

ЗВ'ЯЗОК ЕКСТИНКЦІЇ З АТМОСФЕРНИМИ МІСЯЧНО-СОНЯЧНИМИ ПРИПЛИВАМИ

В. Андрук¹, Г. Бутенко², В. Костюченко¹, Л. Свачій¹

¹Головна астрономічна обсерваторія НАН України
вул. Заболотного, 27, Київ, 03680, Україна

²Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України,
вул. Заболотного, 31, 03680, Київ

(Отримано 19 грудня 2006 р.)

У статті дискутується питання систематичного збільшення непрозорості атмосфери щодо сонячних та місячно-сонячних припливів в атмосфері Землі. Використано матеріал фотоелектричних спостережень в UBVR системі на піку Терскол (Кабардино-Балкарська Республіка, висота 3125 м над рівнем моря, координати: 43.27631 град. пн. ш. і 42.49939 град. сх. д.) за період 1987–1991 рр. Проаналізовано зміни значень головних коефіцієнтів екстинкції з часом. Амплітуди вечірнього термічного припливу щодо середнього значення сягають 0.03–0.05 зоряної величини і характеризують збільшену непрозорість атмосфери. Також аналізується зміна головних коефіцієнтів екстинкції залежно від просторової конфігурації Сонця, Місяця та Землі. При сагітальних припливах значення коефіцієнтів екстинкції на 5–10 відсотків більші стосовно до середніх значень.

Ключові слова: фотоелектрична фотометрія, екстинкція, атмосферні припливи.

PACS number(s): 92.70.Cp, 94.10.Vd, 95.75.De, 95.85.Kr

І. ВСТУП

Історія вивчення атмосферних припливів розпочалася понад два століття тому. Атмосферними припливами названо крупномасштабні коливання атмосфери, що виникали внаслідок дії сили притягання Місяця та Сонця (гравітаційні припливи), а також теплового впливу Сонця (термічні припливи) [1].

У цій статті автори розглядають лише можливий прояв сонячних термічних та місячно-сонячних гравітаційних припливів в атмосфері Землі. Цей прояв зареєстрований у вигляді збільшених значень коефіцієнтів екстинкції щодо середніх значень при обробці фотоелектричних спостережень, які були проведені в чотирьох U , B , V , R смугах системи Джонсона на піку Терскол. Фотоелектричні виміри зірок проведено з одноканальним електрофотометром АЭФ-2, у приймачі використовували термостабілізований при $t = +5^\circ\text{C}$ ФЭУ-79 [2]. Спостереження охоплюють період 1987–1991 рр. і пов'язані з виконанням фотоелектричної частини програми МЕГА [3]. Важливою характеристикою проведених спостережень є високий відсоток (50% і більше в окремі ночі) вимірів різних стандартних зірок. Як приклад, на рис. 1 показано розподіл із часом фотоелектричних вимірів програмних та стандартних зірок для ночі спостережень 27/28 грудня 1989 р. на піку Терскол.

Стандартні зірки спостерігали в широкому інтервалі часових кутів та повітряних мас з інтервалом та протягом години. На заключному етапі створення каталогу фотоелектричних стандартів програми спостережень було помічено, що значна частина рядів спостережень тривалістю понад 6 годин обтяжена неврахованими систематичними різницями, які по-

казували часову та просторову залежність. Хід різниць між спостережуваними та каталожними даними для стандартних і програмних зірок був аналітично погоджений, тобто врахований, але причини виникнення різниць у певні моменти спостережень не були проаналізовані. У цій статті проаналізовано хід різниць між спостережуваними та каталожними даними для стандартних зірок як зміна коефіцієнтів екстинкції з часом, а також зроблено спробу виявити зв'язок коефіцієнтів екстинкції з просторовою конфігурацією Місяця, Землі і Сонця. Відзначимо, що середні значення коефіцієнтів екстинкції для піка Терскол, отримані в роботі [3], з похибкою $\pm 0.01^m$ збігаються зі значеннями, які одержали значно раніше інші автори [2].

