

**ФУР’Є-АНАЛІЗ ВИЗНАЧЕНЬ ПОПРАВОК ЧАСУ (UT1R-UTC)
ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЛАЗЕРНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ШСЗ**

© Цюпак І.М., 2002

Стаття посвячена Фур’є-анализу поправок времени (*UT1R-UTC*), а также избытка продолжительности суток, полученных различными организациями из обработки лазерных наблюдений ИСЗ “ЛАГЕОС”, полученных в рамках основной наблюдательной кампании МЕРИТ. Сравнение результатов анализа свидетельствует о хорошем согласии решений между собой, а также с данными Международного бюро времени (ВІН).

The paper is analyzed by Fourier series of (*UT1R-UTC*) were determining by different analysis' centers (CSR, DGFI, ZIPE, LPI) based on SRL data. Conclusion is a good coordination of results between themselves and also with ВІН's data.

Різниці часу (*UT1-UTC*) до кінця 70-х років ХХ ст. визначалися Міжнародним бюро часу (ВІН) винятково з астрометричних спостережень. Пізніше поступово і щораз більшою мірою на комбінований розв’язок рядів (*UT1-UTC*) мали вплив спостереження радіоінтерферометрії з наддовгою базою (*VLBI*). За результатами лазерних спостережень ШСЗ ЛАГЕОС, виконаними в період основної кампанії МЕРИТ, також були визначені ряди різниць всесвітнього часу (*UT1R-UTC*) одним з міжнародних центрів аналізу даних – Center Space Research (CSR) [7]. Ряди різниць (*UT1R-UTC*) за тими ж вимірами визначені і в роботі [3] за допомогою програмного пакета ГЕОРАН [2]. Нижче здійснюється якісний аналіз рядів різниць (*UT1R-UTC*).

Ряди різниць всесвітнього часу (*UT1R-UTC*) були апроксимовані рядом Фур’є з базовим річним періодом з врахуванням вікового дрейфу a_1 , а саме:

$$(UT1R-UTC) = a_0 + a_1 t_A + a_A \cos(2\pi t_A) + b_A \sin(2\pi t_A) + a_{sA} \cos(4\pi t_A) + b_{sA} \sin(4\pi t_A) + a_{sn} \cos(6\pi t_A) + b_{sn} \sin(6\pi t_A), \quad (1)$$

де a_A , b_A , a_{sA} , b_{sA} , a_{sn} , b_{sn} – відповідно коефіцієнти річного, піврічного і сезонного періодів коливань різниць (*UT1R-UTC*); t_A – аргумент функції, виражений в одиницях річного періоду.

У табл. 1 наведені результати апроксимації рядів різниць шкал часу (*UT1R-UTC*) для даних ВІН “Circular D” [4] та визначених з обробки лазерних спостережень ШСЗ Лагеос в CSR (США) [7] і розв’язку, отриманого в роботі [3]. У розв’язку ERP(CSR)85L07 є два ряди

різниць ($UT1R-UTC$): визначені за лазерними відстанями та ті самі значення, виправлені за допомогою спостережень VLBI. Відповідно до цього у табл. 1 і 2 по два рядки з результатами апроксимації розв'язку ERP(CSR)85L07. З табл. 1 видно, що різниці часу, визначені у розв'язку ERP(CSR)85L07, мають деякий систематичний зсув від даних *ВІН*, а їх корекція за даними VLBI збільшує цей зсув.

