9. *Івченко В., Єфіменко В, Буромський М., Данилевський В., Кіліч Г., Клещонок В., Лозицький В., Тарануха Ю., Сухоруков А., Чурюмов К.* Спостереження повного затемнення Сонця 29 березня 2006 року експедицією Київського національного університету імені Тараса Шевченка // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія. – 2006. – Вип. 43. – С. 61–64

10. Поток энергии Солнца и его изменения / Под ред. О Уайта. Пер. с англ. – М: Мир, 1980. – 558 с.

11. *Свешников М. Л.* Вариации радиуса Солнца из прохождений Меркурия по его диску // Письма в Астрон. журн. – 2002. – Т. 28, №2. – С. 133–139.

12. *Тельнюк-Адамчук В. В., Єфіменко В. М., Данилевський В. О., Дзюбенко М. І., Курочка Л. М., Чурюмов К. І., Буромський М. І., Криводубський В. Н., Крячко І. П., Курмей М. Д., Молотай О. А., Тарануха Ю. Г.* Спостереження повного сонячного затемнення 11 серпня 1999 року науковою експедицією Київського університету // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія. – 2000. – Вип. 36. – С. 41– 47.

13. *Auwers A.* Der Sonnendurchmesser und der Venusdurchmesser nach den Beobachtungen an den Heliometern der deutschen Venus-Expeditionen // Astron. Nachr. – 1891. – Band 128. – P. 361–376.

14. *Bahcall J. N., Pinsonneault M.H., Basu S.* Solar models: current epoch and time dependences, neutrinos and helioseismological properties // Astrophys. J. – 2001. – Vol. 555. – P. 990–1012

15. *Brown T. M., Christensen-Dalsgaard J.* Accurate determination of the solar photospheric radius // Astrophys. J. – 1998. – Vol. 500. – P. L195–L198

16. *Brun A. S., Turck-Chiezer S., Morel P.* Standard solar models in the light of new helioseismic constraints // Astrophys. J. – 1998. – Vol. 506. – P. 913–925.

17. *Danylevsky V. O.* The solar diameter determination from data of the 1991 July 11 solar eclipse photoelectric observations // Contribs Astron. Observ. Skalnate Pleso. – 1999. – Vol. 28, N 3. – P. 201–209.

18. *Morel P., Provost J., Berthomieu G.* Updated solar models // Astron. Astrophys. – 1997. – Vol. 327. – P. 349–360.

19. *Sofia S., Dunham D., Fiala A. D.* Determination of variations of the solar radius from solar eclipse observations // The Ancient Sun / Eds. Pepin R. O., Eddy J.A., Merill R.B. – Pergamon Press, 1980. – P. 147–157

20. *Wittman A. D.* CCD-drift scan measurements of the solar diameter: method and first results // Solar Phys. – 1997. – Vol. 171. – P. 231–237

Надійшла до редколегії 30.04.09

УДК 521.182; 523.44

А. Казанцев, Ф. Кравцов, І. Лук'яник, Л. Казанцева

МИНУЛЕ ТА СЬОГОДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ АСТЕРОЇДІВ У КИЄВІ

Наведено коротку історичну довідку про дослідження астероїдів в астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Також коротко описані основні напрямки вивчення астероїдів на сьогодні. Наведені головні результати, отримані в останнє десятиріччя. До таких результатів можна віднести: 1) розробку та реалізацію методу чисельного інтегрування рівнянь руху тіл Сонячної системи; 2) виявлення нового негравітаційного ефекту, що спричиняє просторове розділення астероїдів з різними альбедо; 3) реалізацію методу часової розгортки для спостережень покрить зір астероїдами.

A short historical reference about asteroid investigation in Astronomical Observatory of Kyiv Taras Shevchenko National University is presented. The main lines of asteroid investigation to date are shortly described as well. There are pointed the main results, which had been obtained during the last decade. These are: 1) development of a method for numerical integration of equations of movement for Solar system bodies; 2) revealing of a new non-gravitational effect, which causes a spatial separation for asteroids with different albedos; 3) the time-base method realization for observations of asteroid occultations.

Історія дослідження астероїдів в Обсерваторії у минулому. Певного системного характеру дослідження малих тіл в нашій обсерваторії набули за директорства С.Д.Чорного (1921–1939 рр.). Сам С.Д.Чорний більше часу приділяв теоретичним роботам з питань руху комет. Хоча за період 1925–1938 рр. опубліковано 34 роботи С.Д.Чорного за результатами спостережень малих тіл. в різних журналах («Astronomische Nachrihhten», «Astronomical Journal», «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society» та ін.). Близько половини цих публікацій присвячено спостереженням астероїдів. Крім С.Д. Чорного спостереження астероїдів в цей період вели М.Диченко, М.Шилова, І.І.Путілін.