При аналізі результатів цієї праці необхідно врахувати таке. Спеціально проведеними дослідженнями встановлено [4], що криві пропускання фільтрів системи WBVR показують температурні зміни і результати якісно погоджуються з дослідженнями впливу температури на криві пропускання стандартних фільтрів системи UBVR. Зі зниженням температури пропускання скляних фільтрів збільшується, а смуга пропускання зміщується в бік коротких хвиль. Тобто для широкосмугової системи UBVR при зниженні температури на 1°C інтегральні пропускання фільтрів у середньому збільшуються на $\delta m_1 = 0.0011^m \pm 0.0003^m$. У [5] досліджено вплив температури на пропускання матеріалу (скла) вхідного вікна ФЭУ-79. Визначено, що для ультрафіолетової ділянки спектра ($\lambda = 300\text{ нм}$) зі зниженням температури пропускання кварцу вхідного вікна ФЭУ-79 збільшується на $\delta m_2 = 0.0021^m$; тобто для смуги U слід очікувати більших змін, ніж для B , V , R смуг пропускання. У тій же праці для

всіх досліджуваних зразків ФЭУ-79 встановлено, що чутливість зі зниженнями температури збільшується на величину $\delta m_3 = 0.0004^m \pm 0.0002^m$. Отже, при зниженні температури на 1°C числові значення відліків реєструвального приладу від спостережуваної зірки збільшуватимуться, тобто зірка яскравішатиме на величину:

$$\delta m = 0.0011^m + 0.0021^m + 0.0004^m = 0.0036^m$$

для смуги U,

$$\delta m = 0.0011^m + 0.0004^m = 0.0015^m$$

для смуг B, V, R.

II. ЗВ'ЯЗОК ЕКСТИНКЦІЇ З ТЕРМІЧНИМ СОНЯЧНИМ ПРИПЛИВОМ

У ніч з 27 на 28 грудня 1989 р. отримано 280 спостережень для 141 зірки, з них 171 вимір для 91 стандартної зірки. Виміри здійснено в чотирьох смугах, інтервал зоряних величин зірок-стандартів $V = 6.5 \div 12.5^m$. Температура повітря в підкупольному приміщенні телескопа Цейс-600 на початку спостережень ($T_{\text{Moscow}} = 18^h$) становила -4°C , наприкінці — ($T_{\text{Moscow}} = 6.5^h$)

була -8.3°C . Різниця між поясным часом T_{Moscow} і місцевим сонячним становить 10 хвилин.

Фотоелектричні виміри спостережуваних зірок отримано зі систем таких редуційних рівнянь:

$$\begin{aligned} U_i &= a_1 + b_1 u_i + k_1 X_i + k'_1 (u - v)_i X_i, \\ B_i &= a_2 + b_2 b_i + k_2 X_i + k'_2 (b - v)_i X_i, \\ V_i &= a_3 + b_3 v_i + k_3 X_i + k'_3 (b - v)_i X_i, \\ R_i &= a_4 + b_4 r_i + k_4 X_i + k'_4 (v - r)_i X_i, \end{aligned} \quad (1)$$

де X — повітряна маса; u, b, v, r — інструментальні зоряні величини; U, B, V, R — зоряні величини стандартних зірок; k_1, k_2, k_3, k_4 — коефіцієнти екстинкції в U, B, V, R смугах; $i = 1, 2, \dots, n, n$ — кількість вимірів стандартних зірок. Отже, обробка фотоелектричних спостережень за рівняннями (1) враховує лише ослаблення блиску зірок за рахунок атмосферної екстинкції та лінійний зв'язок інструментальної $ubvr$ і стандартної $UBVR$ систем. Із рівнянь (1) легко отримати спостережувані значення U_o, B_o, V_o, R_o , які порівнюються з каталожними U_c, B_c, V_c, R_c для стандартних зірок. Таке порівняння дано у верхній частині рис. 2, де стосовно часу спостережень T_{obs} нанесено різниці $U_o - U_c, B_o - B_c, V_o - V_c, R_o - R_c$ (а, б, в, г). Штриховими лініями відзначено усереднені відхилення фотометричних різниць щодо середніх нульових значень.