Таблиця 1

Результати апроксимації різниць ($UT1R-UTC$) рядом Фур'є

Розв'язок	$\sigma_{\text{грр}}$ мс	a_0 мс	a_1 мс/рік	Річний		Піврічний		Сезонний	
				a_A	b_A	a_{sA}	b_{sA}	a_s	b_s
ВІН	2,69	607,26 ±65	-601,72 ±99	24,79 ±43	14,76 ±48	14,02 ±42	4,07 ±42	-1,76 ±41	0,35 ±42
(CSR)85L07	2,53	607,57 ±61	-601,97 ±94	24,88 ±41	13,51 ±46	13,43 ±40	3,34 ±39	-1,78 ±39	0,32 ±40
(CSR)85L07	2,56	607,99 ±62	-601,82 ±95	24,54 ±41	14,08 ±46	13,48 ±40	3,78 ±40	-1,60 ±40	0,18 ±40
(LPI)86L04	2,69	607,25 ±65	-601,71 ±99	24,79 ±43	14,77 ±48	14,00 ±42	4,08 ±42	-1,76 ±41	0,36 ±42

Таблиця 2

Обчислені амплітуди і фази коливань різниць ($UT1R-UTC$) для різних періодів (амплітуди у мілісекундах)

Розв'язок	Річний		Піврічний		Сезонний	
	Ампл.	Фаза	Ампл.	Фаза	Ампл.	Фаза
ВІН	28,85	329°14'	14,60	343°48'	1,80	191°17'
(CSR)85L07	28,31	331°29'	13,84	344°22'	1,81	190°05'
(CSR)85L07	28,29	330°09'	14,00	344°22'	1,61	186°32'
(LPI)86L04	28,86	329°13'	14,59	343°46'	1,79	191°33'

Необхідно зазначити, що розв'язок ERP(LPI)86L04, отриманий на основі запропонованого в роботі [3] алгоритму, при існуючих різницях в значеннях ($UT1R-UTC$) з даними *ВІН*, виявляють, практично, однакові амплітуди і фази коливань значень різниць часу, тобто мають однакові якісні характеристики.

На рис. 1 показані графіки залишкових відхилень рядів різниць ($UT1R-UTC$) після апроксимації виразом (1). Тут видно, що графіки залишкових відхилень *ВІН* і ERP(LPI)86L04 накладаються, а залишкові відхилення розв'язку ERP(CSR)85L07 коливаються відносно них, подібно до даних, обтяжених більшими випадковими похибками. Графіки залишкових відхилень двох рядів різниць часу ($UT1R-UTC$), наведених у розв'язку ERP(CSR)85L07, також накладаються.

Загалом результати апроксимації даних різних організацій добре узгоджені, що свідчить про рівень точності, визначених рядів ($UT1R-UTC$). Також добре узгоджуються обчислені амплітуди і фази періодичних коливань значень різниць часу, які зведені у табл. 2. Отже, з обробки лазерних віддалей до ШСЗ Лагеос можна покращувати різниці часу ($UT1R-UTC$) при їх доброму початковому наближенні.

