

УДК 523.64

В. Пономаренко, канд. фіз.-мат. наук, К. Чурюмов, д-р фіз.-мат. наук, проф.,  
 А. Жданов, студ. Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
 О. Сергєєв, канд. техн. наук, Міжнародний центр астрономічних і медико-екологічних досліджень

## ОСОБЛИВОСТІ КОМЕТИ 8P/TUTTLE ЗА СПЕКТРАЛЬНИМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ ЇЇ КОМИ

*Представлено результати спостережень і досліджень короткоперіодичної комети 8P/Tuttle на основі оптичних спектрів із середньою роздільною здатністю ( $M/\Delta\lambda \approx 1500$ ). Спектри були отримані у січні 2008 р. на високогірній обсерваторії "Пік Терскол" за допомогою телескопа Zeiss-2000 ( $D=2.0$  м;  $F_2=16$  м). На основі отриманого спектрального матеріалу було проведено ідентифікацію спектральних емісійних смуг. Знайдено деякі фізичні параметри нейтральної газової та пилової кометних атмосфер. Побудовано розподіл загального та відбитого потоку енергії вздовж щільності спектрографа. Обчислено потоки, кількість молекул і газопродуктивність для основних молекулярних емісій. Також оцінено відносну пилопродуктивність.*

*Ключові слова: комети, фізичні параметри комет.*

Особливості спостережень комети 8P/Tuttle й обробки її спектрів. Комета 8P/Tuttle – короткоперіодична комета, яку вперше спостерігав 9 січня 1790 р. П'єр Мешен. До 1 лютого 1790 р. комету можна було спостерігати й це також вдалося Шарлю Мессьє та Вільяму Гершелю. Максимальний блиск комети склав  $T \approx 5.6^m$ . П'єр Мешен обчислив орбіту комети, але комета спостерігалася лише 3 тижні й тому розрахунок показали, що вона неперіодична. Перевідав комету Хорас Туттль 5 січня 1858 р. на Гарвардській обсерваторії за допомогою 10 см рефрактора [1]. Карл Брунс (Берлін, Німеччина) незалежно відкрив дану комету 11 січня 1895 р. Проте, декілька обсерваторій уже підтвердили відкриття Туттля, тому ім'я Брунса не було додано до назви комети. Уперше правильна еліптична орбіта була обчислена Джеймсом Ватсоном у лютому 1895 р. Перше передбачене повернення комети відбулося в 1871 р. 13 жовтня Бореллі (Марсель, Франція) перевідкрив комету Туттля. Далі комета спостерігалася в усіх появах (окрім 1953 р.). У появі 2008 р. комета пройшла перигей 2 січня (наблизившись до Землі на відстань  $\Delta \approx 0,25$  а.о.) і перигелій 27 січня. Це зближення із Землею було найтіснішим за всю історію спостережень комети, яка досягла величини  $T \approx 5.7^m$  [2]. Умови для спостережень були хорошими, оскільки кут елонгації ( $S-O-T$ )  $\approx 100^\circ$ . Саме в цей унікальний час і були виконані спостереження комети 8P/Tuttle, які є основою цієї статті. Також варто відзначити, що комета 8P є родоначальницею метеорного потоку Урсид (від лат. *Ursa Minor*) максимум якого приходиться на 22 грудня.

Спектри комети 8P/Tuttle були отримані з 01.01.2008 р. по 08.01.2008 р. за допомогою телескопа Zeiss-2000 ( $D = 2.0$  м;  $F_2 = 16$  м) у високогірній обсерваторії "Пік Терскол" Міжнародного центру астрономічних і медико-екологічних досліджень НАН України. На момент спостережень комета знаходилася на геліоцентричній відстані  $r = 1.07-1.1$  а.о. та геоцентричній –  $\Delta = 0.25-0.28$  а.о., мала блиск  $T \approx 6^m$ , фазовий кут складав  $S-T-O = 56^\circ-65^\circ$ , кут елонгації  $S-O-T = 100^\circ-111^\circ$ , позиційний кут знаходився в межах  $\alpha = 324^\circ-337^\circ$  [3]. Загалом було отримано 29 щільових спектрів комети 8P/Tuttle у спектральному діапазоні  $\lambda\lambda = 4800-7500 \text{ \AA}$  та з роздільною здатністю  $R \approx 1500$ .