Головним предметом дослідження співробітника обсерваторії тих часів І.І.Путіліна були астероїди. Він активно проводив спостереження малих планет та займався розрахунками їх орбіт. Особливу увагу він приділяв побудові чисельної теорії руху астероїда Ганімед. Цей астероїд відноситься до класу астероїдів, що наближаються до Землі (АНЗ), які в останні роки активно досліджуються з погляду на проблему астероїдної небезпеки. На той час ця проблема, як окреме питання не розглядалася. Але астероїди з такими орбітами привертали увагу дослідників. За період з 1934 р по 1947 р. І.І.Путілін опублікував з різних виданнях 39 статей з тематики астероїдів, з низ 16 присвячено Ганімеду. Головним результатом його роботи стала монографія «Малые планеты», яка вийшла з друку в 1953 р. і протягом десятиліть була навчальною книгою для дослідників астероїдів в СРСР [13].

З приходом С.К.Всехсвятського до керівництва обсерваторією в 1939 р. дослідження малих тіл Сонячної системи стали одним із головних наукових напрямків. Щоправда, першорядна увага приділялася кометами. Після того, як І.І.Путілін в 1947р. залишив роботу в обсерваторії, теоретичні роботи з астероїдної тематики на обсерваторії припинилися, однак спостереження малих планет продовжувалися. Такі спостереження проводив сам директор обсерваторії С.К.Всехсвятський, а також Е.Сандакова, В.П.Конопльова, Н.Хінкулова. Результати спостережень друкувалися в Астрономічному циркулярі АН СРСР під стандартною назвою «Наблюдения астероидов на Киевской астрономической обсерватории» або «Наблюдения малых планет на Киевской астрономической обсерватории».

Пожвавлення астероїдної тематики в Обсерваторії відбулося в середині 70-х років минулого століття. Тоді у співавторстві з А.М.Симоненко (Астрорада АН СРСР) почалися дослідження орбіт астероїдів в зонах сумірностей з Юпітером. В цих зонах періоди обертання астероїдів та Юпітера навколо Сонця відносяться як цілі числа. Це спричиняє явище орбітального резонансу, яке супроводжується збільшенням ексцентриситету орбіти астероїда без зміни середнього значення великої півосі. На сьогодні остаточно встановлено, що саме зони сумірностей в головному поясі астероїдів є поставниками переважної більшості астероїдів у внутрішні зони планетної системи, в тому числі, й АНЗ.

© А. Казанцев, Ф. Кравцов, І. Лук'яник, Л. Казанцева, 2010

Дані дослідження проводилися на основі чисельних розрахунків еволюції орбіт за програмою, підготовленою Л.М.Шербаум. Крім неї цими питаннями займався і В.Г.Кручиненко. Пізніше на цю тематику перейшов А.М.Казанцев. В обсерваторії на основі аналізу еволюції орбіт астероїдів в сумірностях з Юпітером був розроблений механізм виходу астероїдів на ексцентричні орбіти. Подібні механізми були запропоновані іншими дослідниками, але окремі особливості такого виходу були вперше зазначені в нашій Обсерваторії [1, 2, 14]. За отриманими тут результатами істотне збільшення ексцентриситетів відбувається для тих орбіт астероїдів, для яких амплітуда коливань аргументу лібрації σ знаходиться в певному вузькому діапазоні. Наприклад, в сумірності 3:1 такий діапазон становить 100° – 130° (увесь діапазон – 0°–180°). Пізніше це висновок був підтверджений більш точними розрахунками [16].

Еволюція орбіт астероїдів, що наближаються до Землі. З 90-х років головна увага перейшла до проблеми АНЗ. Ця тематика безпосередньо пов'язана із проблемою астроїдної небезпеки, що в той період активно обговорювалася в багатьох наукових установах світу. Для розрахунків еволюції орбіт астероїдів в Обсерваторії був запропонований новий метод чисельного інтегрування рівнянь руху тіл Сонячної системи [5]. Суть методу полягає в тому, що інтегрування виконується лише для збурень, а гравітаційний вплив Сонця повністю враховується за формулами незбуреного руху. Такий підхід дозволяє істотно збільшувати крок інтегрування, що підвищує точність обчислень. Недоліком методу є необхідність виконання переходу від координат до елементів в кожному кроці. Однак, це позначається лише на збільшенні часу розрахунків, а не на їх точності. При сучасних обчислювальних засобах цей недолік практично не проявляється. Переваги даного методу порівняно з іншими особливо помітні при обчисленні еволюції орбіт тіл з малими перигелійними відстанями.

