

УДК 523.46-323+521.9-13+523.9-523+521.9(085)

державна реєстрація N 0197U009489

Інв. №

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ГОЛОВНА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ  
252650, Київ-22, Голосіїв



“Затверджую”  
Директор ГАО НАНУ  
академік НАНУ  
Я.С.Яцків  
7 грудня 2000 р.

ЗВІТ

про науково-дослідну роботу  
СТВОРЕННЯ БАЗИ ПОЛОЖЕНЬ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ  
І РОЗРОБКА МЕТОДИЧНИХ ОСНОВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ  
ОБЕРТАННЯ КООРДИНАТНИХ СИСТЕМ У КОСМІЧНОМУ  
ПРОСТОРІ

Керівники НДР  
доктор фіз.-мат.наук

кандидат фіз.-мат.наук

Д.П.Дума  
7 грудня 2000 р.

С.П.Майор  
7 грудня 2000 р.

2000

Рукопис закінчено 7 грудня 2000 р.  
Результати роботи розглянуто Вченою Радою ГАО  
протокол від 7.12.2000 р. №

## СПИСОК ВИКОНАВЦІВ

Керівники НДР

гол. н.с. д.ф.-м. наук

с.н.с. к.ф.-м.наук

н.с. к.ф.-м.н.

н.с. к.ф.-м.н.

н.с. ( на громадських засадах)

м.н.с. к.ф.-м.н.

м.н.с.

м.н.с.

м.н.с.

інж.

інж.

інж

асп.

Д.П.Дума

С.П.Майор

Л.М.Кізюн

О.В.Болотіна

Р.М.Коваль

Л.М.Свачій

О.М.Їжакевич

І.В.Кулик

С.В.Шатохіна

В.В.Головня

М.Р.Нестерук

О.В.Денисюк

В.В.Калюк

## Реферат

Звіт про науково-дослідну роботу: 40 стор., 1 рис., 13 табл., 38 джерел.

Об'єкт дослідження: планети і їх супутники, астероїди, ШСЗ, Сонце.

Мета роботи: визначення положень і використання їх для побудови координатних систем в космічному просторі.

Методи дослідження: вимірювання і астрометрична обробка астронегативів із зображенням тіл Сонячної системи, обчислення сферичних координат за вимірними прямокутними координатами методами фотографічної астрометрії, введення редукцій в координати за вплив атмосферних, інструментальних та інших чинників, статистичний і порівняльний аналіз обрахованих та спостережених положень, теоретичні основи і методики узгодження орієнтації та обертання координатних систем.

Результати дослідження: створена база положень планет, астероїдів, природних та штучних супутників за оригінальними спостереженнями в ГАО НАНУ в системі найбільш точних опорних каталогів зір:

- ◆ знайдені орбітальні параметри та інші характеристики руху штучних об'єктів в геостационарній зоні;
- ◆ виявлені некаталогизовані пасивні і активні геостационарні об'єкти;
- ◆ знайдена оцінка ефекта непрещесійного руху рівнодення за спостереженнями Сонця;
- ◆ вперше виявлена залежність ефекта непрещесійного руху рівнодення від середньодобових рухів (геліоцентричних відстаней) планет;
- ◆ отримані оцінки узгодженості систем координат, реалізованих FK5, ICRS, DE200, DE403;
- ◆ запропонований спосіб узгодження систем координат за спостереженнями малих планет;
- ◆ розроблені рекомендації щодо майбутніх програм спостережень тіл Сонячної системи та щодо дослідження обертання координатних систем.

База положень і отримані результати будуть використані в фундаментальних дослідженнях з кінематики тіл Сонячної системи та при поточній орієнтації і обертання координатних систем в космічному просторі. Перспектива дослідження пов'язана з постановкою спостережень з ПЗЗ приймачами, реалізацією нових спостережувальних програм та обробкою отриманих спостережень з метою отримання нових результатів фундаментального характеру.



## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
<b>РОЗДІЛ 1. БАЗА ПОЛОЖЕНЬ ПРИРОДНИХ І ШТУЧНИХ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ</b>	
1. ПОЛОЖЕННЯ ВЕЛИКИХ ПЛАНЕТ ТА ІХ СУПУТНИКІВ.....	6
Вимірювання астронегативів .....	7
Редукційні обчислення.....	7
Переобробка спостережень Марса, Фобоса, Деймоса за 1963-1988 рр.....	8
Переобробка спостережень, виконаних на рефлекторі Ц-600.....	9
Обробка спостережень супутників Сатурна за 1960-1986 рр.....	11
Голосіївські спостереження Урана, Оберона, Нептуна, Плутона.....	13
Висновки.....	14
2. ПОЛОЖЕННЯ МАЛИХ ПЛАНЕТ.....	15
3. ПОЛОЖЕННЯ СОНЦЯ .....	18
4. ПОЛОЖЕННЯ ГЕОСТАЦІОНАРНИХ ШСЗ.....	20
Спостереження ШСЗ та їх обробка.....	21
Ідентифікація і обчислення орбіт ШСЗ.....	23
Каталоги положень геостаціонарних ШСЗ.....	23
Висновки.....	24
5. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ.....	26
<b>РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ УЗГОДЖЕНОСТІ ОРІЄНТАЦІЇ ТА ОБЕРТАННЯ КООРДИНАТНИХ СИСТЕМ У КОСМІЧНОМУ ПРОСТОРІ.....</b>	<b>27</b>
1. Узгодження і обертання координатних систем, реалізованих каталогами FK4, FK5 і теоріями руху Сонця DE200, DE403.....	28
2. Узгодження каталожної -FK5 та динамічної - DE200 систем координат за спостереженнями астероїдів.....	33
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>35</b>
<b>СПИСОК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>36</b>

## ВСТУП

Координати положень тіл Сонячної системи є необхідною базою для вирішення низки наукових і прикладних задач, зокрема для покращення теорій руху планет і їх супутників, для узгодження орієнтації каталожних і динамічних систем координат, а також для забезпечення запусків і супроводження окремих космічних апаратів. Ось тому в ГАО НАНУ з 1960 р. за спеціальними програмами проводились регулярні спостереження великих планет і їх супутників, переважно вибраних малих планет, високоорбітальних ШСЗ та інших об'єктів. Позиційні спостереження згаданих вище космічних тіл виконані переважно фотографічним способом. За 40-річний період накопичено понад 6 тисяч астронегативів із зображеннями природних і штучних об'єктів Сонячної системи. Частина астронегативів була опрацьована раніше, а визначені положення спостережених тіл опубліковані та передані в центри, які їх використали при реалізації космічних програм. Оскільки визначення положень небесних світил є дуже трудомістким і тривалим процесом, тому понад 1000 астронегативів із зображеннями планет і супутників залишались неопрацьованими за браком часу. За термін виконання теми з них відібрані придатні для вимірювань, а за результатами вимірювань обраховані положення планет і супутників в системах опорних каталогів PPM і АСТ. Крім того, на магнітних носіях інформації накопичені спостереження Сонця за 1901-1982 рр., здійснені на Грінвіцькій та Вашингтонській обсерваторіях. Нарешті, в термін виконання теми проводились регулярні спостереження геостационарних ШСЗ та їх обробка, що надало змогу накопичити базу даних про положення і параметри орбіт біля 200 штучних об'єктів в зоні геостационарних орбіт.

Створена база даних використовувалась для дослідження систематичних похибок спостережень, розробки найбільш ефективних методик визначення координат тіл Сонячної системи та для проведення інших досліджень методичного характеру.

