

# ВПЛИВ АТМОСФЕРИ НА ВІДДАЛЕМІРНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ШТУЧНИХ СУПУТНИКІВ ЗЕМЛІ

**І.В.Швалагін, Н.І.Каблак, В.У.Клімік, М.Т.Миронов,  
М.М.Осипенко**

Ужгородський державний університет, 88000, Ужгород, вул.Далека,2а

Робота присвячена проблемі підвищення точності врахування впливу земної атмосфери на результати денних віддалемірних спостережень штучних супутників Землі. За одержаними впродовж року даними денних аерологічних зондувань в регіоні України та в Будапешті, використовуючи сферично симетричну та несферичну моделі атмосфери, визначено поправки, їх просторово-часові варіації. Проведено оцінку та аналіз моделей редукцій за атмосферу, рекомендованих МСОЗ для обробки віддалемірних спостережень ШСЗ. Удосконалено модель редукцій за атмосферу на основі виявлених регіональних і локальних особливостей впливу атмосфери на лазерні та радіовіддалемірні спостереження ШСЗ.

У зв'язку із функціонуванням МСОЗ, виконанням міжнародних програм "Динаміка твердої Землі", ВЕГЕНЕР-МЕДІАС, Державної програми "Створення та розвиток служби єдиного часу і еталонних частот України" та інших, а також підвищенням інструментальної точності віддалемірних спостережень штучних супутників Землі до 1-5 мм одним із актуальних завдань є оцінка і удосконалення моделей атмосферних редукцій при аналізі та інтерпретації астрономо- геодезичних спостережень.

В роботі виконано аналіз і оцінку впливу атмосфери на лазерні і радіовіддалемірні спостереження ШСЗ в регіоні України та в Будапешті за даними денних аерологічних зондувань атмосфери. При цьому досліджено регіональні та локальні особливості моделей редукцій за атмосферу.

При виконанні досліджень одержано такі основні результати:

1. Вивчено і проведено аналіз впливу атмосфери, в кожній точці якої індекс

рефракції  $N$  представлений функцією сферичних координат. Це дозволило оцінити окремо вплив сферично-симетричної атмосфери і горизонтальних градієнтів при лазерних спостереженнях ШСЗ. [1,2]

Для сферично- симетричної атмосфери обчислено поправки у відстань до ШСЗ  $\Delta r$ , як суми поправок за зміну швидкості поширення лазерного випромінювання  $\Delta r_{1s}$  і викривлення траєкторії із-за рефракції  $\Delta r_2$  (геометричної поправки).

Обчислення поправки  $\Delta r$  проводилось для  $\lambda = 0.694 \text{ мкм}$  і  $\lambda = 0.532 \text{ мкм}$  при  $z = 0^\circ, 35^\circ, 55^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ$  з використанням 468 миттєвих метеопараметрів ( $P, T, W$ ).

Зондування атмосфери проводилось до висоти 25-35 км протягом року в п'яти пунктах регіону України і в Будапешті практично в одні і ті ж моменти часу (12<sup>h</sup>UT) в ясні дні- (хмарність менша 2 балів).

Випадкова похибка обчислення  $N$  не перевищує 0.5  $N$ - од., а похибка обчислення поправки  $\Delta r$ , що зумовлена похибками вимірювання метеопараметрів,

становить біля 2 мм при  $z=0^\circ$  і 9 мм при  $z=80^\circ$ . Поправка  $\Delta\rho_{1s}$  в середньому для регіону України становить 2.340м при  $z=0^\circ$  і 13.090м при  $z=80^\circ$ . Середні річні значення  $\Delta\rho_{1s}$  вдень є меншими, ніж вночі, що слідує із залежності індекса рефракції від температури. Значенням  $\Delta\rho_s$  притаманні сезонні коливання з амплітудою (6-8) см. Ці коливання обумовлені сезонними варіаціями метеопараметрів і залежать від географічного розташування пункту аерологічного зондування. Значення  $\Delta\rho_{1s}$  залежать від висоти пункту спостереження над рівнем моря  $h$ , тобто зменшується із збільшенням висоти  $h$ .

Геометричну поправку  $\Delta\rho_2$ , при сучасних вимогах до точності вимірювань, потрібно враховувати при редукції нічних і денних лазерних спостереженнях ШСЗ. Значення  $\Delta\rho_2$  при  $z=80^\circ$  для регіону України набуває середнього значення приблизно 3 см. Середньоквадратичне відхилення  $\Delta\rho_2$  від середнього за рік не перевищує 2 мм при  $z=80^\circ$ .