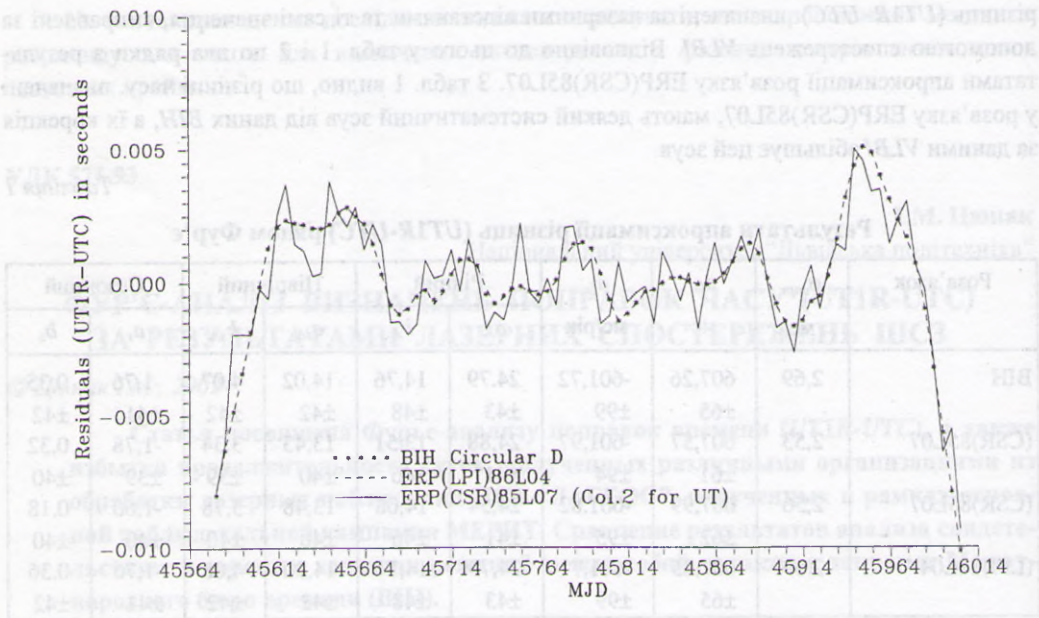


Рис. 1. Залишкові відхилення ($UT1R-UTC$) для даних BIH , LPI і CSR

Для того, щоб научно побачити відмінність рядів різниць часу ($UT1R-UTC$) були обчислені різниці з даними BIH . На рис. 2 і 3 відповідно наведені такі різниці для розв'язків: $(LPI)86L04$ і $(CSR)85L07$. Для даних $(LPI)86L04$ ці залишки не мають явно вираженого періодичного характеру, який, до того ж, скритий випадковими похибками визначення різниць ($UT1R-UTC$), тому що знаходиться на рівні до $\pm 0,0002^s$. Відхилення цього ряду різниць ($UT1R-UTC$) від комбінованого розв'язку BIH не обтяжені коливаннями з періодом Чандлера або річним (рис. 2, 3), але можуть мати короткоперіодичні коливання з невеликою амплітудою (близько $0,0001$ с), затушовані випадковими похибками.