База даних про спостереження Сонця за 1925-1982 рр. використана для дослідження узгодженості і обертання систем координат, які реалізовані каталогами FK5, ICRS і сучасними теоріями руху планет DE200 і DE403.

Результатом виконання теми є наукова продукція у вигляді бази координатної інформації на магнітних носіях для низки природних і штучних тіл Сонячної системи, параметрів узгодженості і обертання сучасних реалізацій динамічної і каталожних систем координат, рекомендацій щодо подальших досліджень з обертання координатних систем та майбутніх програм спостережень, рекомендацій щодо обробки та редуційних обчислень астрометричних спостережень.

## РОЗДІЛ 1. БАЗА ПОЛОЖЕНЬ ПРИРОДНИХ І ШТУЧНИХ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

### 1. Положення великих планет та їх супутників

Спостереження великих планет проводилися протягом 1960-1991 рр. на подвійному довгофокусному астрографі (ПДА,  $D=400, F=5500$ ) та на подвійному ширококутному астрографі (ПША,  $D=400, F=2000$ ) в Голосієві, на подвійному астрографі Цейса (ПАЦ,  $D=400, F=3000$ ) Китабської широтної станції ім.Улугбека, на 600-мм рефлекторі Цейса (Ц-600,  $F=7500$ ) на г.Майданак та в Болівії. Розподіл спостережень по роках та об'єктах подано у табл.1.

Таблиця 1.

Об'єкт	Період	Кількість платівок.		Телескоп	Кількість Положень
		отримані	обробл.		
Saturn Satellites	1963-1990р.	259	150	ПДА, ПША, Ц-600	1100
Uran	1963 -1990	46	22	ПДА, ПША, Ц-600	36
Uran Satellites	1990	46	22	ПДА, ПША, Ц-600	68
Neptun	1963-1990	19	13	ПДА, ПША, Ц-600	25
Triton	1990	9	7	Ц-600	8
Mars, Deimos, Fobos	1963-1988	447	447	ПДА, ПАЦ, Ц-600	942 283 133
Pluto	1979-1989	24	21	ПДА, ПША	21
Всього	1963-1990	795	653		2616



Для зменшення яскравості Сатурна і Марса використовувалися різні методи: ослаблення чутливості емульсії за допомогою фуксину та пінакриптола, зменшення світлового потоку сектором, який обертався перед об'єктивом, різноманітні поглинаючі фільтри та діафрагми, фотографування на одну платівку об'єкта з різними по довжині експозиціями.

#### Вимірювання астронегативів.

З огляду на значний об'єм спостережного матеріалу вимірювання астронегативів здійснювалося на автоматичному вимірювальному комплексі ПАРСЕК. У випадку недостатньої інтенсивності світлового потоку на ПАРСЕК для реєстрації зображень частина платівок з тривалими експозиціями Плутона була виміряна на вимірювальній машині Аскорекорд. Для вимірювання планет і супутників на ПАРСЕК стандартне програмне забезпечення для зір було модернізовано Л.К.Пакуляк.

Методика вимірювання астронегативів з планетами зводилася до наступного. Спочатку для ПАРСЕК створювались вхідні файли, які містили координати усіх зір, які є на платівці. Надалі оператор вимірював попередні координати об'єктів в ручному режимі. Потім ці координати приєднуються до файлу прямокутних координат опорних зір, а вже потім процес вимірювання планет і зір здійснюється в автоматичному режимі. У процесі вимірювання одночасно з координатами  $X$  і  $Y$  були отримані фотометричні оцінки яскравості опорних зір та об'єктів.

Ототожнення об'єктів проводилося за допомогою програми "Супутник", яку в наше розпорядження люб'язно надав М.В.Ємельянов.

#### Редукційні обчислення

Були розроблені і підготовлені алгоритми та програми редукційних обчислень на FORTRAN77. Математична обробка, як правило, була здійснена за рівняннями зв'язку між виміряними та ідеальними координатами з п'ятьома, а якщо кількість опорних зір була великою, то й з шістьома редукційними членами по кожній координаті  $X$  та  $Y$ . В ролі опорних каталогів використані каталоги PPM та АСТ.

На першому етапі редукція здійснювалася по всіх вимірних зорях. Потім відбувалася вибраковка зір з великими відхиленнями за критерієм  $3\sigma$ , а розв'язок рівнянь повторювався знову. Найчастіше до відбракованих потрапляли зорі на краю астронегатива.

Редукція спостережень на рефлекторі Ц-600 при розмірах платівки  $9 \times 12$  см і масштабі  $27.5''/\text{мм}$  ускладнювалася тим, що поля цих платівок досить обмежені. Зорі, які реєструються на малій платівці, в основному слабкі і відсутні в опорному каталозі АСТ. Тому за допомогою спеціальних ширококутних платівок створювалася проміжна опорна система слабких зір. Після цього редукція платівок з малими полями була виконана за лінійною моделлю зв'язку вимірних та ідеальних координат зір, які виміряні на обох астронегативах.

Отримані координати планет і супутників порівнювалися з ефемеридними положеннями JPL, доступ до яких став можливим завдяки системі HORIZONS on-line.

За звітний період обробку спостережень великих планет та їх супутників можна розподілити на чотири етапи:

- 1) переобробка результатів спостережень Марса за 1963-1988 рр в системі найсучасніших каталогів ;
- 2) переобробка всіх спостережень великих планет та їх супутників виконаних на рефлекторі Ц-600 (Майданак);
- 3) повна обробка рядів фотографічних спостережень системи Сатурна , які було отримано в Голосієві у 1960-1986рр. на телескопах ПДА і ПША;
- 4) обробка Голосіївських спостережень Урана, Нептуна, Плутона із супутниками за 1963-1989 рр.

### **Переобробка спостережень Марса, Фобоса, Деймоса за 1963-1988 рр**

Спостереження Марса та його супутників Фобоса і Деймоса були опрацьовані раніше і опубліковані протягом 1965-1990 років (за винятком виконаних в Болівії в опозицію 1988 р.). Усі отримані положення визначені в системах різних за точністю опорних каталогів зір: Yale, SAO, AGK3, FOCAT, каталог Х.Поттера. В останній час з'явилися нові високоточні опорні каталоги зір PPM і АСТ. Тому, спочатку на замовлення НКАУ в межах



контракту "Марс-94/96" була виконана переобробка частини спостережень (1986-1988 рр.) з сучасними каталогами. Потім в рамках даної теми ця робота була завершена. Зараз положення Марса і його супутників приведені до однієї системи FK5 на епоху J2000.0 і до системи ICRF на епоху J2000.0. Використання PPM і АСТ призвело до покращення точності визначуваних положень Марса і супутників. Про перші результати цієї роботи доповідалось на міжнародній науковій конференції "Роль наземної астрометрії в POST-HIPPARCOS період" в Миколаєві в 1996 році, а тези доповіді надруковані в матеріалах конференції [1]. Докладно процедуру переобрахунків наведено в статті [2], в якій для положень Марса, Фобоса, Деймоса також подані оцінки точностей положень з кожним опорним каталогом.

Зокрема, для 856 положень Марса в системі каталога АСТ середнє значення  $(O-C)_\alpha = 0.000^s \pm 0.002^s$  і середня квадратична похибка  $\sigma_\alpha = 0.049^s$ , по другій координаті  $(O-C)_\delta = 0.06'' \pm 0.02''$  і  $\sigma_\delta = 0.46''$ .