За цим методом була створена програма та обчислені умови зближень із Землею всіх відомих нумерованих астероїдів в наступні 100 років. За отриманими результатами були визначені потенційно небезпечні тіла, як такі, що можуть зближуватися із Землею на відстань менше 0.02 а.о. (табл. 1). Таблиця містить дані про 46 зближень нумерованих астероїдів, відомих на травень 2009 р. Тут можна зазначити, що іще 8 років тому така таблиця містила дані лише про 10 зближень. Розширення даних обумовлено значним зростанням числа відкритих астероїдів за минулі роки. У таблиці наведені дати зближень, номери астероїдів, їх абсолютні зоряні величини *H* та мінімальні геоцентричні відстані при зближеннях Δ. Значення *H* може служити орієнтовною величиною розміру астероїда. Зрозуміло, що розміри астероїдів визначаються як величиною *H*, так і альбедо, яке для більшості астероїдів на сьогодні невідоме. Однак, наближені оцінки розмірів можна робити користуючись певним середнім значенням альбедо. Так значенню $H = 18.0^m$ відповідає розмір астероїда біля 1 км. Найбільші розміри серед наведених в таблиці мають астероїди 4179 та 159857 (біля 3 км), найменший розмір у астероїда 54509 (біля 100 м).

Таблиця 1. Обставини зближень із Землею потенційно небезпечних астероїдів в наступні сто років

Дата	Номер	H	Δ (а.о.)	Дата	Номер	H	Δ (а.о.)
10.06.2009	136617	17.7	0.01685	05.11.2069	4179	15.3	0.01985
22.10.2017	171576	18.5	0.01483	06.06.2070	163348	20.0	0.01016
22.12.2018	163899	16.8	0.01893	21.12.2070	163899	16.8	0.01818
18.01.2022	7482	16.8	0.01324	04.02.2071	4660	18.2	0.01469
27.06.2026	152637	18.0	0.01714	30.10.2071	154276	17.6	0.00931
07.08.2027	137108	17.9	0.00265	29.04.2073	164121	16.2	0.01134
26.06.2028	153814	18.3	0.00169	15.04.2075	143404	16.7	0.01953
26.10.2028	35396	16.9	0.00634	06.12.2076	162173	19.2	0.01042
14.04.2029	99942	19.2	0.00024	13.04.2078	163243	16.3	0.01907
24.06.2033	172678	18.7	0.01680	16.04.2079	52768	15.9	0.01181
25.05.2036	66391	16.5	0.01570	31.08.2080	163132	18.3	0.00425
01.10.2038	41429	20.7	0.01640	21.09.2080	101955	20.9	0.01388
16.11.2038	159857	15.5	0.01983	21.10.2086	2340	19.2	0.00556
12.10.2040	162120	20.6	0.01303	22.10.2086	171576	18.5	0.00766
07.11.2041	144898	18.9	0.01303	26.09.2087	101955	20.9	0.01941
28.02.2048	162162	19.9	0.00650	11.08.2091	163373	19.0	0.01400
24.03.2051	4581	20.4	0.01211	13.08.2093	65679	19.4	0.01423
11.08.2051	162422	20.2	0.01243	01.12.2093	153201	19.3	0.00834
19.12.2054	33342	17.9	0.01439	27.06.2100	170086	18.1	0.01715
12.10.2057	162120	20.6	0.01139	10.07.2102	2101	18.7	0.01948
14.02.2060	4660	18.2	0.00799	02.01.2104	54509	22.7	0.00532
23.09.2060	101955	20.9	0.00501	18.01.2105	7482	16.8	0.01607
21.10.2069	2340	19.2	0.00656	21.04.2106	162416	21.7	0.00949

Окремо слід відзначити зближення із астероїдом 99942 (Apophis) у квітні 2029 р. [8]. Цей астероїд має пройти від поверхні Землі на відстані меншій, ніж рухаються геостаціонарні супутники. На сьогодні ця майбутня подія привертає максимальну увагу як вчених, так і громадськості.

Оцінка числа та напрямки пошуку нових АНЗ. Останні два десятки років принесли дуже багато нових даних про малі тіла Сонячної системи. Напевне найбільш визначним можна назвати відкриття поясу Койпера за орбітою Нептуна. Це привело до позбавлення Плутона статусу повноцінної планети та введення поняття «карликових планет».

Розширення засобів спостережень, в тому числі, і з космосу, істотно збільшило масив спостережних даних про астероїди. Дуже вагомим є каталог альбедо астероїдів за даними супутника IRAS, перший варіант якого вийшов в 1992 р. [17]. У 2002 р. опубліковано новий (виправлений та доповнений) варіант цього каталогу, який містить альбедо та розміри 2228 астероїдів [18]. Цей каталог дав можливість отримувати нові характеристики та особливості всього комплексу малих планет.

В нашій обсерваторії на основі даних IRAS було уточнено параметри розподілу астероїдів за розмірами [6,10]. Зазвичай такий розподіл подається у вигляді степеневої залежності