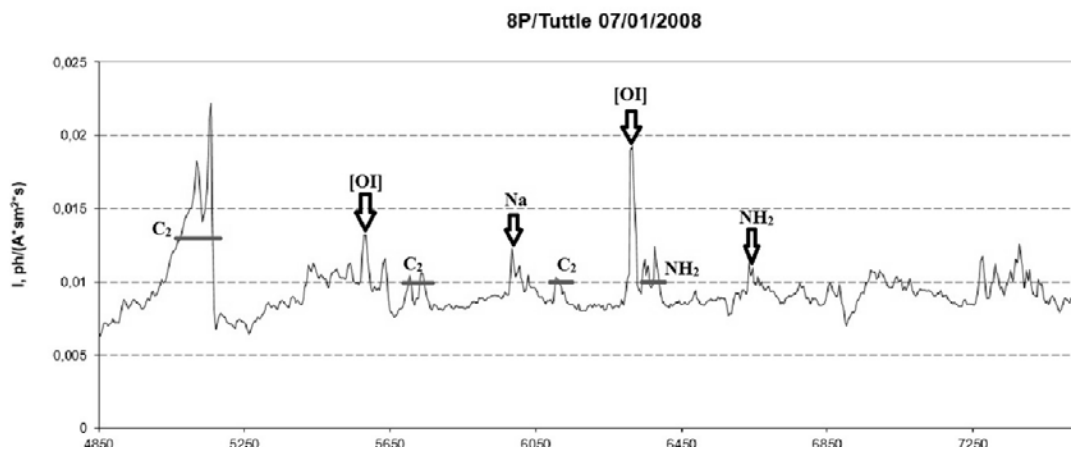


Рис. 1. Емісії в спектрі комети 8P/Tuttle

На рис. 1 зображено ділянки щільного спектра комети 8P/Tuttle, з ототожненими емісійними смугами. Над спектром були виконані всі базові редуції, які включали врахування bias (кадру з нульовою експозицією), вкладу космічних частинок, розсіяного світла у спектрографі і калібровку за довжинами хвиль. Потоки енергії у спектрах подано в абсолютних одиницях.

**Потоки енергії та газопродуктивність молекул  $C_2$ ,  $NH_2$  у кометі Tuttle.** Обробка спектрів комет проводилась у декілька етапів. Спочатку над спектрами комети були виконані всі базові редуції. Потім для спектрів комети 8P/Tuttle, шляхом виокремлення і складання інтенсивностей емісійних ліній, було підраховано потоки енергії ( $I$ ), кількість молекул на промені зору ( $M(\rho)$ ), газопродуктивність ( $Q$ ) для смуг  $C_2$  (5060–5200  $\text{\AA}$ ),  $NH_2$  (6550–6700  $\text{\AA}$ ). Діапазони довжин хвиль вибрано відповідно до смуг пропускання кометних фільтрів НВ (виготовлених для програми дослідження комет у зв'язку з проходженням перигелію кометою C/1995 O1 (Hale-Bopp) у 1997 р.) [5]. Для інших смуг оцінка не проводилася, оскільки вони були за межами отриманого спектрального діапазону. Для отримання результату використовувалися приведені нижче параметри та формули:

$$M(\rho) = \frac{4\pi \cdot I}{g \cdot \Omega}, \quad (1)$$

де  $M(\rho)$  – кількість молекул у зоні видимості діафрагми або щілини спектрографа,  $I$  – потік енергії від смуги на одиницю площі ( $\text{см}^2$ ) дзеркала телескопа,  $g$  – фактор флуоресценції ( $g/4\pi$  – енергія, що перевипромінюється однією молекулою за секунду в межах тілесного кута 1 стерадіан),  $\Omega$  – тілесний кут, який визначається проекцією одиниці площі приймача випромінювання на небесну сферу.