Для 112 положень Фобоса оцінки різниць спостережних і обрахованих положень складають  $(O-C)_\alpha = 0.005^s \pm 0.003^s$  і  $\sigma_\alpha = 0.032^s$ ,  $(O-C)_\delta = 0.08'' \pm 0.03''$  і  $\sigma_\delta = 0.31''$ .

Для 242 положень Деймоса  $(O-C)_\alpha = -0.006^s \pm 0.002^s$  і  $\sigma_\alpha = 0.036^s$ ,  $(O-C)_\delta = 0.24'' \pm 0.03''$  і  $\sigma_\delta = 0.45''$ .

Загалом, отримано каталог 942 положень Марса, 283 - Деймоса і 133 - Фобоса в двох системах відліку FK5 на епоху J2000.0 і ICRF на епоху J2000.0. Його розміщено в INTERNET за адресою <http://www.mao.kiev.ua/ast/mphdcat.htm> [3].

## Переобробка спостережень, виконаних на рефлекторі Ц-600

Як зазначалося, для редукції спостережень на рефлекторі Ц-600 спочатку були створені проміжні системи опорних зір за допомогою спеціально сфотографованих для цього платівок на ширококутному телескопі ПАЦ (Китаб). Усього було обраховано три списки зір проміжних опорних систем з різними центрами у різних ділянках неба в залежності від їх призначення. Відомості про це подано у таблиці 2.

Таблиця 2

Призначення	Кількість платівок ПАЦ	Кількість зірок у списку	Ділянка неба
Mars-86	2	83	19.3h- -28.0°
Mars-88	4	110	00.5h- -01.9°
Saturn-90, Neptun-90, Uran-90	2	46	19.6h- -21.6°

Обробка малих платівок здійснювалася за лінійною моделлю. [4-6]. Про результати її можна дізнатися з табл.3.

Таблиця 3

Характеристика обчислених положень об'єктів.

Об'єкт	Кількість положень	(O-C)" $\alpha$	(O-C)" $\delta$	$\sigma$ "
Enceladus (2s)	11	0.16 $\pm$ 0.07	0.31 $\pm$ 0.04	0.25 0.15
Tethys (3s)	38	0.03 $\pm$ 0.06	0.31 $\pm$ 0.04	0.34 0.22
Dione (4s)	36	0.14 $\pm$ 0.04	0.34 $\pm$ 0.04	0.24 0.25
Rhea (5s)	38	0.18 $\pm$ 0.04	0.24 $\pm$ 0.05	0.27 0.29
Titan (6s)	35	0.01 $\pm$ 0.04	0.22 $\pm$ 0.03	0.26 0.19
Hyperion(7s)	7	0.07 $\pm$ 0.17	0.41 $\pm$ 0.19	0.45 0.50
Japetus (8s)	34	0.23 $\pm$ 0.04	0.37 $\pm$ 0.03	0.21 0.18
Ariel	13	-0.19 $\pm$ 0.07	0.07 $\pm$ 0.08	0.48 0.28
Titania	14	-0.33 $\pm$ 0.04	-0.18 $\pm$ 0.03	0.14 0.10
Oberon	14	-0.20 $\pm$ 0.06	-0.13 $\pm$ 0.06	0.22 0.24
Umbriella	6	-0.25 $\pm$ 0.11	-0.11 $\pm$ 0.17	0.27 0.41
Uran	26	-0.17 $\pm$ 0.07	-0.10 $\pm$ 0.04	0.35 0.27
Neptun	13	-0.19 $\pm$ 0.10	0.14 $\pm$ 0.08	0.37 0.27
Triton	8	-0.20 $\pm$ 0.09	-0.15 $\pm$ 0.12	0.25 0.33
Mars-86	50	-0.57 $\pm$ 0.15	-0.38 $\pm$ 0.09	1.05 0.63
Deimos-86	30	-0.21 $\pm$ 0.12	0.41 $\pm$ 0.07	0.68 0.39
Fobos-86	13	-0.09 $\pm$ 0.13	0.41 $\pm$ 0.08	0.46 0.29
Mars-88	139	-0.58 $\pm$ 0.08	-0.08 $\pm$ 0.04	0.96 0.49
Deimos-88	94	0.08 $\pm$ 0.04	0.15 $\pm$ 0.04	0.39 0.42
Fobos-88	120	0.08 $\pm$ 0.06	0.16 $\pm$ 0.04	0.60 0.47

Спостереження на телескопах Ц-600 і на ПАЦ в різні роки виконали С.П.Майор, Е.М.Серета, І.В.Ледовська (Кулик), С.В.Шатохіна, О.М.Іжакевич.

## Обробка спостережень супутників Сатурна за 1960-1986 рр

Фотографічні спостереження Сатурна та його супутників було розпочато в ГАО у 1960 р. на телескопі ПДА, а з 1976 р. і на ПША. Всього за період з 1960 по 1986 рр. було отримано майже 250 платівок.

Всі платівки були переглянуті, з метою відбору якісних зображень. Для вимірювань не використані платівки, на яких виявилися лише зображення планети Сатурн без супутників (внаслідок виявленого раніше значного рівняння блиску). У випадках застосування обертового сектора на платівках взагалі відсутні зображення супутників. Вибракуванню підлягали також платівки, на яких зображення супутника потрапляло під фільтр, або на платівці виявилася недостатня кількість опорних зір. Загалом було відібрано майже 150 платівок, придатних для подальшої обробки.

Нижче наведені прізвища спостерігачів та кількість отриманих ними фотоплатівок за період з 1960 по 1986 рр.

Спостерігач	Кількість платівок
Середа Е.М.	68
Лисякова Р.Ф.	18
Онегіна А.Б.	10
Майор С.П.	9
Іжакевич О.М.	9
Мороз Г.В.	6
Герц Е.О.	4
Філіппов Ю.К.	4
Ледовська І.В.	3

За спостереженнями на ПДА були ототожені такі супутники: Enceladus(2s), Tethus (3s), Dione(4s), Rhea(5s), Titan(6s), Japetus(8s), а на ПША – 3s, 5s, 6s, 8s.

Усі виміри на ПАРСЕК виконала І.В.Кулик (105 пл.). Окрім платівок із спостереженнями за 1980 р., які раніше були виміряні на ASCORECORD Іжакевич О.М. (26 пл.) і опрацьовані в системі АГКЗ [7].

У табл.4 наведені деякі характеристики цих супутників: середня візуальна зоряна величина  $V$ , радіус орбіти супутника в радіусах Сатурна  $r/R$ , максимально можлива відстань супутника від планети в масштабі телескопу ПДА ( $38.47''/\text{мм}$ ) та орбітальний період в добах.



Отримані координати супутників порівнювалися з ефемеридними положеннями JPL, Слід зазначити, що вказана система видає ефемериди для системи Сатурна, починаючи тільки з 1966 р., тому для більш ранніх спостережень (58 положень) не було змоги визначити (O-C).

Таблиця 4.  
Характеристики супутників Сатурна

	V	r/R	Супутник – планета(мм)	Орбіт.період
Супутник				
Mimas 1s	12.9	3.1	0.7	0.9
Encelade 2s	11.8	3.9	0.9	1.4
Tethys 3s	10.3	4.9	1.1	1.9
Dione 4s	10.4	6.3	1.4	2.7
Rhea 5s	9.7	8.7	2.0	4.5
Titan 6s	8.4	20.2	4.7	15.9
Hyperion 7s	14.2	24.6	5.7	21.3
Japetus 8s	10.2-11.9	59.0	13.2	79.3

Результати спостережень та обробки по кожному супутнику подано у табл.5, де, окрім назви супутника, кількості спостережень, подано середні значення (O-C) за увесь період спостережень та похибка цього середнього, а також значення  $\sigma$ .