2. МСОЗ для обчислення величини впливу атмосфери при лазерних спостереженнях ШСЗ рекомендує формулу Маріні-Мюррей. Вона одержана для сферично-симетричної моделі атмосфери і дає повну поправку  $\Delta\rho^m = \Delta\rho_{1s} + \Delta\rho_2$ . Виконано перевірку точності формули Маріні-Мюррей на основі 468 денних миттєвих значень аерологічного зондування атмосфери в регіоні України. Встановлено, що формула Маріні-Мюррей дає завищене значення поправки  $\Delta\rho^m$ . Причому величина зміщення вдень у 1,5-2 рази більша, ніж вночі. Для  $\lambda=694.3\text{нм}$  в середньому вона становить 0.38 см при  $z=0^\circ$  і 2.7см при  $z=80^\circ$ . Випадкова похибка  $\Delta\rho^m$  становить від 1мм при  $z=0^\circ$  і до 7 мм при  $z=80^\circ$ . Проведено уточнення формули Маріні-Мюррей для регіону України шляхом врахування регіональних та локальних особливостей атмосфери. Знайдено уточнені значення коефіцієнтів у формулі

Маріні-Мюррей з урахуванням локально - топографічних особливостей для кожного досліджуваного пункту зокрема, і для регіону України в цілому. Величина зміщення при  $z=70^\circ$  зменшилась у 4 рази. Отож для підвищення точності врахування впливу земної атмосфери на результати лазерної віддалеметрії в регіоні України можна рекомендувати уточнену формулу Маріні-Мюррей. [2]

3. За даними денних синхронних аерологічних зондувань атмосфери протягом року в 5 пунктах України, розташованих на відстані 150-200 км один від одного, визначено великомасштабні горизонтальні градієнти рефракції  $\Delta\rho_g$  для різних висот  $h$  над землею поверхнею і оцінено їх вплив на лазерні спостереження ШСЗ. Опорним пунктом вибрано Львів. Горизонтальні градієнти індекса рефракції обумовлюють систематичну похибку. Тому виникає необхідність введення поправки  $\Delta\rho_g$  у відстань, що залежить від горизонтальних координат і азимута ШСЗ. Поправка  $\Delta\rho_g$  має синусоїдальну залежність від азимуту, в середньому дорівнює (2.5-3.0) см при  $z=70^\circ$  та зменшується до кількох міліметрів поблизу зеніта. Межі зміни значень горизонтальних градієнтів рефракції при денних спостереженнях ШСЗ у 2-3 рази більші, ніж при нічних.

4. Дослідження затримки радіосигналу  $\Delta\rho$  при поширенні в земній атмосфері та її врахування при проведенні високоточних віддалемірних спостережень ШСЗ все ще залишається актуальним. Труднощі виникають при визначенні поправки на відстань внаслідок зміни вмісту парів води в атмосфері.

В роботі представлено результати дослідження впливу нейтральної атмосфери на радіовіддалемірні спостереження ШСЗ. Обчислення проводились за даними 260 денних миттєвих аерологічних профілів метеопараметрів в 5 пунктах регіону України при  $z=0^\circ, 35^\circ, 55^\circ, 70^\circ, 75^\circ$ . В середньому для регіону України  $\Delta\rho$  при  $z=0^\circ$  становить (2.29-2.38) см і зростає із

збільшенням зенітної відстані. При  $z=75^\circ$   $\Delta\rho$  досягає (8.84-9.93)см. Поправка за вміст водяної пари у атмосфері  $\Delta\rho_p$  у всіх пунктах не перевищує (4-5)% від сумарної поправки  $\Delta\rho$ , але вплив на визначення відстані до ШСЗ є суттєвим із-за значних просторово- часових варіацій. Так, у всіх досліджуваних пунктах в зимовий період, коли температура повітря є низькою, а отже, парціальний тиск водяної пари теж малий,  $\Delta\rho_p$  при  $z=75^\circ$  становить (0.1-0.2) м, і навпаки, влітку, завдяки високій температурі нижніх шарів атмосфери,  $\Delta\rho_p$  становить (0,7-0,9) м. Похибка обчислення поправки  $\Delta\rho$  методом чисельного інтегрування становить біля 2 мм в зеніті. Необхідно відмітити, що не виявлено залежності поправки  $\Delta\rho_p$  від висоти пункту над рівнем моря, що свідчить про локальні особливості вологості атмосфери. Для дослідження вкладу різних прошарків атмосфери в поправку  $\Delta\rho_p$  за даними аерологічного зондування в усіх досліджуваних пунктах обчислено значення індекса рефракції та парціального тиску на різних висотах  $h$  атмосфери. Це дало можливість визначити в кожному пункті протягом року висоти  $h_b$ , починаючи з яких впливом водяної пари можна нехтувати. Для Києва висота  $h_b$  протягом року коливається в межах (8.5-13) км, а для Львова (7-15)км. Отже, висота  $h_b$  є не постійною, носить локальний характер.

