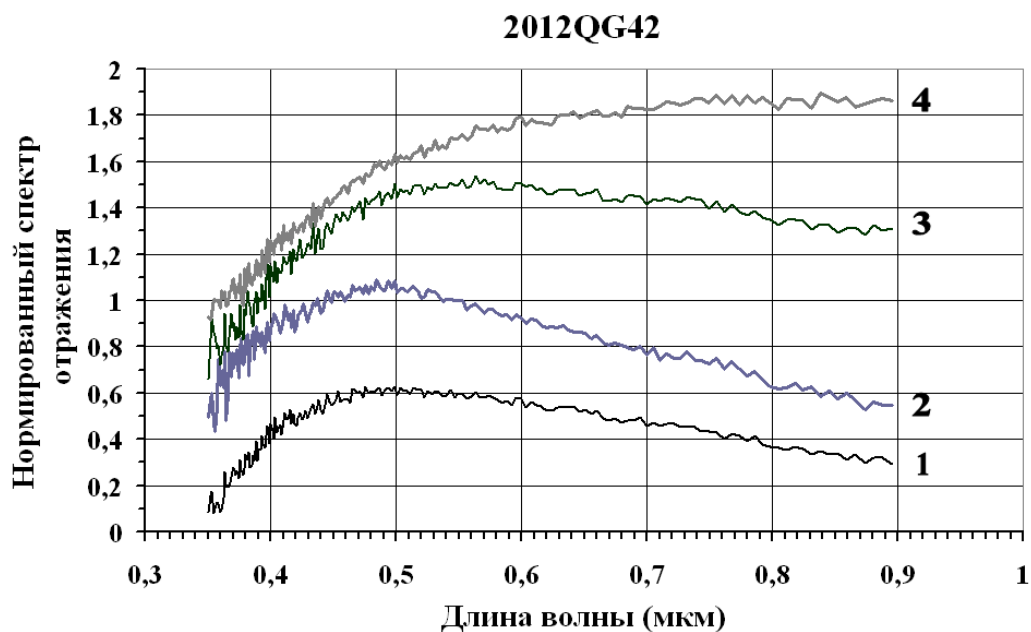


Рис. 6. Нормированные (на длине волны 0,55 мкм) спектры отражения астероида 2012 QG42, представленные в хронологической последовательности. Исходные спектры получены в течение примерно 2 часов, что соответствует $\sim 1/10$ периода вращения астероида. Спектр 1 произвольно смещен относительно 2-го на 0,4 ед. вниз, а спектры 3 и 4 относительно 2-го — на 0,5 и 0,7 ед. вверх соответственно для удобства сравнения. Спектр 1 является средним из трех, а спектр 4 — из двух близких по форме отдельных спектров отражения. Спектры отражения 2 и 3 рассчитаны по отдельным исходным спектрам, полученным с экспозициями по 20 мин.

21° и 18°. Значительно больше были фазовые углы сближающихся с Землей астероидов 330825 (42°) и 2012 QG42 (43–45°). На этом основании можно утверждать, что, по крайней мере, для вышеперечисленных астероидов Главного пояса удалось обнаружить вариации химико-минералогических характеристик поверхностного вещества астероидов с вращением. Изменения этих характеристик могут быть связаны как с исходной неоднородностью вещества астероидов, возникшей еще в период их формирования, так и с последующими эволюционными процессами. Ранее были обнаружены неоднородности поверхностного вещества у астероидов S-, M- и C-типов, наблюдаемые при их вращении [7]. Был сделан вывод о наиболее высокой неоднородности вещества у астероидов C-типа, что может объясняться преобразованием их вещества при резком скачке Р-Т-параметров в ударных событиях (из-за дегидратации вещества и образования высокотемпературных минералов) [7]. Результаты последней работы такой вывод, по-видимому, подтверждают: минимальные изменения спектральных характеристик с вращением наблюдаются у астероида S-типа 32 Помона, а у астероидов Ch-типа 145 Адеоны, 704 Интерамни и 779 Нины (при общем сходстве спектров отражения) спектральные изменения более значительны.

Спектры отражения сближающихся с Землей астероидов 330825 и 2012 QG42 обладают общим свойством — отсутствием слабых полос поглощения. Это может быть указанием на присутствие в их поверхностном веществе непрозрачной примеси, препятствующей образованию в отраженном свете диффузной составляющей. Такая примесь может, например, состоять из углеродистых соединений. В то же время у аполлона 2012 QG42 с вращением в спектре отражения возникает непостоянная по интенсивно-

сти широкая полоса поглощения с центром у 0,9 мкм. Она может быть вызвана интервалентным переносом заряда между катионами $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$, имеющимися в составе гидратированных минералов типа серпентина, из которых в основном состоит матрица углестых хондритов — аналогов вещества астероидов C- и близких к нему типов [6]. Но около 0,9 мкм возможно и поглощение, вызванное разрешенными по спину электронными переходами кристаллического поля в двухвалентном железе, входящем в минералы высокотемпературного типа, например, оливин и пироксен [8].

Литература

1. *Hardorp J.* The Sun among the stars // *Astron. Astroph.* 1980. Vol. 91. P. 221–232.
2. *Галазутдинов Г. А.* Система обработки звездных эшелле-спектров. II. Обработка спектров // Препринт Спец. астрофиз. обсерватории (Россия, КЧР, Нижний Архыз), 1992. №92. С. 27–52.
3. *Бусарев В. В.* Спектрофотометрия безатмосферных тел Солнечной системы // *Астрон. вестн.* 1999. Т. 33. P. 140–150.
4. *Tholen D. J., Barucci M. A.* Asteroid taxonomy // *Asteroids II*. Eds. Binzel R. P. et al. Tucson: Univ. of Arizona Press, 1989. P. 298–315.
5. *Gaffey M. J. et al.* Reflectance spectroscopy and asteroid surface mineralogy // *Asteroids II*. Eds. Binzel R. P. et al., Tucson: Univ. of Arizona Press, 1989. P. 98–127.
6. *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.
7. *Бусарев В. В.* О неоднородности вещества астероидов 10 Гигии, 135 Герты и 196 Филомелы по спектрам отражения // *Астрон. вестн.* 2011. Т. 45. С. 45–54.
8. *Платонов А. Н.* Природа окраски минералов. Киев: Наукова думка, 1976. 264 с.

Ключевые слова: спектр отражения, спектральный анализ.

Статья поступила 11 ноября 2013 г.

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ, г. Москва

Институт астрономии РАН, г. Москва

Специальная астрономическая обсерватория РАН, Карачаево-Черкесская Республика, пос. Нижний Архыз

© Бусарев В. В., Барабанов С. И., Пузин В. Б., Мусаев Ф. А., 2013