Таблиця 5.  
Характеристика обчислених положень супутників Сатурна

Супутник	Кількість положень	(O-C)" $\alpha$	(O-C)" $\delta$	$\sigma$ "
Mimas(1s)	4	0.02 $\pm$ 0.22	0.14 $\pm$ 0.19	0.44 0.38
Enceladus(2s)	26	0.18 $\pm$ 0.06	0.07 $\pm$ 0.05	0.31 0.28
Tethys (3s)	81	0.02 $\pm$ 0.04	0.05 $\pm$ 0.03	0.32 0.23
Dione (4s)	83	0.17 $\pm$ 0.03	-0.03 $\pm$ 0.03	0.26 0.29
Rhea (5s)	188	0.16 $\pm$ 0.02	0.02 $\pm$ 0.02	0.26 0.21
Titan (6s)	210	0.17 $\pm$ 0.01	-0.07 $\pm$ 0.01	0.21 0.18
Hyperion(7s)	3	-0.24 $\pm$ 0.10	-0.06 $\pm$ 0.17	0.17 0.29
Japetus (8s)	155	0.09 $\pm$ 0.02	0.06 $\pm$ 0.02	0.30 0.27

## Голосіївські спостереження Урана, Оберона, Нептуна, Плутона

Платівки з зображеннями цих планет та їх супутників були виміряні за допомогою автоматичного вимірювального комплексу АВК ПАРСЕК і на Аскорекорді в разі недостатньої інтенсивності світлового потоку ПАРСЕК для вимірювань тривалих експозицій Плутона. Вимірювання платівок з Ураном і Нептуном не закінчені в зв'язку з поломкою ПАРСЕК и труднощами, пов'язаними з великими від'ємними схиленнями планети, внаслідок чого ПАРСЕК неспроможний наводитись на зірку за умов великих викривлень зоряних зображень. Для обрахунків вимірів було випробувано кілька підходів щодо розміщення і розмірів поля вибраних опорних зір, розташування відносно оптичного центра платівки, вибору редуційної моделі зв'язку виміряних та ідеальних координат. На прикладі кількох платівок з Плутоном обраховані варіанти:

- всі зорі в полі радіусом  $3.5^\circ$  і центром в оптичному центрі (ОЦ) платівки, квадратична редуційна модель зв'язку;

-слабкі ( $>10^m$ ) зорі в полі радіусом  $1^\circ$  і центром в об'єкті, лінійна редуційна модель зв'язку з попереднім введенням в координати поправок за дисторсію (коефіцієнти якої були пораховані в 1-му варіанті і складають  $0.5-0.6 \times 10^{-7}$ );

- всі зорі в полі радіусом  $1.5^\circ$  з центром в об'єкті (як правило їх було 30-40 зір), використовувалась квадратична редуційна модель зв'язку.

Критерієм для вибору найкращого з варіантів були (О-С) та оцінки внутрішньої точності обрахунку координат опорних зір. Найкращим став третій варіант.

Виміряні платівки всі опрацьовані з опорним каталогом зір PPM. Отримані положення планет порівнювали з ефемеридними за допомогою системи HORIZONS on-line, а положення супутника - з ефемеридними за допомогою пакета "СПУТНИК" М.В.Ємельянова (ДАІШ, Росія).<sup>o</sup> Нижче в табл.6 для кожного з об'єктів наведені середні (О-С) та їх середні квадратичні похибки по обох координатах.

Таблиця 6.

Об'єкт	Кількість положень	(O-C) $\alpha$ сек.	(O-C) $\delta$ “	$\sigma_\alpha$ сек.	$\sigma_\delta$ “
Уран	10	-.018	-.01	.039	.64
Оберон	6	.082	-.40	.045	.54
Нептун	6	.046	-.19	.041	.75
Плутон	21	.018	.24	.049	.51

### Висновки

1. Переобробка всіх спостережень з сучасними каталогами PPM і АСТ дала змогу привести всі положення до однієї системи опорного каталога і покращити їх точність за рахунок використання уточнених координат і власних рухів зір з цих каталогів.

2. В результаті виконаних робіт по темі отримано каталог 2616 геоцентричних екваторіальних координат великих планет та супутників в системі сучасного опорного каталога АСТ (1024 положень планет і 1592 положень супутників).

3. Середні значення (O-C), їх похибки та внутрішня точність свідчать про те, що створена в ГАО НАНУ база положень планет і супутників не поступається по точності поданій в каталозі P.R.Stragnell, D.V.Taylor [8]. Вона доповнює суттєво невелику кількість спостережень супутників Сатурна, яка була отримана в світі у 1940-1975рр.

4. Значні відхилення (O-C) від свого середнього значення для 1s, 2s, 3s можуть свідчити про недостатньо високу точність наших вимірювань. Ці супутники знаходяться досить близько до самої планети, тому фон від неї суттєво впливає на визначення середини зображення. Супутники 7s та 8s досить слабкі об'єкти при тих експозиціях, з якими одержано більшість знімків (20-180сек). Великі різниці (O-C) можуть також свідчити про недостатньо точні теорії руху цих супутників.

5. Більш детальний аналіз (O-C) в залежності від періоду спостережень, яскравості супутника та опорних зір, положення супутника на орбіті та його віддаленості від опозиції планується розглянути пізніше. В процесі такого аналізу передбачається використати фотометричні оцінки яскравості, які були отримані у процесі вимірювань.



## 2. Положення малих планет

В 1991 році під час Генеральної асамблеї МАС Комісія 20 МАС схвалила програму позиційних спостережень 15 вибраних малих планет (ВМП) на 1992-2000 роки. Вона є логічним продовженням попередніх програм Д.Брауера і Б.Нумерова та програми спостережень 20-ти ВМП, запропонованої В.І.Орельською (ІТА РАН) на 1976-1990 роки [9].

В Голосієві спостереження астероїдів відповідно до програми В.І.Орельської виконувались методом Блажка. Суть метода полягає в тому, що, як правило, на кожній платівці здійснювалось по три експозиції зі зміщенням труби по схиленню приблизно на 1'. Тривалість кожної експозиції вибиралась в залежності від яскравості планети і становила 3-15 хвилин. Для ототожнення астронегативів і вибору опорних зір спектрального класу F0-K0 використовувалась комп'ютерна версія каталога PPM. Нижче наведені прізвища спостерігачів та кількість отриманих ними платівок за період з 1976 по 1996 рік.

Спостерігач	К-сть платівок
Мороз Г.В.	280
Іжакевич О.М.	133
Середа Є.М.	101
Головня В.В.	66
Майор С.П.	54
Шатохіна С.В.	42
Ледовська І.В.	41

За звітний період 365 астронегативів виміряла В.В.Головня, 10 - С.П.Майор. Вимірювання платівок проводилось на приладах ASCORIS і ASCOREMAT (від 5 до 15 опорних зір) та ПАРСЕК (до 100 опорних зір). При вимірюваннях на АВК ПАРСЕК додатково були отримані фотометричні оцінки яскравості астероїдів та опорних зір, котрі поповнять базу даних вимірювань на АВК ПАРСЕК.