Оскільки спостережний матеріал був отриманий зі щілиною спектрографа, а не діафрагмою,  $M(\rho)$  зазнало перетворень:

$$M'(\rho) = \frac{M(\rho) \cdot \pi \rho^2}{ab}, \quad (2)$$

де  $a$  та  $b$  – висота й ширина щілини спектрографа,  $\rho$  – відстань від центра до краю діафрагми. Нам потрібно знайти співвідношення між величинами  $a$ ,  $b$  та  $\rho$ . Спад інтенсивності нейтральної тимчасової газової атмосфери в межах ділянки щілини спектрографа з якої отримувалась інформація був незначним, оскільки характерні масштаби для досліджуваних молекул значно перевищували розміри щілини за висотою ( $\approx 11''$ ) і шириною ( $\approx 3''$ ). Тож зв'язок можна знайти з рівності площ щілини спектрографа й діафрагми:

$$\pi \rho^2 = ab \rightarrow \rho = \sqrt{\frac{ab}{\pi}}; \quad (3)$$

звідки випливає:

$$\frac{Q}{v} = \frac{M(\rho)}{\rho \cdot F(\mu, x)} = \frac{M(\rho)}{F(\mu, x)} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{ab}}; \quad (4)$$

де  $\mu = \frac{\beta_1}{\beta_2}$ ;  $x = \rho \beta_2$ ;  $\beta_1 = \frac{1}{L_1}$ ;  $\beta_2 = \frac{1}{L_2}$ ;  $F(\mu, x) = \int_x^{\mu x} K_0(y) dy + x^{-1} (1 - \mu^{-1}) + K_1(\mu x) - K_1(x)$ ;

$K_0$  і  $K_1$  – циліндричні функції Макдональда 0 і 1 порядків;  $L_1$  і  $L_2$  – характерні масштаби (пробіги) для батьківських і дочірніх молекул відповідно;  $F(\mu, x)$  – функція Хазера;  $v$  – швидкість молекул [4].

У табл. 1 подано константи, які використовувалися в розрахунках і їхня залежність від геліоцентричної відстані [6].

Таблиця 1

#### Характерні масштаби та фактори флуоресценції для основних емісійних смуг

	<b>C<sub>2</sub> (5060–5200 нм)</b>	<b>NH<sub>2</sub> (6550–6700 ÅÅ)</b>
$L_1$ , км	$2.2 \times 10^4$	$7.00 \text{E} + 03$
$L_2$ , км	$6.6 \times 10^4$	$6.10 \text{E} + 04$
$L(r)$	$L_1 \times r^{1.4}; L_2 \times r^{2.0}$	$L_1 \times r^{2.0}; L_2 \times r^{2.0}$
$g$ , $\text{erg} \times \text{с}^{-1} \times \text{мол}^{-1}$	$4.5 \times 10^{-13}$	$3.0 \times 10^{-14}$
$G(r)$	$g \times r^{-2}$	

Результати за газопродуктивністю комети 8P/Tuttle подано в табл. 2. Також у таблиці наведено дані для декількох комет на схожих геліоцентричних відстанях. Із табл. 2 бачимо, що газопродуктивність комети 8P значно вища продуктивності іншої короткоперіодичної комети (103P) і близька до продуктивностей наведених ДПК. Спираючись на цей факт, можна припустити, що комета Tuttle порівняно нещодавно стала короткоперіодичною й тому не встигла зазнати значної вікової дезінтеграції. Висока газопродуктивність у поєднання з значним ексцентриситетом ( $e = 0.82$ ) і нахилом орбіти до площини екліптики ( $\approx 55^\circ$ ) дозволяють зробити припущення, що ця комета прийшла з Хмари Оорта. Проте, це твердження потребує додаткових досліджень і доказів.

Таблиця 2

#### Газопродуктивність емісійних смуг комети 8P/Tuttle й інших об'єктів порівняння

Комета	$r$ , а.о.	$Q_{\text{C}_2}$ , мол/с	$Q_{\text{NH}_2}$ , мол/с
<b>8P (01.01.08)</b>	<b>1.10</b>	<b><math>1.12 \times 10^{26}</math></b>	<b><math>9.45 \times 10^{25}</math></b>
<b>8P (02.01.08)</b>	<b>1.09</b>	<b><math>1.21 \times 10^{26}</math></b>	<b><math>1.06 \times 10^{26}</math></b>
<b>8P (05.01.08)</b>	<b>1.08</b>	<b><math>9.64 \times 10^{25}</math></b>	<b><math>8.41 \times 10^{25}</math></b>
<b>8P (07.01.08)</b>	<b>1.07</b>	<b><math>6.16 \times 10^{25}</math></b>	<b><math>6.21 \times 10^{25}</math></b>
103P	1.06	$2.12 \times 10^{25}$	$1.75 \times 10^{25}$
C/2009 K5	1.50	$3.65 \times 10^{26}$	$4.64 \times 10^{26}$
C/2014 Q2	1.32	$2.40 \times 10^{26}$	–
C/2013 US10	1.08	$8.89 \times 10^{25}$	–