$$dN(D) = kD^{-b}dD \qquad (1)$$

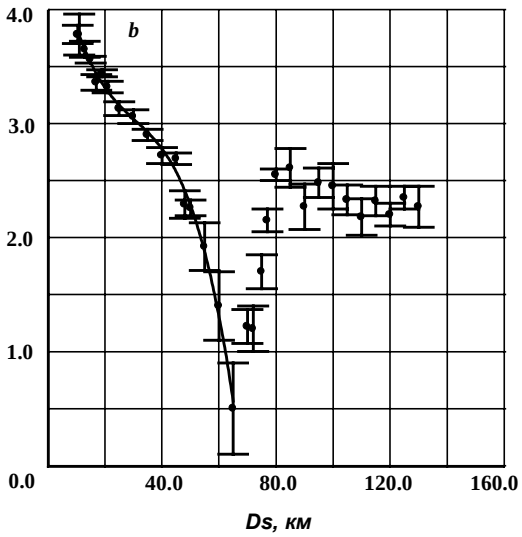

Рис. 1. Залежність параметра b від розміру

де $dN(D)$ – число астероїдів у вузькому інтервалі розмірів dD), k та b – деякі постійні параметри. Використовуючи каталог [18], було отримано значення параметрів k та b для астероїдів головного поясу (ГПА) в окремих вузьких діапазонах розмірів. Як виявилось, існує характерна залежність показника степеня b від середнього значення розміру діапазону Ds (рис. 1). Із рис. 1 видно, що значення параметра b для в діапазоні розмірів 1 – 10 км має бути близько 4. Тіл з розмірами D > 1 км в ГПА має бути біля 1.4×10^7. Залежність на рис. 1 потребує пояснення в рамках механізму походження ГПА.

Окремо було проаналізовано розподіл за розмірами відкритих АНЗ. Наша вибірка АНЗ (на травень 2009р.) налічувала 55 тіл з розмірами від 3 до 10 км. Для середнього значення розмірів (6.5 км) даної вибірки були отримані параметри b та k. Значення параметра b при різних розбиттях діапазону на ділянки було в межах 3.9–4.2. Це добре узгоджується із залежністю $b(D)$ для ГПА, що й має бути, оскільки АНЗ переходять у внутрішні зони саме із ГПА. Отримані значення параметрів b і k дозволяють стверджувати, що число астероїдів з розмірами більше 1 км серед АНЗ має становити від 2000 до 2500. Зауважимо, що враховуючи спостережну селекцію, це значення можна розглядати як мінімальне. Отримана величина в 1.5–2 рази перевищує попередні оцінки кількості існуючих АНЗ таких розмірів.

В каталозі міжнародного центру малих планет (MPC) на травень 2009 р. налічується 960 орбіт АНЗ з $H < 18^m$ (розмірами більше 1 км). Тобто, частка відкритих тіл такого класу складає менше половини існуючих. Що стосується АНЗ менших розмірів, то частка таких відкритих тіл зовсім невелика. Для пошуків нових

АНЗ корисно знати їх розподіл у біляземному просторі. Нами було проаналізовано такий розподіл і виявлено чітку неоднорідність концентрації перигеліїв орбіт АНЗ поблизу Землі в залежності від екліптичної довготи λ_E [3]. При $\lambda_E = 350^o–30^o$ біляземний простір перетинає найбільша кількість орбіт астероїдів. Ця кількість на 30–50% перевищує відповідне значення в мінімумі розподілу ($\lambda_E = 90–150^o$). Даний факт пояснюється гравітаційним впливом Юпітера.. Довготи перигеліїв орбіт астероїдів концентруються поблизу значення $\lambda_E = 15^o$, яке відповідає довготі перигелію орбіти Юпітера.

Використовуючи отримані результати та оцінюючи імовірність перебування астероїда в певній точці своєї орбіти, були обчислені найбільш сприятливі періоди та зони на небесній сфері для пошуків нових АНЗ [4, 16]. В північній півкулі для пошуків АНЗ з перигелій ними відстанями q > 1.1а.о. найбільш сприятливим періодом є кінець вересня – жовтень. Для пошуків астероїдів, що глибоко проникають всередину орбіти Землі, таким періодом є кінець березня – квітень. Імовірність реєстрації нових АНЗ в ці періоди 1.5 рази перевищує середню імовірність протягом року.

Ефект просторового розділення астероїдів з різними альбедо. Використання каталогу альбедо астероїдів [18] та точні розрахунки еволюції їх орбіт за розробленим в Обсерваторії методом дали можливість виявити невідомий раніше негравітаційний ефект просторового розділення астероїдів з різними альбедо [7]. Спочатку була обчислена еволюція орбіт ГПА на 10 років, занесених одночасно в каталог «Эфемериды малых планет на 1996 г.» та в каталог IRAS альбедо. Результати розрахунків порівняні з каталогом орбіт на 2006 р. Виявилося, що різниця у великих півосях орбіт a між каталожними та обчисленими значеннями залежить від альбедо астероїдів p. Значення a орбіт каталожних астероїдів з високими p виявилися в середньому дещо меншими, ніж відповідні обчислені значення. А для астероїдів з низькими альбедо аналогічне порівняння показало протилежне співвідношення. Було зроблено припущення про існування певного негравітаційного ефекту, що приводить до зменшення a високоальбедних астероїдів, і до збільшення a орбіт низкоальбедних тіл.