З 1997 по 2000 рік опрацювання спостережень ВМП можна розділити на два етапи:

1. Повна обробка рядів фотографічних спостережень ВМП за 1981-1996 роки.

2. Переобробка попередніх результатів спостережень ВМП до 1981 року з використанням сучасних каталогів.

Обрахунки топоцентричних положень ВМП за 1981-1986рр. було здійснено за рівняннями зв'язку між виміряними та ідеальними координатами з 3-ма редуційними членами по кожній координаті X та Y для вимірян на приладах ASCORIS і ASCOREMAT та з 5-ма і 6-ма редуційними членами для вимірян платівок на АВК ПАРСЕК. Редуція здійснювалась декілька разів: спершу по всіх виміряних зорях, а потім з відбракуванням зір, котрі мали великі відхилення. Відповідно середня похибка одиниці ваги становить  $0.24''$  та  $0.40''$  [10]. Загалом отримано 841 топоцентричних положень ВМП. З цією метою опрацьовано 402 платівки, з яких 75 вибраковано. Кількість опрацьованих астронегативів, а також отриманих положень відповідно по кожній малій планеті і рокам спостережень наведені в табл. 7.

Таблиця 7

База спостережень і положень вибраних малих планет за 1981-1986рр.

Рік /Планета	81	82	83	85	86	87	88	89	91	92	96	К-ть
1 Ceres	5	4	2		4		0					15
2 Pallas		3	8			2	6			3		22
3 Juno	8	8	3		8	9		1	3	1		41
4 Vesta	4	5										9
6 Hebe		6	2		4	18			2			32
7 Iris		5	2			18		2	1		1	29
11 Parthenope	10	4		4	2							20
18 Melpomene	17		2			2	3					24
25 Phocaea		3			0		5		4		2	14
39 Laetitia	6	7			7	5		1	4	1		31
40 Harmonia		5			6	2						13
148 Hallia	10		2	12						2		26
389 Industria	12						1			2		15
480 Hansa			5				3					8
532 Herculina		7			2	2						11
568 Cheruskia	0		3									3
582 Olimpia		2	5									7
704 Interamnia		5		2								7
Платівок	72	64	34	18	33	58	18	4	14	9	3	327
Положень	197	154	64	40	92	161	47	12	48	18	8°	841

Для ілюстрації розбіжності визначених положень з ефемеридними в табл.8 приведені (O-C), обраховані з опорними каталогами PPM та АСТ. Порівняння проводилось з ефемеридою JPL.

Таблиця 8

Різниці спостережених і обрахованих положень для Juno (3)

Платівка	PPM		АСТ	
	(O-C) $\alpha$ ,сек	(O-C) $\delta$ ,"	(O-C) $\alpha$ ,сек	(O-C) $\delta$ ,"
1570	-.029	-.66	-.012	-.10
1569	-.040	-.02	-.022	.55
1570	-.005	-.32	.012	.23
1570	.003	-.36	.020	.20
1577	-.010	-.14	-.002	..28
1578	.013	-.43	.022	-.06
1577	-.013	-.46	-.004	-.08
1578	.010	.00	.023	.39
1577	.014	.34	.024	.81
1578	-.001	-.51	.009	-.13
1587	.003	-.04	.018	.26
1588	.004	.02	.013	.59
1587	-.005	-.38	.016	-.09
1588	.001	-.32	.033	.14
1587	-.010	-.29	.009	-.05
1588	-.008	-.26	.002	.10
Середнє	-.005 $\pm$ .004	-.24 $\pm$ .06	.010 $\pm$ .004	.19 $\pm$ .07

Спостереження астероїдів до 1980 року були опрацьовані і опубліковані протягом 1985-1992 років [11-14]. Отримані положення пораховані в системі різних за точністю опорних каталогів зір: SAO, AGK-3, а з 1980 р. PPM. В 1997 році ці спостереження були приведені до однорідної системи FK5 на епоху J2000.0. Опубліковані раніше депенденси не вдалось використати, тому прийшлося для обрахунків вводити із протоколів обчислень середні значення виміряних координат X та Y. Така операція забрала багато часу, але призвела до поліпшення точності. В результаті отримано 766 топоцентричних положень ВМП в системі каталога PPM.



Для знаходження нев'язок використовувались ефемеридні положення з "Ежедневных эфемерид избранных малых планет" ИТА РАН (до 1981 року спостережень) і з бази NASA, представленої системою HORIZON on-line (з 1982 року спостережень).

Загалом отримано каталог 1607 положень вибраних малих планет за період 1976-1996рр. Каталог буде розміщено в INTERNETі за адресою: <http://www.mao.kiev.ua/ast/asteroid.htm>. Для моментів спостережень за всесвітнім часом приведені топоцентричні екваторіальні координати планет і різниці (O-C) по прямому сходженню і схиленню. Для цих же моментів наведені окремо каталожні (PPM) дані про опорні зірки і їх депенденси.

В 1996 році в ГАО НАНУ був створений банк даних про астронегативи для малих планет [15,16]. Цей банк даних потребує перегляду з метою зміни та доповнення нових даних, які стали надбанням виконаної за тематичним планом обробки спостережень.

### 3. Положення Сонця

База вашингтонських і грінвіцьких меридіанних спостережень Сонця за період 1925-1982 рр. на електронних носіях створена для дослідження узгодженості та обертання координатних систем.

Відомості про інструменти, періоди окремих рядів спостережень, епохи каталогів, опорні каталоги, шкали часу, до яких віднесені моменти спостережень, кількість спостережень представлені в наведеній нижче таблиці.

Виконаний аналіз редуцій в спостереженнях Сонця різних періодів, досліджена доцільність їх введення або причини, по яким ті чи інші редуції не вносились в спостереження, об'рунтовано врахування додатково введених нами редуційних поправок в деякі ряди спостережень Сонця [32].

Обс-торія	Інструмент	Шкала часу	Період спостереж.	Опорний каталог	Епоха Ткат.	Кількість спостережень			
						$\alpha$	$\delta$	$\alpha + \delta$	
<i>Wash</i>	6" TC	UT1	1925-1936	W <sub>25</sub>	1930.0	1581	1666	3246	
			1936-1941	W <sub>150</sub>	1940.0	694	741	1435	
			1935-1944	W <sub>40</sub>	1938.5	1102	1173	2275	
			1941-1949	W <sub>250</sub>	1945.4	825	808	1633	
			1949-1956	W <sub>350</sub>	1952.5	842	835	1676	
	6" TC		ET	1956-1962	W <sub>450</sub>	1959.8	755	774	1529
				1963-1971	W <sub>550</sub>	1968.4	904	869	1773
				1975-1977	$\approx$ FK4	1976.0	328	296	624
				1977-1982	W <sub>1J00</sub>	1979.5	832	780	1612
				Всього вашингтонських спостережень:					
<i>Gr</i>	Airy TC	UT1	1925-1930	$\approx$ 2Gr <sub>25</sub>	1925.0	705	707	1412	
			1931-1940	1Gr <sub>50</sub>	1935.0	911	978	1889	
			1942-1954	3Gr <sub>50</sub>	1947.5	1314	1397	2711	
	Cook TC	TAI	1957-1982	FK4	1969.0	1268	1156	2424	
Всього грінвіцьких спостережень:						4198	4238	8436	
Загальна кількість спостережень:						12060	12179	24239	

Вашингтонські та грінвіцькі спостереження Сонця 1925-1982 рр. приведені до систем фундаментальних каталогів FK4 та FK5. Опубліковані положення спочатку приводились до середніх координат  $(\alpha, \delta)_{B^{FK4}}$  епохи B1950.0 з врахуванням астрономічних сталих, розкладів прецесії, нутації та планетної аберації, які використовувались при побудові вашингтонських та грінвіцьких каталогів. При переході до видимих координат в системі FK4

використовувались запропоновані МАС 1964 р. формули для прецесії, нутації 1952 р., планетної аберації 1964 р. Приведені за таким алгоритмом до системи FK4 положення Сонця порівнювались з визначеними за аналітичною теорією Ньюкома координатами. Перехід від  $(\alpha, \delta)_{FK4}$  до видимих координат в системі FK5 проводився з врахуванням уточнених МАС 1976 р. та МАС 1980 р. значеннями астрономічних сталих та розкладів. Приведені до системи FK5 положення Сонця порівнювались з вирахованими по чисельним теоріям DE200 і DE403 координатам. Моменти всіх спостережень приводились до шкали TDT.