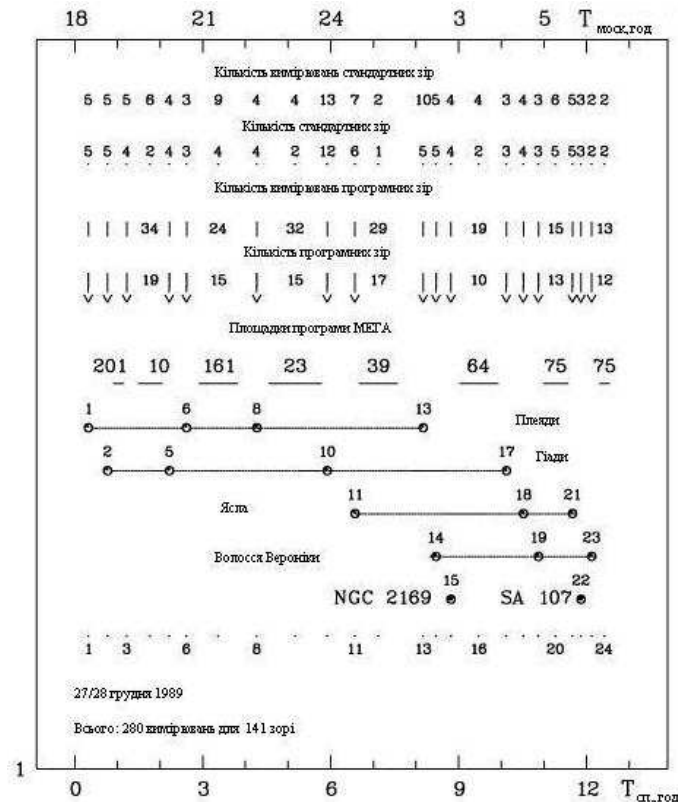


Рис. 1. Розподіл із часом фотоелектричних вимірів програмних та стандартних зірок для ночі спостережень 27/28 грудня 1989 р. на піку Терскол.

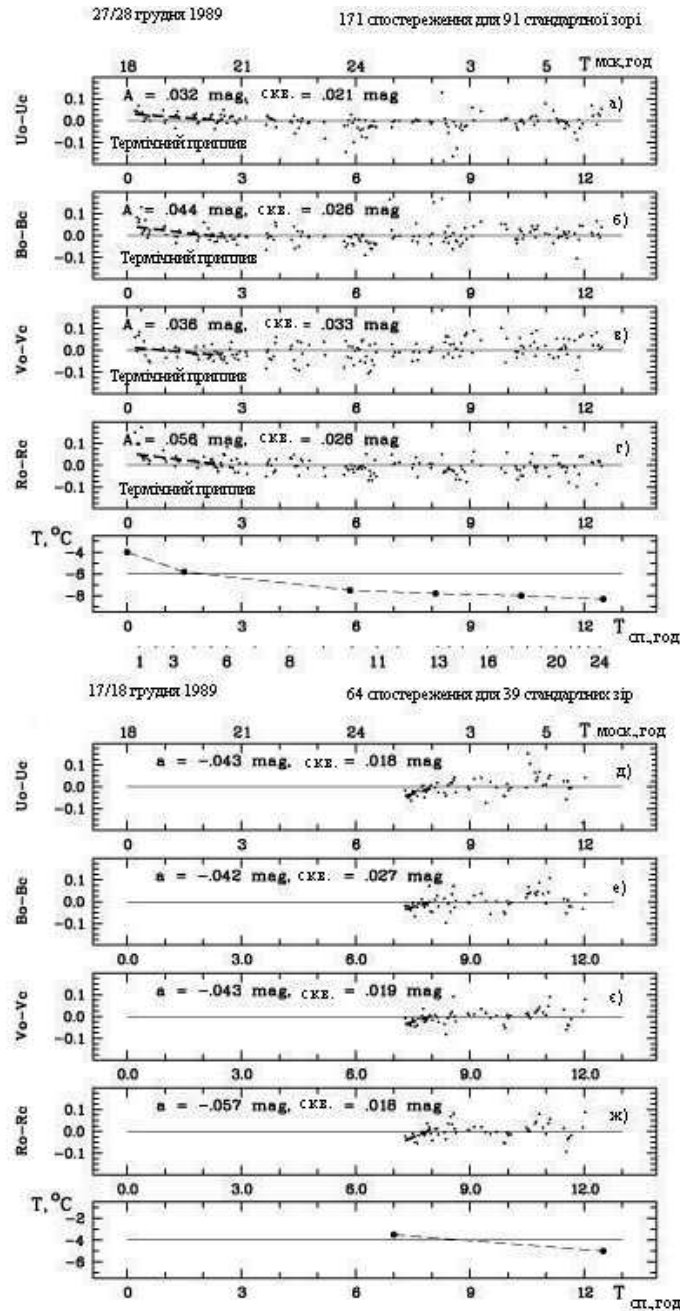


Рис. 2. Хід фотометричних різниць із часом для чотирьох U , B , V , R смуг системи Джонсона. Штрихові лінії відповідають градієнтові фотометричних різниць на початку спостережень. Унизу — для кожної ночі вказано хід температури $T^{\circ}\text{C}$ з часом.