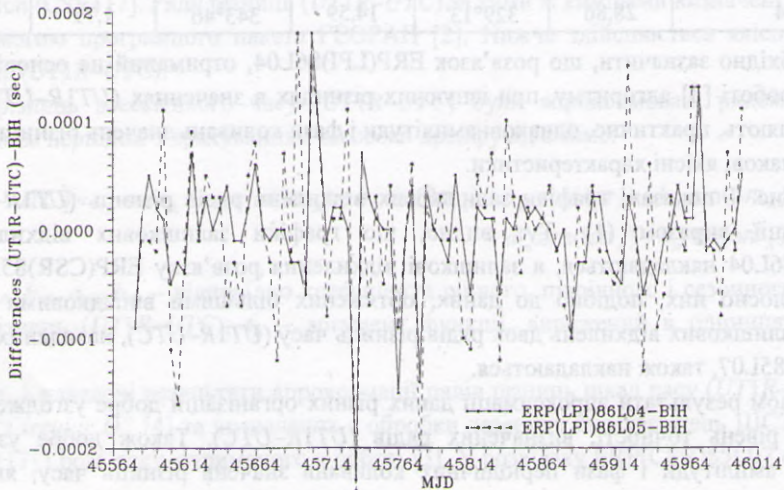


Рис. 2. Залишки різниць часу ($UT1R-UTC$) рядів LPI від даних BIH

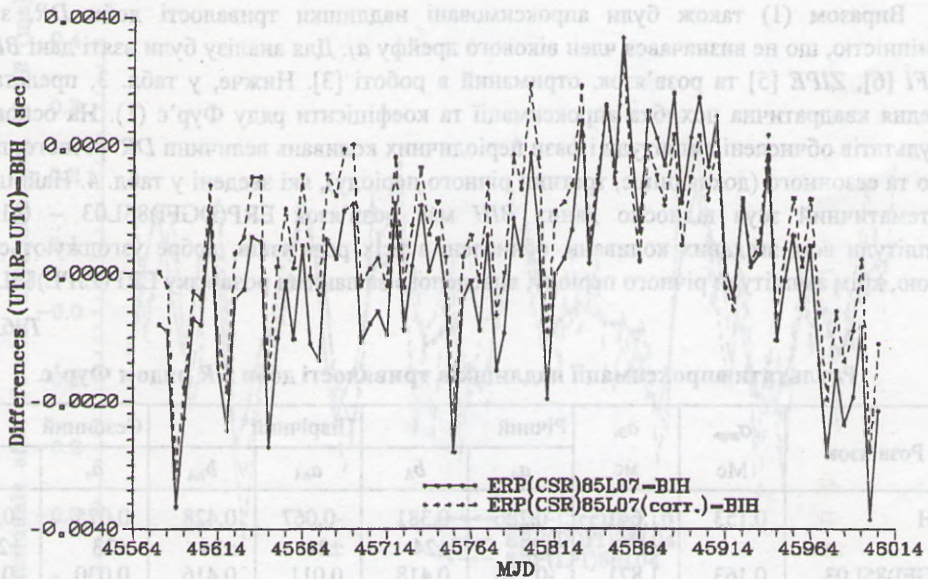


Рис. 3. Залишки різниць часу ($UT1R-UTC$) рядів CSR від даних BIH

Але для даних розв'язку ERP(CSR)85L07 видно періодичні коливання залишків різниць від даних BIH з періодом Чандлера (основної кампанії MERIT) і амплітудою до ± 0.004 с (див. рис. 3 і 4). Тобто останні є, більше ніж на порядок, більшими від залишків розв'язку, отриманого в роботі [3], що можна бачити на рис. 4. Причому різниці часу ($UT1R-UTC$) скориговані даними наддовгої радіоінтерферометрії (VLBI), як видно на рис. 3, відрізняються від таких самих результатів, отриманих за даними лазерної віддалеметрії в основному невеликим систематичним зсувом.

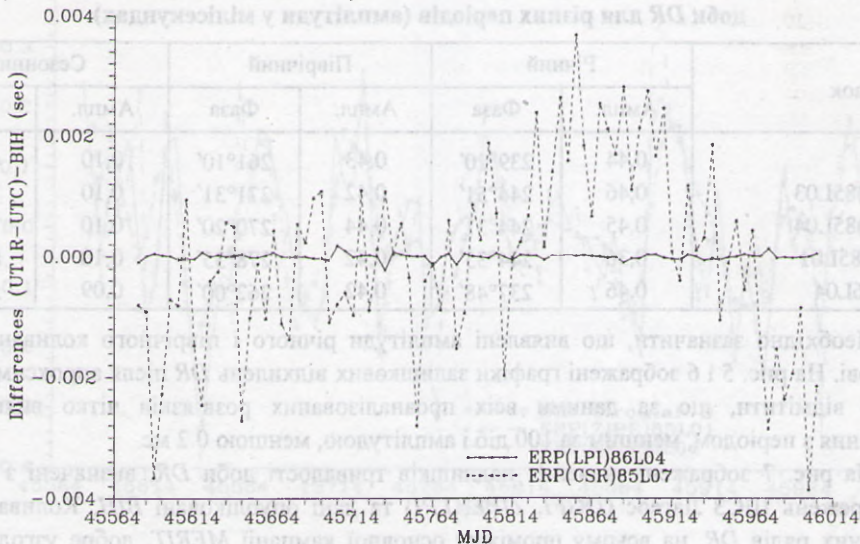


Рис. 4. Залишки різниць часу ($UT1R-UTC$) рядів LPI та CSR від даних BIH

Виразом (1) також були апроксимовані надлишки тривалості доби DR , з тією відмінністю, що не визначався член вікового дрейфу a_1 . Для аналізу були взяті дані BIH [4], $DGFI$ [6], $ZIPE$ [5] та розв'язок, отриманий в роботі [3]. Нижче, у табл. 3, представлені середня квадратична похибка апроксимації та коефіцієнти ряду Фур'є (1). На основі цих результатів обчислені амплітуди і фази періодичних коливань величини DR : річного, піврічного та сезонного (докладніше, третини річного періоду), які зведені у табл. 4. Найбільший систематичний зсув відносно даних BIH має розв'язок $ERP(DGFI)85L03 - 0,18$ мс. Амплітуди всіх згаданих коливань, обчислені з усіх розв'язків, добре узгоджуються між собою, крім амплітуди річного періоду, виведеного за даними розв'язку $ERP(ZIPE)85L01$.