На основі аналізу різниць положень Сонця, приведених в системи фундаментальних каталогів FK4, FK5 і обрахованих за теоріями руху Ньюкома, DE200, DE403, зроблено висновок про наявність неврахованих систематичних похибок в спостереженнях Сонця, недосконалість теорій руху Сонця, неузгодженість орієнтації каталожних та динамічних систем координат, обертання фундаментальної системи координат та інших факторів, які обумовлюють неузгодженість спостережень і теорій руху.

#### 4. Положення геостаціонарних ШСЗ

З 1957 р. в навколосезний простір запуснено понад 4000 штучних об'єктів, що призвело до появи в космічному просторі понад 8500 об'єктів розмірами  $>10$  см. Серед них тільки 600-700 активних апаратів [17,27]. Біля половини запуснених об'єктів є фрагментами використаних ракет і зруйнованих супутників. На геостаціонарній орбіті кількість фрагментів з розмірами меншими одного метра взагалі невідома. "Населеність" геостаціонарної орбіти функціонуючими і нефункціонуючими супутниками і космічним сміттям з кожним роком зростає, а "самоочищення" геостаціонарної орбіти на відміну від більш близького до Землі космосу не відбувається. Така висока "населеність" геостаціонарної орбіти перешкоджає ідентифікації об'єктів, зокрема за їх фотографічними спостереженнями. Наведене свідчить про необхідність регулярного контролю за космічним простором в зоні геостаціонарної орбіти а, отже, про необхідність



спостережень, визначення високоточних координат об'єктів, ототожнення їх з наявними в міжнародних каталогах, виявлення незафіксованих об'єктів, супроводження ШСЗ і про вирішення низки інших задач.

## Спостереження ШСЗ та їх обробка

Позиційні фотографічні спостереження космічних об'єктів ведуться здебільшого за допомогою супутникових камер ВАУ, СБГ. В ГАО НАН України в 1982 р. створено супутникову камеру СКА [18,19], яка встановлена на подвійному ширококутному астрографі ( $D=40$  см,  $F=200$  см). Фотографування супутників виконується на фотоплатівках розміром  $24 \times 24$  см. Моменти експозиції фіксуються з точністю, не гіршою  $(3-5)10^{-3}$  с.

Починаючи з 1983 р. в ГАО НАНУ виконуються регулярні спостереження геосинхронних об'єктів [20]. Астрометрична обробка астронегативів проводиться за допомогою програм, розроблених в ГАО НАН України [21]. В 1993 р. комплекс програм було модернізовано в зв'язку з перенесенням обчислень на ПК і використанням для ототожнення зір сучасного каталога PPM [22], що забезпечило визначення положень супутників з точністю  $\pm 0.26'' - \pm 0.50''$ .

За період з січня 1997 р. по жовтень 2000 р. визначено 1951 положення геостационарних об'єктів (екваторіальні координати на епоху J2000.0 та на епоху спостереження). З цією метою використано 508 астронегативів ZU-21. Відомості про кількість отриманих астронегативів, визначені по ним положення та деякі характеристики супутників наведені в табл.10.

Табл.10 Спостереження ШСЗ за 1997-2000 рр.

Рік	К-ть платівок.	К-ть положень	Ідентиф. об'єкти	Неідентиф. об'єкти
1997	104	369	55	27
1998	177	616	59	18
1999	156	659	61	16
2000	71	307	буде здійснена в наступному каталозі	
Всього	508	1951		

Створена в ГАО НАНУ база астронегативів геостационарних супутників Землі за період 1983-2000 рр. налічує 4024 одиниць. Число визначених положень сягає 5657.

### Ідентифікація і обчислення орбіт ШСЗ

Починаючи з 1995 р. спільно з Лабораторією космічних досліджень Ужгородського університету (ЛКД УжДУ) виконується робота по ідентифікації ШСЗ та створенню каталогів з положеннями та елементами орбіт ГШСЗ. На основі обчислених точних положень геостационарів, приведених на моменти спостережень, визначаються елементи оскулюючих кругових орбіт. Ототожнення геостационарних об'єктів значно полегшується при використанні площини Лапласа для дослідження еволюції орбіт супутників [23]. Така методика, а також порівняння обчислених елементів орбіти з каталожними елементами дає можливість ототожнити спостережуваний об'єкт і присвоїти йому назву згідно з наявним каталогом.

В 1997 р. для ототожнення спостережень було використано два методи: описаний вище та розроблений в ГАО НАН України. Останній оснований на чисельному інтегруванні диференціальних рівнянь руху супутника [24]. Для врахування впливу на об'єкт гравітаційного поля Землі вибиралась модель

JGM-3 до  $n=m=6$  порядку і враховувався гравітаційний вплив Сонця і Місяця. Середня величина різниць (O-C) по прямому піднесенню та схиленню супутника становить біля  $0.6''$ . Співставлення результатів, одержаних обома методами, не дало істотних розбіжностей в одержаних елементах орбіти. Як джерело орбітальної інформації при ототожненні ШСЗ обома методами використовувались каталоги ESA/ESOC, NASA, [25].

Використання першого методу надає можливість виявити два види корекцій для активних супутників. Для геостаціонарів з нахилом орбіти  $i=0^\circ$  довгота підсупутникової точки змінюється в межах  $\pm 0.1^\circ$ , а елементи орбіти, віднесені до площини Лапласа,  $i_{lap}=7.2^\circ$ ,  $\Omega_{lap}=180.0^\circ$ . Якщо ж  $i>1^\circ$  і супутник активний, то для нього  $i_{lap}$ ,  $\Omega_{lap}$  змінюються лінійно, а нахил орбіти супутника до площини екватора  $i_{eq}$  змінюється лінійно до або після корекції. Тобто активні космічні об'єкти з нахилом  $i=0^\circ$  коректуються по довготі підсупутникової точки, а з нахилом  $i>1^\circ$  коректується зміна нахилу орбіти в просторі.

При ототожненні активних супутників з нахилом орбіти  $i<0.1^\circ$  виникають труднощі для тих супутників, які знаходяться в зонах коллокації, тобто в областях, де геостаціонарні супутники розташовані ближче відстані  $0.1^\circ-0.3^\circ$ . Помилкові комбінації елементів орбіти, одержаних на основі спостережень цих супутників, при порівнянні з каталожними можуть призвести до великих похибок в ототожненні. Прикладом можуть бути шість супутників Astra-1, які знаходяться на довготі  $19.1^\circ - 19.2^\circ$ .