**Властивості пилового континууму комети 8P/Tuttle.** Важливим параметром пилової коми комети є  $Afr$  (відносна пилопродуктивність). Пилопродуктивність також розраховувалася для діапазонів довжин хвиль вузькосмугових кометних фільтрів НВ. Оскільки цей метод був розроблений Фархамом та ін. [5] для вузькосмугових кометних фільтрів (UC,  $\lambda\lambda = 340\text{--}350$  нм; BC,  $\lambda\lambda = 442\text{--}450$  нм; GC,  $\lambda\lambda = 522\text{--}530$  нм; RC,  $\lambda\lambda = 708\text{--}718$  нм), його використання зі щілиною спектрографа вимагало адаптації. Для обчислення  $Afr$  у фільтрах використовувалися такі параметри і формули:

$$Afr = \frac{q_f r^2 \Delta \cdot F_f}{\theta}, \quad (5)$$

де  $r$  і  $\Delta$  – відповідно геліо- та геоцентрична відстань до комети (в а.о.);  $\theta$  – апертура в кутових секундах (діаметр діафрагми);  $q_f$  – коефіцієнт перетворення для фільтра, що використовується;  $F'_f$  – спектральна густина (потік енергії, отриманий за допомогою вузькосмугового кометного фільтра в ерг/(Å×см<sup>2</sup>×с)). Відмінність в обчисленнях із різними фільтрами пов'язана лише з  $q_f$ .

Пилова кома комети поширюється на значно менші відстані ніж тимчасова газова атмосфера. Порядок розмірів пилової кометної коми відповідав кутовим розмірам щілини спектрографа. Тому, для отримання рівномірного спаду інтенсивності за висотою та шириною щілини, потрібно розглядати її вписаною в діафрагму. Адаптоване для щілини спектрографа рівняння матиме вигляд:

$$\theta = \sqrt{n^2 + m^2}; F'_f = \frac{F'_f \pi \theta^2}{4mn} = \frac{F'_f \cdot \pi (n^2 + m^2)}{4mn}; \tag{6}$$

звідки

$$A f_{p_f} = \frac{q_f r^2 \Delta \cdot F'_f \pi (n^2 + m^2)}{4mn \cdot \sqrt{n^2 + m^2}} = \frac{q_f r^2 \Delta \cdot F'_f \pi \sqrt{(n^2 + m^2)}}{4mn}; \tag{7}$$

де  $F'_f$  – спектральна густина, яка відповідає конкретному фільтру (з діаметром, рівним діагоналі щілини);  $F'_f$  – спектральна густина для щілини спектрографа в діапазоні довжин хвиль кометного фільтра;  $m$  – ширина щілини у кутових секундах ("),  $n$  – протяжність області знімка вздовж щілини, із якої зчитується спектр кометної коми (");  $\theta$  – діаметр діафрагми (").

У табл. 3 наведені значення величин, що використовувалися для обчислення відносної пилопродуктивності (діапазони довжин хвиль вузькосмугових кометних фільтрів, діаметр діафрагми в яку вписана ділянка щілини спектрографа з якої відбувалося зчитування ( $\theta$ ), коефіцієнт перетворення фільтра ( $q_f$ )).

Таблиця 3

Параметри, що використовувалися для обчислення  $A f_p$

Фільтр	λλ, ÅÅ	θ, (") для 8P/Tuttle	$q_f$
GC	5220-5300	11.4	$1.341 \times 10^{17}$
RC	7100-7170	11.4	$1.975 \times 10^{17}$

Нажаль, нам не вдалося знайти дані інших авторів для порівняння отриманих результатів із відносної пилопродуктивності для комети Tuttle. Тому в табл. 4 представлені відносні пилопродуктивності для досліджуваної комети (8P/Tuttle), а також для вибраних комет сімейства Юпітера (КСЮ) і ДПК, для порівняння [8]. Отримані значення пилопродуктивності є більш характерними для ДПК. Це також може означати, що комета 8P/Tuttle не так давно була ДПК, яка зазнала змін елементів орбіти (ексцентриситету, перигелію). Для виявлення причини цих змін потрібні подальші дослідження у площині компетенції небесної механіки. Протягом періоду спостережень пилопродуктивність комети змінюється несуттєво. Цей факт підтверджує досить високу точність отриманих результатів і певну стаціонарність процесів для геліоцентричної відстані, на якій знаходилася комета. Варто звернути увагу й на те, що відносна пилопродуктивність досліджуваної комети зростає з довжиною хвилі (це притаманно більшості комет і вказує на почервоніння пилового кометного континуума).