Таблиця 3

Результати апроксимації надлишків тривалості доби DR рядом Фур'є

Розв'язок	$\sigma_{\text{срп}}$ Мс	a_0 , мс	Річний		Піврічний		Сезонний	
			a_A	b_A	a_{nA}	b_{nA}	a_s	b_s
BIH	0,153	1.641 ± 17	-0,226 ± 23	0,381 ± 24	-0,067 ± 24	0,428 ± 24	0,075 ± 23	-0,074 ± 24
$(DGFI)85L03$	0,163	1.821 ± 18	-0,196 ± 25	0,418 ± 26	0,011 ± 26	0,416 ± 25	0,030 ± 25	-0,093 ± 26
$(DGFI)85L04$	0,169	1.632 ± 19	-0,194 ± 26	0,407 ± 27	0,003 ± 27	0,438 ± 27	0,022 ± 26	-0,093 ± 27
$(ZIPE)85L01$	0,155	1.661 ± 17	-0,156 ± 24	0,327 ± 25	0,063 ± 24	0,416 ± 24	0,002 ± 24	-0,101 ± 24
$(LPI)86L04$	0,166	1.653 ± 18	-0,246 ± 26	0,390 ± 27	-0,058 ± 26	0,416 ± 26	0,051 ± 25	-0,077 ± 26

Таблиця 4

Обчислені амплітуди і фази коливань надлишків тривалості доби DR для різних періодів (амплітуди у мілісекундах)

Розв'язок	Річний		Піврічний		Сезонний	
	Ампл.	Фаза	Ампл.	Фаза	Ампл.	Фаза
BIH	0,44	239°20'	0,43	261°10'	0,10	44°49'
$(DGFI)85L03$	0,46	244°51'	0,42	271°31'	0,10	71°59'
$(DGFI)85L04$	0,45	244°31'	0,44	270°20'	0,10	76°25'
$(ZIPE)85L01$	0,36	244°35'	0,42	278°35'	0,10	88°47'
$(LPI)86L04$	0,46	237°48'	0,42	262°00'	0,09	56°33'

Необхідно зазначити, що виявлені амплітуди річного і піврічного коливань майже однакові. На рис. 5 і 6 зображені графіки залишкових відхилень DR після апроксимації. Тут можна відмітити, що за даними всіх проаналізованих розв'язків чітко виявляються коливання з періодом, меншим за 100 діб і амплітудою, меншою 0.2 мс.

На рис. 7 зображені значення надлишків тривалості доби DR , визначені з обробки спостережень ШСЗ Лагеос ($DGFI$, $ZIPE$, LPI) та дані опубліковані BIH . Коливання всіх наведених рядів DR , на всьому проміжку основної кампанії $MERIT$, добре узгоджуються між собою. Але є систематичне зміщення результатів, отриманих в $DGFI$ [6], в бік збільшення величини DR відносно даних BIH [4], і деяке систематичне зменшення надлишків,