Температура повітря протягом ночі знижувалася (особливо на початку спостережень після відкриття купола телескопа), і якщо чутливість ФЭУ-79 та пропускання скляних фільтрів зростали, то різниці мали бути додатного знака. Це реєструється протягом двох з половиною годин, у всіх чотирьох смугах різниці зоряних величин монотонно змінюються від максимальних значень до нуля. Якщо прийняти до уваги, що протягом 2.5 годин температура знизилася на 3°C , то сумарна зміна чутливості приймальної апаратури буде:

$$\delta m = 0.0036^m \times 3.0 = 0.0108^m$$

для смуги U ,

$$\delta m = 0.0015^m \times 3.0 = 0.0045^m$$

для смуг B , V , R .

Якісно зміни залишкових різниць зоряних величин δU , δB , δV , δR відповідають змінам коефіцієнтів екстинкції. Скореговані коефіцієнти екстинкції на початку спостережень були на $0.02 \div 0.05^m$ більшими, ніж через дві з половиною години майже неперервних спостережень стандартних зірок. Оскільки коефіцієнти екстинкції характеризують прозорість атмосфери, то можна зробити висновок, що звечора прозорість атмосфери була гіршою, ніж через 2.5 години після початку спостережень. Можна припустити, що розігріта

вдень атмосфера Землі охолоджується протягом двох з половиною годин. Її охолодження пов'язано із заходом Сонця (термічний приплив поступово зникає) і проявляється у збільшенні її прозорості (екстинкція зменшується, різниці між спостережуваними й каталожними зоряними величинами спадають до нуля).

Для додаткового контролю результатів лабораторних досліджень [4,5], коли зі зниженнями температури числові значення відліків реєструвального приладу від спостережуваної зірки повинні збільшуватися (зірка яскравішає), наводяться результати спостережень у ніч 17/18 грудня 1989 р. Спостереження роз-

почалися після першої години ночі, по тому, як з'явилися умови для спостережень. Температурні режими для порівнюваних ночей дуже близькі. На нижній частині рис. 2 (д, е, є, ж) для цієї ночі нанесені аналогічні дані, що й для ночі 27/28 грудня. На початку спостережень бачимо протилежний хід різниць на короткому інтервалі часу (близько півгодини). Але термічного явища охолодження атмосфери (зменшення екстинкції на початку спостережень) чи збільшення відліків за рахунок приймальної апаратури не спостерігається.

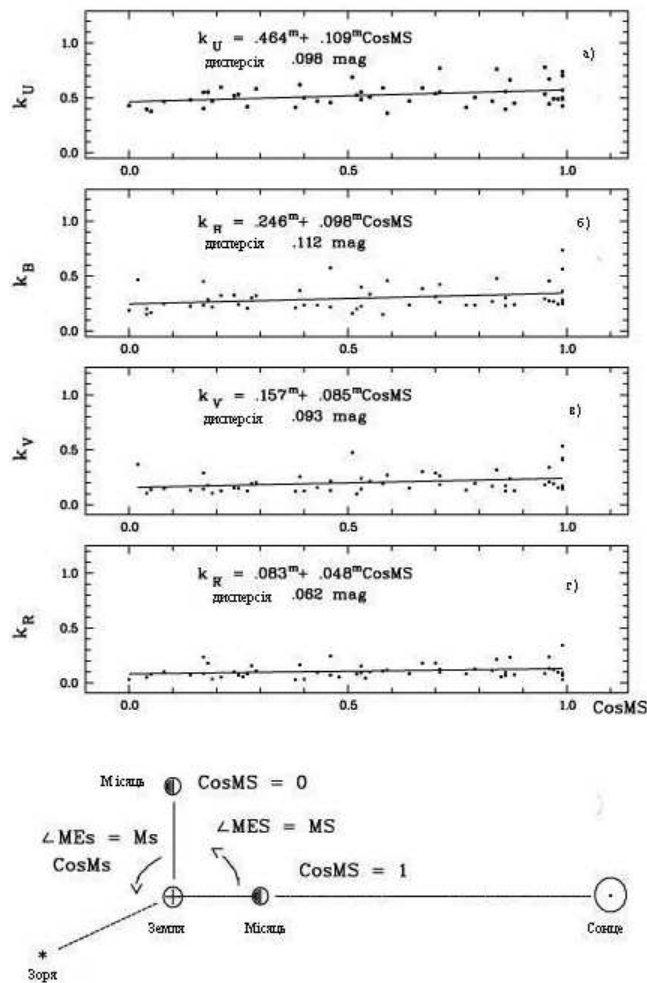


Рис. 3. Зміна головних коефіцієнтів екстинкції k_U , k_B , k_V , k_R (а, б, в, г) для піка Терскол залежно від просторового розміщення Місяця, Землі і Сонця. Значенню кута між Місяцем, Землею та Сонцем $\text{MES} = 0^\circ$ (нижня частина рисунка) відповідають сагітальні гравітаційні припливи, коли $\text{CosMS} = 1$.