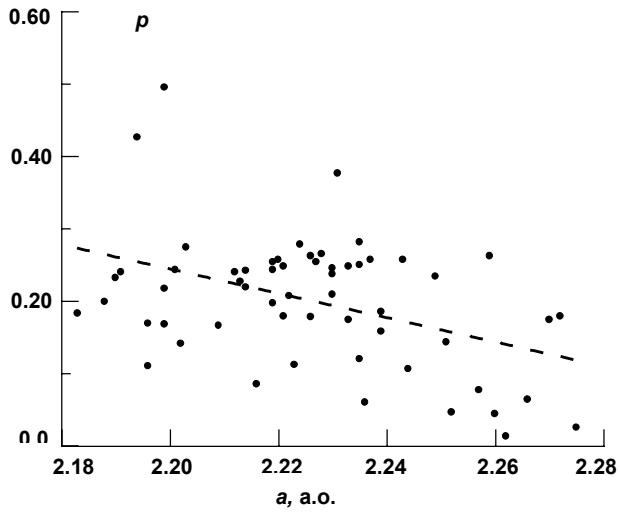

Рис. 2. Залежність p(a) для сімейства Флори

Це припущення підтверджується розподілами *p(a)* від для окремих сімейств астероїдів, наприклад, Флори (рис. 2). Подібна залежність існує для сімейства Еос. Сімейств з протилежними залежностями *p(a)* не виявлено. Сам факт утворення сімейств астероїдів в результаті руйнування більш крупних тіл не викликає сумніву. Отже початковий розподіл альбедо астероїдів сімейства по великій півосі орбіт мав бути в середньому рівномірним. Тому такі залежності *p(a)*, як на рис. 2, підтверджують припущення про існування негравітаційного ефекту, що викликає просторове розділення астероїдів з різними альбедо.

Зазначений ефект підтверджується також аналізом нев'язок в астероїдних каталогах [9]. Виявляється, що для орбіт з більшими нев'язками різниці між обчисленими (від 1996 р. до 2006 р.) та каталожними значеннями *a* більш помітні порівняно із аналогічними величинами для орбіт з меншими нев'язками. Так і повинно бути, якщо такі різниці викликані негравітаційним ефектом.

Виявлення такого негравітаційного ефекту дозволяє просто пояснити відомий розподіл альбедо астероїдів ГПА від великої півосі орбіт. Цей розподіл у свій час виявився головною перепоною для пояснення утворення ГПА в результаті руйнування одного тіла. Остаточне підтвердження існування зазначеного негравітаційного ефекту має привести до перегляду домінуючих на сьогодні механізмів утворення ГПА.

Спостереження астероїдів в обсерваторії на сьогодні. Крім теоретичних досліджень обсерваторія веде спостереження астероїдів. Головними об'єктами спостережень є АНЗ та явища покрить зір астероїдами. Головним інструментом спостережень є 70-см телескоп-рефлектор АЗТ-8, оснащений ПЗЗ-камерою ST-8XME, яку в 2005 р. ЮНЕСКО безкоштовно передав обсерваторії.

З усього комплексу АНЗ спостерігаються переважно об'єкти, що підходять до Землі на дуже малі відстані. Ці тіла в моменти зближень мають дуже великі кутові швидкості і такі спостереження вести досить складно. Крім того, позиційні спостереження при малих геоцентричних відстанях мають мінімальні похибки в координатах. Тому подібні спостереження особливо цінні для уточнення орбіт та вивчення фізичних характеристик цих потенційно небезпечних для Землі тіл. Виконані спостереження опрацьовуються і відправляються до Міжнародного центру малих планет (MPC).

До таких спостережень можна віднести спостереження астероїда 2002N40Y, який 18 серпня 2002 р. проходив біля Землі на відстані 0.0035 а.о. За одну хвилину експозиції цей астероїд проходив майже половину поля ПЗЗ-камери (рис. 3). Спостереження іще одного астероїда 2004X14P, що мав тісне зближення із Землею (до 0.0029 а.о.), було зроблено в липні 2006 р. Крім визначення положень, для цього астероїда було отримано криву блиску за час спостережень.

На рис. 4 наведена зміна блиску астероїда у відносних одиницях в залежності часу від початку спостережень. Крім плавної зміни блиску, яка дає можливість оцінити період обертання астероїда навколо власної осі, видно невеликий пік в максимумі блиску. Ця особливість кривої блиску може свідчити про неоднорідність альбедо на поверхні астероїда чи специфіку його форми.