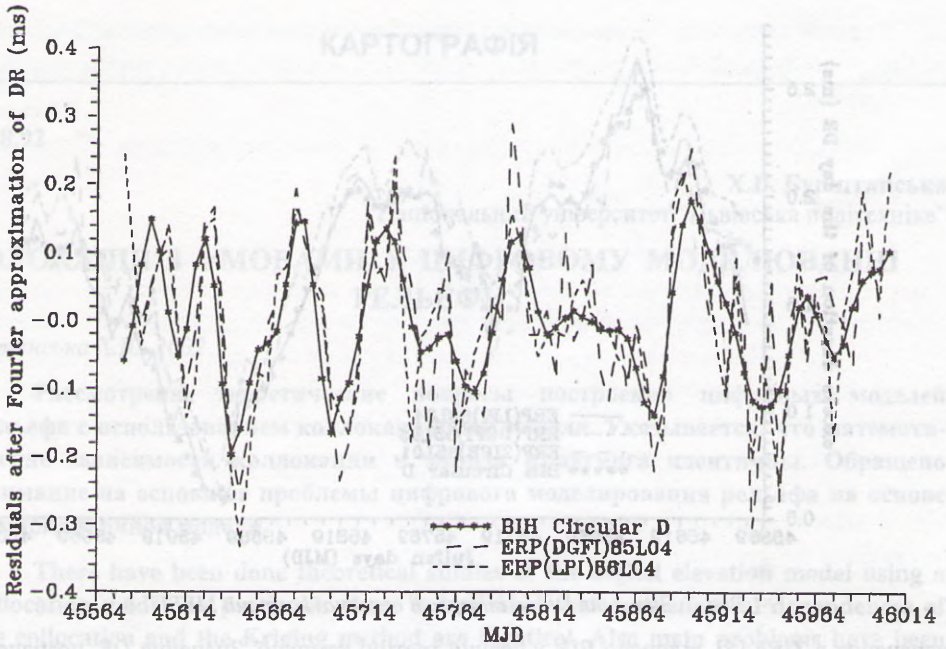


Рис. 5. Залишкові відхилення після апроксимації DR для даних BIH, DGF104 і LPI04

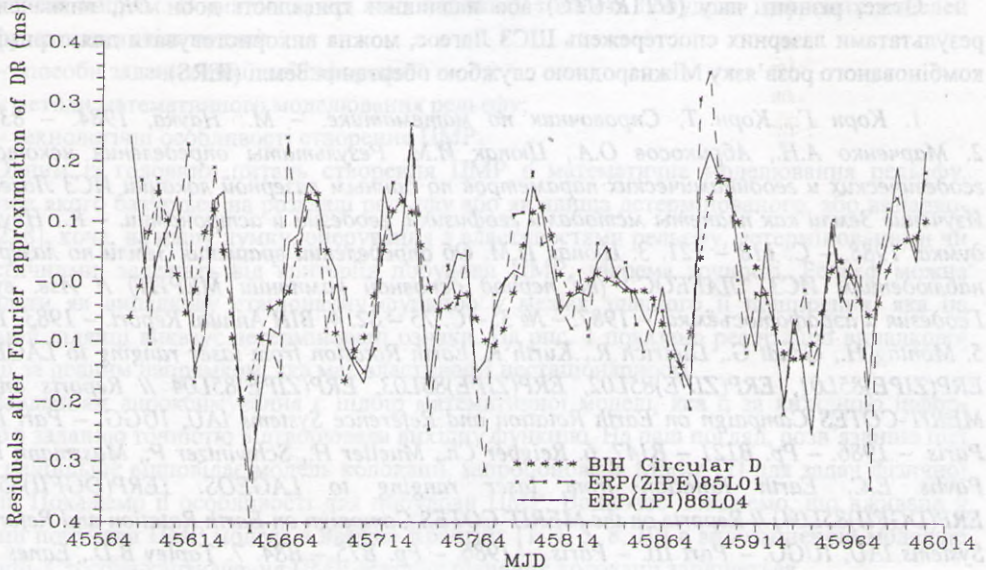


Рис. 6. Залишкові відхилення після апроксимації DR для даних BIH, ZIPE01 і LPI04

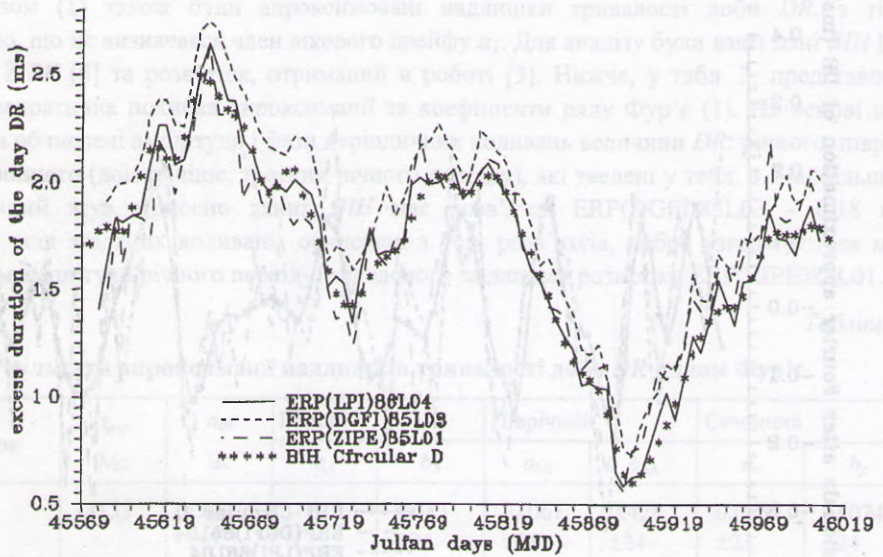


Рис. 7. Значення DR на інтервалі основної кампанії MERIT

визначених в ZIPE [5], відносно BIH у першій третині кампанії. Значення DR, позначені LPI [3], відстежують дані BIH, коливаючись відносно останніх з характерними піками, такими самими як і в даних DGFI [6] та ZIPE [5].

Систематичні зсуви визначених DR, можна пояснити похибками їх початкових значень, в які вводилися визначені поправки. Така ситуація може виникати у випадку, коли надлишки тривалості доби не беруть участі в моделі перетворень координат, а є обчисленими.

Отже, різниці часу (UT1R-UTC) або надлишки тривалості доби DR, визначені за результатами лазерних спостережень ШСЗ Лагеос, можна використовувати для отримання комбінованого розв'язку Міжнародною службою обертання Землі (IERS).

1. Корн Г., Корн Т. *Справочник по математике*. – М.: Наука, 1984. – 831 с.