III. ЗВ'ЯЗОК ЕКСТИНКЦІЇ З ГРАВІТАЦІЙНИМ МІСЯЧНО-СОНЯЧНИМ ПРИПЛИВОМ

За період 1987–1991 рр. під час виконання програми спостережень на піку Терскол для 50 ночей були визначені головні коефіцієнти екстинкції згідно зі системами редукційних рівнянь (1). Кожну окрему ніч при обробці даних розглядали як незалежний ряд спосте-

режень. На рис. 3 показано зміну головних коефіцієнтів екстинкції k_U , k_B , k_V , k_R (а, б, в, г) для піка Терскол залежно від просторового розміщення Місяця, Землі й Сонця. Значенню кута між Місяцем, Землею та Сонцем $\angle \text{MES} = 0^\circ$, $\text{CosMS} = 1$ (рис. 3, знизу) відповідають сагітальні гравітаційні припливи. Оскільки заповнення статистичними точками (значеннями коефіцієнтів екстинкції) інтервалу по осі абсцис (кут із Землі між напрямком на Місяць і Сонце) майже рів-

номірне від 0 до 1, то функціональний зв'язок між коефіцієнтами екстинкції та CosMS може бути достовірним.

Не було змоги розділити ночі з однаковим тиском чи температурою для певного сезону. Атмосферний тиск та локальний характер погоди (зона циклону чи антициклону) не реєстрували з технічних причин. Тобто функціональний зв'язок прозорості атмосфери Землі стосовно просторової конфігурації Місяця та Сонця спотворений іншими погодними чинниками, які впливають на астроклімат. Наявний функціональний зв'язок коефіцієнтів екстинкції з косинусом кута Місяць, Земля, Сонце (CosMS) для астропункту Терскол має такий вигляд:

$$\begin{aligned} k_U &= 0.464^m + 0.109^m \text{CosMS} \pm 0.098^m, \\ k_B &= 0.246^m + 0.098^m \text{CosMS} \pm 0.112^m, \\ k_V &= 0.157^m + 0.085^m \text{CosMS} \pm 0.093^m, \\ k_R &= 0.083^m + 0.048^m \text{CosMS} \pm 0.062^m. \end{aligned}$$

Числові значення множників перед CosMS і є характеристикою атмосферних гравітаційних місячно-сонячних припливів.

Зроблено спробу виявити прояв гравітаційних місячно-сонячних припливів в атмосфері Землі про-

тягом ночі. Цей прояв повинен набувати максимального значення під час сагітальних припливів у місцеву північ. Для ночі спостережень 27/28 грудня 1989 р. значення CosMS = 0.998 відповідає сагітальному припливу. Після корекції спостережуваних даних цієї ночі за термічний градієнт на початку спостережень знову утворено кореговані різниці зоряних величин. Хід цих різниць щодо просторового кута між напрямком на спостережувані зірки і лінією Місяць-Земля показано на рис. 4.

Формальний розв'язок систем рівнянь типу:

$$\begin{aligned} k_U &= a_1 + b_1 \text{CosMs}_i + c_1 (\text{CosMs}_i)^2, \\ k_B &= a_2 + b_2 \text{CosMs}_i + c_2 (\text{CosMs}_i)^2, \\ k_V &= a_3 + b_3 \text{CosMs}_i + c_3 (\text{CosMs}_i)^2, \\ k_R &= a_4 + b_4 \text{CosMs}_i + c_4 (\text{CosMs}_i)^2 \end{aligned}$$

дає значення для амплітуд $a_1 = 0.012^m$, $a_2 = 0.021^m$, $a_3 = 0.013^m$, $a_4 = 0.035^m$, тобто величину декількох сотих зоряної величини (штрихові лінії на рис. 4). Необхідно відзначити, що настання максимуму непрозорості атмосфери внаслідок сагітального припливу настає через 2 ÷ 3 години після півночі (CosMS = 0.5 ÷ 0.6, кут запізнення становить 30° ÷ 35° або 2 ÷ 3 години).