5. В роботі представлено аналіз значення поправок, обчислених на основі термодинамічних співвідношень  $\Delta\rho_p^T$ , по моделі Хопфільда  $\Delta\rho_p^{ХП}$  і по миттєвих профілях метеопараметрів в п'яти досліджуваних пунктах України. Між модельним представленням поправки ( $\Delta\rho_p^T$ ,  $\Delta\rho_p^{ХП}$ ) та значеннями  $\Delta\rho_p$ , одержаними на основі миттєвих профілів метеопараметрів, зміщень немає, але є значні розходження. Так, при  $z=75^\circ$  максимальні розходження ( $\Delta\rho_p - \Delta\rho_p^T$ ) становлять приблизно  $\pm 16$  см, а при  $z=0^\circ$  ці різниці поправок досягають  $\pm 4$  см. Такі

розходження пояснюються локальними особливостями атмосфери. [3,4,5]

В термодинамічній моделі приймається, що висотний хід вмісту водяної пари описується експоненціальною залежністю, де коефіцієнт  $\alpha$  приймається сталою величиною ( $\alpha=-0.42\text{км}^{-1}$ ). За реальними миттєвими профілями метеопараметрів в усіх досліджуваних пунктах в кожній точці зондування атмосфери до висоти  $h=16\text{км}$  були визначені значення коефіцієнта  $\alpha$  експоненціальної залежності питомої вологості повітря із висотою.

Із аналізу результатів видно, що до висоти  $h_i=8\text{км}$  спостерігаються великі зміни  $\alpha$  (від  $-0,14$  до  $+0.93\text{км}^{-1}$ ). Лише на висотах  $h=8-11\text{км}$  значення  $\alpha$  достатньо стабільні і становлять приблизно  $0,42\text{ км}^{-1}$ . Досліджено, що, використовуючи реальні значення коефіцієнта  $\alpha$  у атмосфері, термодинамічна модель дозволяє визначити  $\Delta\rho_p^T$  при  $z=75^\circ$  з точністю  $\pm 5\text{мм}$ . [4]

Отже, в результаті роботи: підвищено точність врахування впливу атмосфери на результати денних віддалемірних спостережень ШСЗ в регіоні України шляхом врахування регіональних та локальних особливостей атмосфери.

Результати досліджень можуть бути використані:

а) при обробці віддалемірних спостережень ШСЗ в пунктах створюваної міжвузівської мережі лазерно-локаційних станцій в регіоні України;

б) при дослідженні регіональних і локальних особливостей атмосфери для одержання моніторингу вологості компоненти.

1. N.Mironov, I.Shvalagin, N.Kablak. Validation of the IERS standard tropospheric model // Earth rotation, reference systems in geodynamics and solar system.-Varshava, 18-19 September 1995.- pp.161-164.

2. М.Т.Миронов, Н.І.Каблак. Вплив атмосфери на вимірювання відстаней при денних лазерних спостереженнях ШСЗ.// Кинематика и физика небесных тел.- 1998.- т.14,№1. - с.77-81.
3. Н.І.Каблак, М.Т.Миронов. Вплив парів води в атмосфері на радіовіддалемірні спостереження ШСЗ // Кинематика и физика небесных тел.- 1998. -т.14, №3. -с.288-291.
4. І.В.Швалагін, Н.І.Каблак, М.М.Осипенко. Моделювання вмісту водяної пари в атмосфері.// Науковий вісник УжДУ. Серія:Фізика.- 1998.- №3, -с.70-74.
5. N.Kablak. The influence of atmosphere into radiorangefinder observation of Artificial Earth Satellites (AES)// Odessa astronomical publications.- 1996. - vol.9.- p.132-133.

## **INFLUENCE OF THE ATMOSPHERE ON THE DISTANCE RANGING OBSERVATIONS OF THE EARTH ARTIFICIAL SATELLITES**

**N.I.Kablak, V.U.Klimik, M.T.Mironov, I.V.Shvalagyn,  
M.M.Osipenko**

Uzhgorod State University

This paper is devoted to the problem of accuracy increasing in allowing for Earth's atmosphere influences on results of daily ranging observation of the Earth artificial satellites. Atmosphere delays and their spatial-timely variations for spherical-symmetrical and nonspherical models of atmosphere were determined radiosounding data gathered during a year in a regions of Ukraine and Budapest using. Developed valuing and analysis of models reductions to over of atmosphere, which recommended of IERS for processing distance ranging observation of the Earth artificial satellites. Investigated and improved models of reductions to over of the atmosphere on the basis of discovered regionals and local peculiarities of influence atmosphere on the laser and radio ranging observations of the of the Earth artificial satellites.