2. Марченко А.Н., Абрикосов О.А., Цюпак И.М. *Результаты определения некоторых геодезических и геодинамических параметров по данным лазерной локации ИСЗ Лагеос // Изучение Земли как планеты методами геофизики, геодезии и астрономии*. – К.: Наукова думка, 1988. – С. 118 – 121.
3. Цюпак И.М. *Об определении вращения Земли по лазерным наблюдениям ИСЗ "ЛАГЕОС" (на период основной кампании MERIT) // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 1987. – № 3. – С. 75 – 82.
4. BIH Annual Report. – 1983, 1984.
5. Montag H., Gendt G., Dietrich R., Kurth K. *Earth Rotation from laser ranging to LAGEOS: ERP(ZIPE)85L01, ERP(ZIPE)85L02, ERP(ZIPE)85L03, ERP(ZIPE)85L04 // Reports on the MERIT-COTES Campaign on Earth Rotation and Reference Systems IAU, IUGG. – Part III. – Paris. – 1986. – Pp. B121 – B147.*
6. Reigber Ch., Mueller H., Schwintzer P., Massmann F.H., Pavlis E.C. *Earth Rotation from laser ranging to LAGEOS: (ERP(DGFII)85L03, ERP(DGFII)85L04) // Reports on the MERIT-COTES Campaign on Earth Rotation and Reference Systems IAU, IUGG. – Part III. – Paris. – 1986. – Pp. B75 – B84.*
7. Tapley B.D., Eanes R.J., Schutz B.E. *Earth Rotation from laser ranging to LAGEOS: (ERP(CSR)85L07) // Reports on the MERIT-COTES Campaign on Earth Rotation and Reference Systems IAU, IUGG. – Part III. – 1986. – Pp. B67-B73.*