При ототожненні були виявлені об'єкти, які не представлені в каталогах NASA. Аналіз елементів орбіти показав, що ці активні супутники знаходяться в зоні коллокації поряд з іншими супутниками, елементи орбіт яких наведені в каталозі.

### Каталоги положень геостаціонарних ШСЗ

Топоцентричні екваторіальні координати геостаціонарних ШСЗ на епоху J2000.0 в системі каталога PRM та на момент спостереження, а також елементи орбіт для ототожнених об'єктів - нахил орбіти, аргумент перигею, довгота вузла, довгота підсупутникової точки та її зміна за добу (дрейф), велика піввісь



та ексцентриситет орбіти супутника - подаються в каталогах, які публікуються з 1994 р. В каталогах також відмічається активним чи неконтрольованим (пасивним) є ототожнений супутник. Точність одержаних положень геостационарних об'єктів знаходиться в межах  $0.3''-0.5''$ , що обумовлено точністю каталога PPM і якістю фотоплатівок, час використання яких був обмежений 1989-1991 рр.

За звітний період опубліковані каталоги спостережень геостационарів за 1996, 1997-1998 рр.[26,28]. Подано до друку каталог спостережень за 1999 р., на початку 2001 р. буде підготовлений каталог положень за 2000 р.

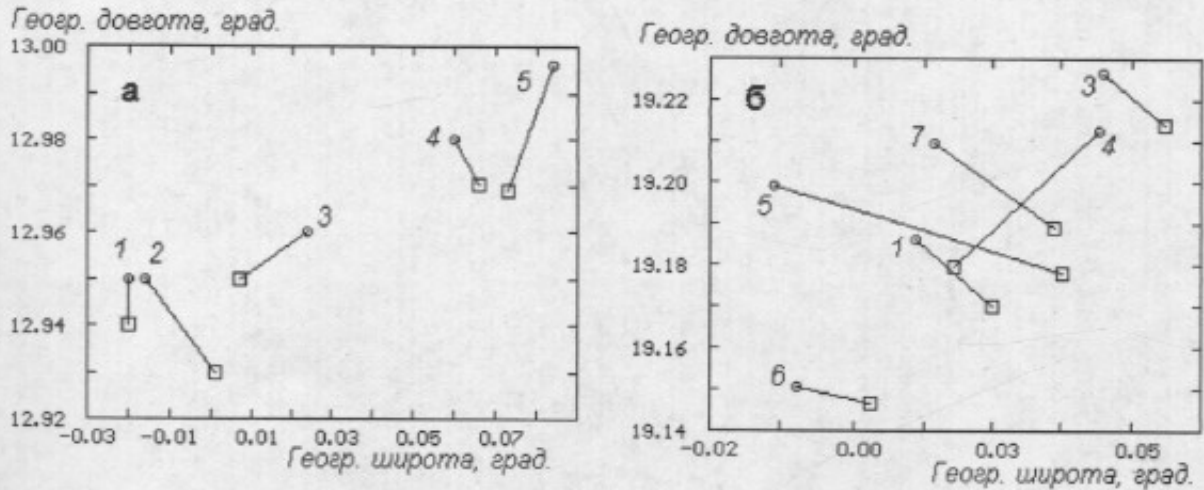
### Висновки

Результати фотографічних позиційних спостережень геостационарних супутників, які проводяться в ГАО НАН України протягом 18 років показали, що точність одержаних положень об'єктів дозволяє виконувати з успіхом їх ототожнення і створювати каталоги цих об'єктів для контролю космічного простору та вирішення низки наукових і прикладних завдань.

Із проведених в ГАО спостережень очевидно, що більшість ототожнених об'єктів є активними. Аналіз спостережень також показав, що для ототожнення цих супутників необхідно вести регулярні спостереження і створювати каталоги, в яких подаються елементи орбіти супутників. Впевнене ототожнення супутників неможливе без наявності згаданих каталогів.

Досліджено ризик зіткнення при небезпечних наближеннях супутників. Такі зіткнення можливі в зонах, де спостерігаються великі скупчення об'єктів - зонах коллокації. Аналіз показав, що в довготному проміжку від  $5^{\circ}$  до  $292^{\circ}$  знаходиться 140 зон коллокації - довготних вікон радіусом  $0.1^{\circ}$ , в кожному з яких в даний момент часу знаходиться від 2 до 8 об'єктів. Для дослідження ризику зіткнення цих об'єктів необхідно простежити зміну їх положень протягом певного часу. На рис.1 показано переміщення геосинхронних супутників в зоні коллокації з довготою  $\lambda \approx 19.2^{\circ}$ . З мал.1 видно, що ризик зіткнень в зонах коллокації досить великий. Отже, щоб проводити успішне ототожнення активних супутників, необхідні систематичні оглядові спостереження зон з такими об'єктами до 7 раз на рік. Для

експериментального визначення розподілу об'єктів на геостационарних орбітах бажано проводити синхронні спостереження з двох пунктів.



Мал. 1. Переміщення геосинхронних супутників за результатами спостережень в ГАО НАНУ в січні 1999 р. в двох зонах коллокації: (а) за 1,1 доби; (б) за 0,12 доби.

Кружки — початкове положення супутника, квадрати — кінцеве положення. Цифрами позначені номери супутників.

На відміну від оперативних спостережень активних супутників, пасивні об'єкти необхідно спостерігати 1-2 рази в рік. Це надає можливість оновлювати каталог супутників, а саме, визначати дрейф їх довгот та обчислювати точні елементи орбіт. На відміну від спостережень активних об'єктів, для спостережень пасивних об'єктів необхідно знати усереднені елементи орбіти на початковий момент спостереження. За елементами орбіти пасивного супутника можна одержати їх уточнені значення для подальших моментів спостережень.

Синхронні спостереження з двох пунктів ЛКД УЖДу та ГАО НАН України дають можливість одержати необхідну кількість спостережень активних і пасивних об'єктів, а також вивчити їх розподіл на геостационарних орбітах.

## 5. Спостереження тіл Сонячної Системи

В 1997 році сумісно із відділом Фізики планет були проведені спостереження взаємних затемнень в системі супутників Юпітера. За допомогою Цифрового панорамного поляриметра, розташованого на телескопі АЗТ-2 отримано три криві зміни яскравості для 3 супутників. Відносні зміни яскравості супутників під час затемнень були визначені методами апертурної фотометрії. Ці спостереження разом з іншими, які виконані на різних обсерваторіях, надали змогу визначити відносні положення Галілеєвих супутників з точністю, що перевищує найкращі наземні фотографічні спостереження [29]

В 1998 і 1999 роках були проведені ПЗЗ - спостереження тіл Сонячної Системи за допомогою Двоканального фокального редуктора Інституту аерономії ім. Макса Планка. Спостереження виконано разом із Інститутом аерономії та Міжнародним центром астрономічних та медико-екологічних досліджень на піку Терскол. Об'єктами спостережень були внутрішні супутники Юпітера - Теба, Амальтея, Метіс, супутники Сатурна - Феба та Япет та 2 астероїда Койперівського поясу.

Оцінки точності визначення координат зірок за допомогою Двоканального Фокального Редуктора отримані з обробки знімків астрометричного стандарту, який спостерігався спеціально для цього восени 1998 року. Результати показують, що координати зір можна отримати з внутрішньою похибкою 0.06-0.09" [30].