Таблиця 4

Порівняння  $A f_p$  у кометі 8P/Tuttle з іншими КСЮ та ДПК

Комета	$r$ , а.о.	$\Delta$ , а.о.	$\lg A f_{p_{GC}}$	$\lg A f_{p_{RC}}$
<b>8P (02.01.08)</b>	<b>1.09</b>	<b>0.25</b>	<b>3.140</b>	<b>3.253</b>
<b>8P (05.01.08)</b>	<b>1.08</b>	<b>0.26</b>	<b>3.233</b>	<b>3.328</b>
<b>8P (07.01.08)</b>	<b>1.07</b>	<b>0.27</b>	<b>3.157</b>	<b>3.299</b>
22P	1.77	0.78	3.019	3.274
81P	1.63	0.68	3.815	3.733
103P	1.06	0.13	1.794	1.899
C/2006 W3	3.13	2.33	4.731	4.724
C/2009 K5	1.50	1.43	3.901	3.811
C/2009 P1	2.09	1.61	3.712	3.685
C/2014 Q2	1.32	1.09	3.20	3.36
C/2013 US10	1.08	1.06	2.74	2.75

**Висновки.** За допомогою телескопа Zeiss-2000 обсерваторії "Пік Терскол" було отримано оптичні спектри із середньою роздільною здатністю. Якість отриманого спектрального матеріалу дозволила з високою точністю оцінити газопроодуктивність молекул C<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub> і відносну пилопродуктивність у кометних фільтрах GC, RC. Отримані значення газо- та пилопродуктивності є більш характерними для ДПК. Це може означати, що комета 8P/Tuttle не так давно була ДПК, яка зазнала змін елементів орбіти (ексцентриситету, перигелію).

**Список використаних джерел**

- [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/8P/%D0%A2%D1%83%D1%82%D1%82%D0%BB%D1%8F>.
- [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <http://www.minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html>.
- [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi#results>.
- Краснопольский В.А. Физика свечения атмосфер планет и комет / В. А. Краснопольский. – М. : Наука, 1987. – 304 с.
- Farnham T. L. The NB Narrowband Comet Filters: Standard Stars and Calibrations / T. L. Farnham, D. G. Schleicher, M. F. A'Hearn // Icarus. – 2000. – Vol. 147. – P. 180–204.

6. Langland-Shula L. E. Comet classification with new methods for gas and dust spectroscopy / L. E. Langland-Shula, G. H. Smith // Icarus. – 2011. – Vol. 213. – P. 280–322.
7. Tatum J. B. Synogen radiance/column-density ratio for comets calculated from the Swings effect / J. B. Tatum // Astron. Astrophys. – 1984. – Vol. 135. – P. 183–187.
8. Пономаренко В. О. Спектральні особливості вибраних комет сімейства Юпітера та довгоперіодичних комет зі зворотним рухом : дис. канд. фіз.-мат. наук: 01.03.03 / В. О. Пономаренко. – К., 2015. – 128 с.

Надійшла до редколегії 10.09.17

Пономаренко В., канд. фіз.-мат. наук,  
 Чурюмов К., д-р фіз.-мат. наук, проф.,  
 Жданов А., студ., Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
 Сергеев О., канд. техн. наук, Міжнародний центр астрономічних і медико-екологічних досліджень

### ОСОБЕННОСТИ КОМЕТЫ 8P/TUTTLE ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ ЕЕ КОМЫ

*Представлены результаты наблюдений и исследований короткопериодической кометы 8P/Tuttle на основе оптических спектров со средней разрешительной способностью ( $\lambda/\Delta\lambda \approx 1500$ ). Спектры были получены в январе 2008 г. на высокогорной обсерватории "Пик Терскол" с помощью телескопа Zeiss-2000 ( $D = 2.0$  м;  $F_2 = 16$  м). На основе полученного спектрального материала была проведена идентификация спектральных эмиссионных полос. Найденны некоторые физические параметры нейтральной газовой и пылевой кометных атмосфер. Построено распределение общего и отраженного потока энергии вдоль щели спектрографа. Вычислены потоки, количество молекул и газопродуктивность для основных молекулярных эмиссий. Также оценена относительная пылепродуктивность.*