За спостереженнями покриттів зір окастероїдами найбільш точно визначаються їх розміри. Тому ці спостереження дуже важливі. Але такі спостереження потребують світло-приймачів з високою часовою роздільною здатністю (0.001 с – 0.05 с) Наша ПЗЗ - камера не має таких характеристик. Однак, подібні спостереження все-таки ми можемо виконувати. Якщо реєстрацію явища вести при повільному русі телескопа по одній з координат, то зображення зір і астероїда будуть мати вигляд розтягнутих слідів. Якщо блиск зорі, що покривається помітно менший за блиск астероїда, то під час покриття слід зорі стане більш тонким. Як правило, швидкість зміщення астероїда відносно зорі мала (біля 0.01″ за секунду і менше). Тому при масштабі ПЗЗ - камери 0.9″ на піксель один піксель на сліді зорі буде відповідати приблизно 0.01 с часу зміщення астероїда відносно зорі. Отже ефективна часова роздільна здатність такого методу реєстрації може становити менше 0.01 с. Цей метод (метод часової розгортки) для наших умов був запропонований Ф.І.Кравцовим, який з 2005 р. веде такі спостереження з І.В. Лук'яником [11, 12]. По квітень 2009 р. було проведено 24 спостереження за ефемеридами покриттів, з них лише у двох випадках спостерігалися явища покриття зір астероїдами. Така ефективність цілком зрозуміла, оскільки похибки ефемерид значно перевищують ширину смуги покриття на поверхні Землі. Одним із цих явищ було покриття зорі TYC 1831-01958-1U астероїдом 712 Boliviana 11 жовтня 2005 р. Крива блиску цього явища наведена на рис. 5.

По осі X відкладено число пікселів вздовж сліду зорі, а по осі Y – блиск зорі у відносних одиницях. За тривалістю «провалу» блиску здалося оцінити розмір астероїда – 129 км (ефемеридне значення – 132 км).

На кривій добре видно зростання блиску «до» та «після» покриття. Таке зростання свідчить про реєстрацію явища дифракції, що вказує на високу часову роздільну здатність даного методу. Таким чином, подібні спостереження є досить корисними та перспективними.

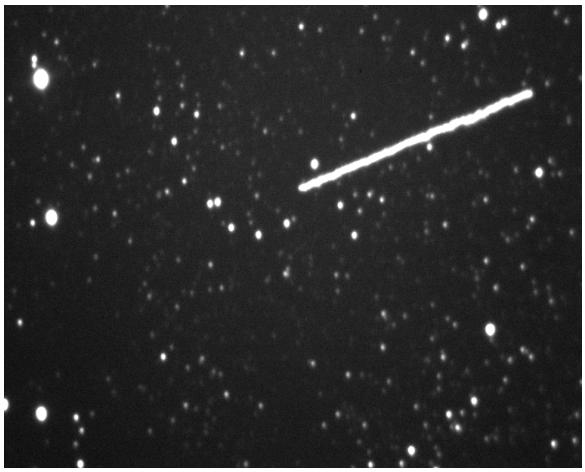

Рис. 3. Зображення астероїда 2002N40Y

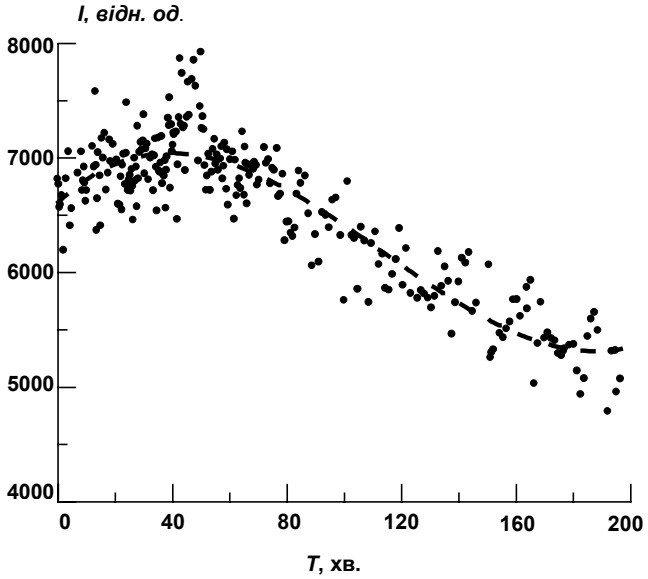

Рис. 4. Крива блиску астероїда 2004X14P

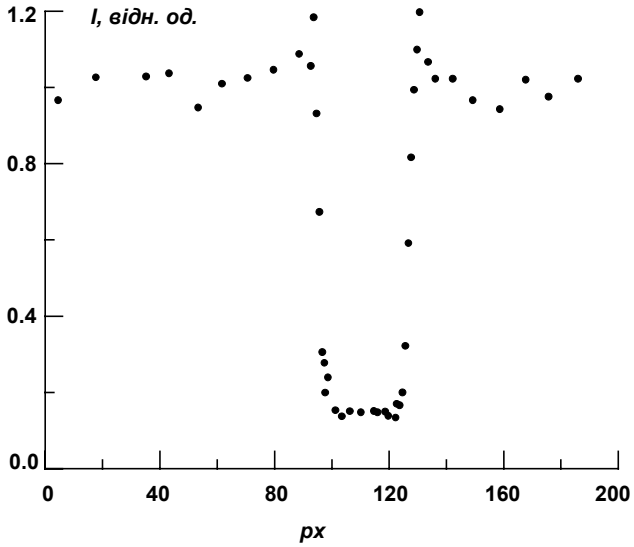

Рис. 5. Крива блиску покриття зорі 01958-1U астероїдом 712 Boliviana 11 жовтня 2005 р.