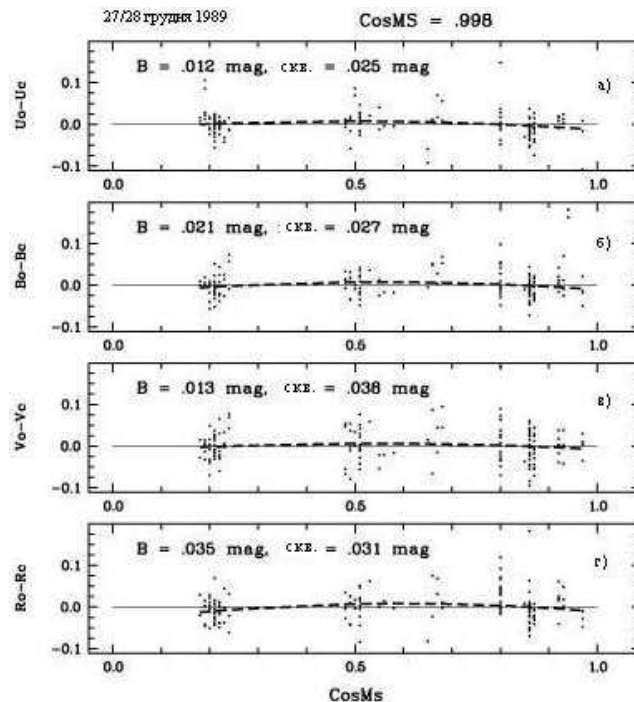


Рис. 4. Фотометричні різниці, виправлені за дрейф із часом, для чотирьох U, B, V, R смуг системи Джонсона стосовно кута CosMS між лінією Місяць, Земля і напрямком на спостережувані зірки.

IV. ВИСНОВКИ

Унаслідок виконаної роботи можна зробити такі обережні висновки, для підтвердження яких необхідні спеціальні спостереження:

1. Методами фотоелектричних спостережень зареєстровано прояв термічного сонячного припливу в атмосфері Землі. У візуальній ділянці спектра термічний сонячний приплив збільшує коефіцієнти екстинкції на 0.02 ÷ 0.05 зоряних величин. Тривалість охолодження

атмосфери після настання ночі для зимового сезону становить близько двох з половиною годин.

2. Коефіцієнти екстинкції, визначені зі спостережень на піку Терскол, показують функціональний зв'язок

із косинусом кута між Місяцем, Землею і Сонцем.

3. Імовірно, настання максимуму непрозорості атмосфери внаслідок сагітального припливу наступає через 2÷3 години після півночі.

-
- [1] С. Чепмен, Р. Линдзен, *Атмосферные приливы термические и гравитационные* (Мир, Москва, 1972).
 [2] А. Ф. Пугач, Г. У. Ковальчук, *Переменные звезды* **22**, № 1, 1 (1983).
 [3] В. Н. Андрук, *Кинем. физ. небес. тел* **12**, 60 (1996).
 [4] Ю. Спераускас, *Бюлл. Вильнюс. астрон. обсерватории* № 38, 16 (1974).
 [5] Ю. Спераускас, Р. Калитис, *Бюлл. Вильнюс. астрон. обсерватории* № 49, 13 (1978).

THE RELATION BETWEEN EXTINCTION AND ATMOSPHERIC TIDES

V. Andruk¹, G. Butenko², V. Kostyuchenko¹, L. Svachij¹

¹*Main Astronomical Observatory, NAS Ukraine
 27, Zabolotny St., Kyiv, UA-03680, Ukraine*

²*International Center for Astronomical, Medical, and Ecological Research
 31, Zabolotny St., Kyiv, UA-03680, Ukraine
 e-mail: andruk@mao.kiev.ua, butenko@mao.kiev.ua*

We consider the question whether the opacity of the Earth's atmosphere is regularly increased with respect to solar and lunar-solar tides in it. The data of photoelectric observations in the UBVR system made at the Terskol Peak Observatory ($\lambda = 2^h 49^m 59.854^s$, $\varphi = 43^\circ 16' 34.72''$, $h = 3100$ m) in 1987–1991 are used. Changes in values of the main coefficients of extinction with time are analyzed. The amplitudes of evening thermal tide in relation to the mean value are $0.03 \div 0.05^m$. They describe increased opacity of the atmosphere. The variation in the main coefficients of extinction with spatial configuration of the Sun, Moon, and Earth is also analysed. During sagittal tides, the values of the extinction coefficients can be 5–10% greater than their mean values.