*Ключевые слова: кометы, физические параметры комет.*

Ponomarenko V., Ph.D,  
 Churiumov K., Dr.Sci., Prof.,  
 Zhdanov A., student, Taras Shevchenko National University of Kyiv  
 Sergeev O., Tech. Dr., International Centre of Astronomical and Medico-ecological researches

### FEATURES OF THE 8P/TUTTLE COMET FROM THE SPECTRAL STUDIES OF ITS COMMA

*The observations and research of the short-period comet 8P/Tuttle by optical spectra with an average resolution ( $\lambda/\Delta\lambda \approx 1500$ ) are presented. The spectra were obtained in January 2008 on the mountain observatory "Peak Terskol" (Russia, the North Caucasus) with the help of reflecting telescope Zeiss-2000 ( $D = 2.0$  m;  $F_2 = 16$  m). On the basis of obtained spectral material was carried the identification of spectral emission bands. Calculated some physical parameters of neutral gas cometary atmosphere and dusty cometary atmosphere. Built distribution of general and reflected energy along the slit of the spectrograph. Calculated fluxes, the number of molecules and gas productivity for basic molecular emissions, relative dust productivity.*

*Keywords: comets, physical parameters of comets.*

УДК 52(092)

О. Александров, канд. фіз.-мат. наук,  
 І. Ізотова, канд. фіз.-мат. наук  
 Астрономічна обсерваторія  
 Київського національного університету імені Тараса Шевченка

### ПОКЛИКАННЯ ТА ДОЛЯ: ДО 75-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ АНДРІЯ ВОЛОДИМИРОВИЧА МАНДЖОСА



*У листопаді 2017 р. виповнилося б 75 років від дня народження доктора фізико-математичних наук А. В. Манджоса (1942–1997), лідера Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка із застосувань загальної теорії відносності в астрономії, досліджень гравітаційного линзування, поширення електромагнітного випромінювання у гравітаційних полях, анізотропії орієнтацій галактик. А. В. Манджос зробив вагомий внесок у становлення й розвиток досліджень із загальної теорії відносності та релятивістської астрофізики в Україні. Стисло наведено відомості про життєвий шлях і наукові дослідження знаного вченого А. В. Манджоса.*

24 листопада 2017 р. виповнилось 75 років від дня народження доктора фізико-математичних наук Манджоса Андрія Володимировича (1942–1997), одного з лідерів Астрономічної обсерваторії із застосувань загальної теорії відносності в астрономії, досліджень гравітаційного линзування, поширення електромагнітного випромінювання у гравітаційних полях, анізотропії орієнтацій галактик.

А. Манджос, учень професора О.Ф. Богородського, 110-річний ювілей якого теж припадає на 2017 р., видатний астрофізик і чудова людина, за своє коротке життя зумів залишити яскравий слід у житті Астрономічної обсерваторії університету та зробити вагомий внесок у становлення й розвиток досліджень із загальної теорії відносності та релятивістської астрофізики в Україні.

За словами Гейне "Кожна людина – це всесвіт, який з нею народжується і з нею помирає". Неможливо "осягти" Всесвіт А. Манджоса без правдивих і зворушливих спогадів його колег і друзів [1], спогадів, які виокремлюють і всебічно розкривають яскраві грані його особистості. На їхній основі й архівних матеріалах, доступних із мережі Інтернет, автори хотіли б ще раз "відчинити віконце" до цього всесвіту – нагадати основні відомості про походження та життєвий шлях, творчі пошуки й наукові здобутки непересічного вченого.

*Науковий шлях.* А. Манджос народився 24 листопада 1942 р. у м. Житомир в освіченій родині, у якій були вчителі та науковці – із геології, історії та археології.

Наведено стисла розповідь про походження, батьків і близьких А. Манджоса, які мали визначальний вплив на формування його як особистості, від яких він успадкував ті найкращі риси, що в подальшому проявились у його житті, – принциповість, чесність, людська порядність, працьовитість і відданість справі. На їхній долі та долі їх родин позначились трагічні події ХХ ст.