Висновки. На сьогоднішній день дослідження малих планет в астрономічні обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка успішно проводяться як теоретичними, так і спостережними методами. До головних результатів, отриманих в останні роки можна віднести наступні:

1. Запропоновано новий метод чисельного інтегрування рівнянь руху тіл Сонячної системи, який особливо ефективний при орбітах з малими перигелій ними відстанями. Обчислені умови зближень АНЗ із Землею в наступні сто років та визначені потенційно небезпечні астероїди.

2. Уточнені параметри розподілу числа астероїдів за розмірами, зроблена оцінка кількості існуючих АНЗ.

3. Визначені найбільш сприятливі періоди та зони на небесній сфері для пошуків нових АНЗ.

4. Отримані результати, що вказують на дію в Сонячній системі раніше не описаного негравітаційного ефекту, що приводить до просторового розділення астероїдів з різними альбедо. Остаточне підтвердження існування цього ефекту стане основою для перегляду домінуючих на сьогодні механізмів походження ГПА.

5. Реалізовано метод часової розгортки для спостережень покрить зір астероїдами, який дозволяє проводити спостереження з ефективною часовою роздільною здатністю менше 0.01 с. Налагоджені регулярні спостереження покрить.

1. *Казанцев А.М., Шербаум Л.М.* Характеристический параметр либрирующих орбит // Астрон. Вестн. – 1984. – Т. 18, №1. – С. 28– 34.

2. *Казанцев А.М., Шербаум Л.М.* Роль взаимных столкновений в формировании резонансных образований в поясе астероидов // Астрон. Вестн. – 1989. – Т.23, №3. – С. 220– 225.

3. *Казанцев А.М.* Просторовий розподіл астероїдів поблизу орбіти Землі // Кинематика и физика небес. тел. – 1998. – Т. 14, №2. – С.186-188.

4. *Казанцев А.М., Макарчук Р.В.* Пространственное распределение и направление поиска околоземных астероидов. // Кинематика и физика небес. тел. – 2000. – Т. 16, №4. – С. 369-374.

5. *Казанцев А.М.* Простой метод численных расчетов эволюции орбит околоземных астероидов.// Астрон. Вестн. – 2002. – Т. 36, №1. – С. 48– 54.

6. *Казанцев А.М.* Некоторые особенности распределения числа астероидов по размерам // Кинематика и физика небес. тел. – 2002. – Т. 18, №6. – С. 517 – 524.

7. *Казанцев А.М.* О возможном эффекте пространственного разделения светлых и темных астероидов // Кинематика и физика небес. тел. – 2007. – Т. 23, №6. – С. 349-358.

8. *Казанцев А.М.* Зближення із Землею астероїда Apophis в наступні 100 років. // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія. – 2007. – Вип. 44. – С. 59-61.

9. *Казанцев А.М., Казанцева Л.В.* О невязках в астероидных каталогах и возможном негравитационном эффекте // Кинематика и физика небес. тел. – 2008. – Т. 24, №5. – С. 379-387.

10. *Казанцев А.М.* Уточнення розподілу астероїдів за розмірами та оцінка числа біляземних астероїдів // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія. – 2009. – Вип. 45. – С. 52–55.
11. *Кравцов Ф.І., Лук'яник І.В.* Спостереження покриттів зір астероїдами методом часової розгортки їхніх зображень // Кинематика и физика небес. тел. – 2008. – Т. 24, №4. – С. 291-298.
12. *Кравцов Ф.І., Лук'яник І.В.* Спостереження покриттів зір астероїдами за допомогою ПЗЗ-камери в 2005-2007 роках // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія. – 2009. – Вип. 45. – С. .55–60
13. *Путилин И.И.* Малые планеты. М.: Наука, 1953. – 354 с.
14. *Шербаум Л.М., Казанцев А.М.* Возможный механизм образования люков в поясе астероидов // Астрон. Вестн. – 1985. – Т. 19, №3. – С. 73– 77.
15. *Kazantsev A.M., Lupishko D.F.* Search for Near-Earth Asteroids based on their spatial distribution // Mem. Soc. Astron. Italiana. – 2002. – Vol. 73, No.3. – P. 751-755.
16. *Kazantsev, A.M.* Migration velocities of asteroids from MBA to NEA's and Centaurs // Rom. Astron. J. – 2005. – Vol. 15, Suppl. – P. 81-86.
17. *Tedesco E.F., VeederG.J.* IMPS albedos and diameters catalogue (FP 102) // The IRAS Minor Planet Survey / Eds Tedesco E.F., Veeder G.J., Fowler J.W., Chillemi J.R. MA: Phillips Lab., Hanson Air Force Base., 1992. – P. 243-297.
18. *Tedesco Edward F., Noah Paul V., Noah Meg, Price Stephan D.* The supplemental IRAS minor planet survey // Astron. J. – 2002. – Vol. 123. – P. 1056–1085.

Надійшла до редколегії 19.05.09

УДК 521.852

В. Клещонок, М. Буромський

РОЗВИТОК СПОСТЕРЕЖЕНЬ ПОКРИТТІВ ЗІР МІСЯЦЕМ В АСТРОНОМІЧНІЙ ОБСЕРВАТОРІЇ КИЇВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Розглянуті етапи розвитку спостережень покриттів зір Місяцем в Астрономічній обсерваторії Київського університету. Наведені основні наукові задачі, які можна вирішувати за допомогою таких спостережень. Проаналізовано сучасний стан спостережень покриттів в Астрономічній обсерваторії Київського університету та перспективні напрямки їх розвитку.

The main development observation stages, which were carried out in Astronomical observatory of Kjiv University, of star occultations by the Moon were considered. Main scientific problems which allow resolving with the help of such observations were shown. The modern state of occultation observations and perspective direction of its progress were analyzed.

Вступ. Сучасний етап розвитку космічних досліджень характеризується відновленням уваги до природного супутника Землі – Місяця. Насамперед це пов'язано з планами створення дослідницьких станцій на Місяці. Перед такими великими проектами має бути підготовчий етап, який пов'язаний з більш поглибленим вивченням перспективних місць для побудови космічних баз. Останнім часом відбулося декілька космічних місій для вивчення Місяця: європейській проект SMART-1, китайський Chang'e -1, індійський Чандраян-1. На всіх цих космічних апаратах стояли прилади для вивчення поверхні Місяця і його картографування. Наземні дослідження, які можуть давати точність наближену до точності досліджень з космічних апаратів – це лазерна локація та спостереження покриттів. Зокрема, вивчення профілю місячного лімба за допомогою ПЗЗ спостережень покриттів зір є одним з методів по удосконаленню карт крайової зони Місяця.

Декілька десятиліть тому, місячні покриття в основному використовувалися для дослідження обертання Місяця (вивчалась теорія руху Місяця, уточнювались параметри його орбіти і фігури, створювались карти крайової зони Місяця на основі фотографічних, геліометричних та позиційних методів) та флуктуації обертання Землі (визначались різниці між ET-UT). Виходячи з сучасного стану розвитку спостережної техніки для дослідження Місяця і його крайової зони, спостереження покриттів мають наукове значення із декількох причин:

1. Існує можливість визначати похибки власних рухів системи каталога Гіпаркос (Hipparcos Catalogue ESA 1997)[1]. Каталог Гіпаркос був створений у 1997 і його точність по відношенню до системи ICRS (International Celestial Reference System)[2] складає 0.6 mas в орієнтації і 0.25 mas/year в обертанні. При порівнянні власних рухів каталогу Гіпаркос і фундаментального FK5 виконаних Фейзелом та Мінардом [2], було знайдено різницю в 3 mas/year, яку також незалежно отримано при редукції системи VLBI [3], місячних лазерних локацій [4] і аналізом власних рухів [5]. Ці дослідження підтверджують, що система каталогу Гіпаркос має систематичні похибки. У 1997 р. Національним космічним агентством США на основі ICRS були створені нові місячні і планетні ефемериди (DE405/LE405)[6], які дозволяють використовувати і досліджувати систему каталога Гіпаркос з високою точністю за даними спостережень покриттів. Така інформація буде ще деякий час актуальна, поки у розпорядження астрономів не надійдуть дані з астрометричної місії GAIA, запуск якої намічено на кінець 2011 р.

2. Розвиток нових приймачів зображень з високою часовою роздільною здатністю, створює можливості для забезпечення високоточними даними профілю місячного лімбу. Спостереження покриттів зір Місяцем за допомогою наземних сучасних оптико-електронних астрономічних систем дозволяє створити базу даних для побудови рельєфу краєвої зони Місяця. Особливо цікаві та мало вивчені зони поблизу полюсів Місяця. Інформацію про них можна отримати із спостережень дотичних покриттів Місяця. Це підтверджується рядом фактів які наводять Д.Данхем[7], М.Сома[8], Бутнер[9] та інші: а)на сьогодні ще не має достатнього ряду спостережень дотичних покриттів та їх обробки, які дали б змогу точно і з урахуванням різних лібрацій відобразити топографію зон поблизу місячних полюсів (~±6°.5); б) результати вимірів висот місячної поверхні, які проводились за допомогою лазерної станції Климентина(1994 р.) не дають достатньо точної інформації відносно рельєфу Місяця на його полюсах, а інші висоти мають досить великі систематичні похибки; в) сучасна міжнародна програма дослідження передбачає виведення на орбіту спеціальних супутників для всебічного вивчення навколополюсних зон Місяця з метою підтвердження знаходження льоду та геометричних розмірів басейна "Південний полюс-Ейткен" самого великого кратера сонячної системи (d=2500 км, h= 7–8 км) – В.І. Чикмачев, В.В. Шевченко [10].

© В. Клещонок, М. Буромський, 2010