Положення внутрішніх супутників Юпітера отримані відносно Галілеєвих супутників, а координати Феби та астероїдів - відносно поля зір з каталога USNO-2A. Положення супутників порівняно з ефемеридою JPL, а ефемеридні положення астероїдів отримано з сайту MPC. В табл. II подані середні значення O-C та їх середньоквадратичні похибки для всіх об'єктів, які спостерігалися протягом звітного періоду.



Таблиця 11

Середні значення різниць (O-C) та їх середньоквадратичні похибки

Рік	Об'єкт	(O-C)" $\alpha$	(O-C)" $\delta$	Mv
1998	Теба	0.04±0.11	-0.01±0.12	16.5
1999	Теба	-0.02±0.15	-0.06±0.12	
1998	Амальтея	-0.07±0.09	-0.07±0.06	13.0
1999	Амальтея	0.03±0.10	-0.06±0.05	
1999	Метіс	-0.34±0.18	0.18±0.22	17.5
1998	Феба	0.10±0.08	-0.12±0.09	16.5
1998	1996TO66	-1.39±0.21	-0.05±0.28	21.8
1999	1995SM55	-5.55±0.33	-0.46±0.22	21.5

Незважаючи на експериментальний характер спостережень, в період виконання теми отримано важливі результати. Загалом за допомогою ПЗЗ - матриці отримано 301 положення тіл Сонячної системи. Координати внутрішніх супутників Юпітера передані для використання в лабораторію JPL з метою поліпшення їх орбіт.

Варто наголосити, що досвід спостережень різноманітних об'єктів Сонячної системи - внутрішні супутники Юпітера на фоні яскравого зображення планети, зовнішні супутники з невеликою яскравістю, слабкі астероїди - свідчить про те, що ПЗЗ- приймач є ефективним інструментом для визначення положень різних небесних тіл з точністю : 0.1-0.2" При наявності ПЗЗ - приймача астрометричні спостереження, що проводилися в відділі протягом 40 років, з успіхом можуть бути продовжені [31].

## РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ УЗГОДЖЕНОСТІ ОРІЄНТАЦІ ТА ОБЕРТАННЯ КООРДИНАТНИХ СИСТЕМ У КОСМІЧНОМУ ПРОСТОРИ

Побудова інерціальної системи координат у просторі є однією з основних проблем в астрономії. Зараз вона вирішується на високому рівні точності за спостереженнями позагалактичних радіоджерел. Проте для дослідження динаміки планет і їх супутників вивчення структури і кінематики зір нашої галактики, які спостерігаються переважно в оптичному діапазоні, а також для вирішення низки практичних завдань використовуються ще динамічна та фундаментальна системи координат. Наявність декількох систем координат обумовлює постановку і вирішення задач про узгодженість

орієнтації осей і про їх відносне обертання. Ось тому в рамках запланованої теми виконане дослідження узгодженості реалізацій сучасних каталожних і динамічних систем координат. Основна увага була зосереджена на оцінці існуючих та розробці більш строгих методичних основ для узгодження орієнтації осей динамічної та фундаментальної систем координат, а також на дослідженні обертання координатних систем в космічному просторі внаслідок непрецесійного руху рівнодення. Під ефектом непрецесійного руху рівнодення розуміється зміна з часом різниці положень каталожного і динамічного рівнодень (одного з нуль-пунктів відліку координат), яка не пов'язана з гравітаційними збуреннями орбіти Землі і площини земного екватора. Ефект виявлений експериментально ще в кінці XIX ст. і багаторазово досліджувався, проте до тепер нез'ясована його природа і залишається дискусійним питанням про величину непрецесійного руху рівнодення.

В період розробки теми досліджена узгодженість фундаменальної FK5 і динамічної DE200 та DE403 систем координат, а також з'ясована реальність і виконані оцінки ефекта непрецесійного руху рівнодення за спостереженнями Сонця 1925-1982 рр. Також досліджувались математичні основи методів узгодження каталожної і динамічної систем координат за спостереженнями малих планет. З цією метою отримані рівняння для обчислення елементів орбіти. Обґрунтовані рекомендації щодо підбору планет та їх майбутніх спостережень з метою більш точного вирішення задачі. Основні результати цього розділу наведені нижче.

### 1. Узгодження і обертання координатних систем, реалізованих каталогами FK4, FK5 і теоріями руху Сонця DE200, DE403

Вашингтонський та грінвіцький ряди меридіанних спостережень Сонця 1925-1982 рр. використовувались для дослідження узгодженості і обертання каталожної системи координат. Ці дослідження базуються на аналітичному та геометричному підходах до вирішення задачі.

В аналітичному підході різниці каталожних і динамічних координат представляються як функції сталих різниць положень нуль-пунктів  $\Delta\alpha_0$  і  $\Delta\delta_0$ , непрецесійного руху рівнодення  $\Delta A$  та поправок до елементів орбіти Землі.

Рівняння для узгодження нуль-пунктів, відносного обертання систем координат та уточнення елементів орбіти Землі мають вигляд:

$$[\alpha_k - \alpha_e, \delta_k - \delta_e] = [\Delta\alpha_0, \Delta A, \Delta\delta_0, \Delta L_0, \Delta\mu, e\Delta\pi, \Delta e, \Delta\epsilon] M_1.$$

Геометричний підхід передбачає визначення крім косокутності каталожної системи координат  $\Delta\delta_0$  трьох кутів взаємної орієнтації осей P, Q, R, що відповідає загальноприйнятим принципам узгодженості орієнтації двох систем координат:

$$[\alpha_k - \alpha_e, \delta_k - \delta_e] = [P, Q, R, \Delta A, \Delta\delta_0] M_2.$$

Кути взаємної орієнтації та поправки до елементів орбіти Землі зв'язані співвідношеннями

$$P = \Delta\epsilon, \quad Q = \Delta\pi \sin \epsilon, \quad R = \Delta A = \Delta\alpha_0 - \Delta\pi \cos \epsilon.$$

Порівняльний аналіз геометричного та аналітичного підходів до розв'язку задачі показав, що приведення координат зір каталога до динамічних нуль-пунктів необхідно здійснювати за допомогою більш коректних співвідношень, які враховують взаємний нахил екваторів двох систем:

$$\Delta\alpha = -P \operatorname{tg} \delta \cos \alpha + Q \operatorname{tg} \delta \sin \alpha - R,$$

$$\Delta\delta = P \sin \alpha + Q \cos \alpha - \Delta\delta_0,$$

Виявлено, що різниці положень нуль-пунктів прямих сходжень в геометричному та аналітичному підходах відрізняються за своєю геометричною суттю, а тому їх оцінки повинні бути відмінними. Зроблено висновок про те, що узгодженість каталожної та динамічної систем координат пов'язана з орієнтацією орбіти Землі в просторі, тому оцінки елементів орієнтації повинні залежати від прийнятої теорії руху.

Загалом отримані наступні результати і висновки щодо узгодження і обертання координатних систем.

1. По вашингтонським і грінвіцьким 1925-1982 рр. меридіанним спостереженням Сонця отримані оцінки різниць положень нуль-пунктів, непрецесійного руху рівнодення і кутів взаємної орієнтації систем, які реалізуються каталогом FK4 і аналітичною теорією руху Сонця по Ньюкому, каталогом FK5 і чисельною теорією руху DE200, каталогом FK5 і чисельною теорією руху DE403 (табл.12), а також оцінки поправок до елементів орбіти Землі (табл.13).



Таблиця 12

Оцінки кутів взаємної орієнтації, параметра косокутності та руху  
рівнодення по вашингтонським і грінвіцьким меридіанним спостереженням  
Сонця 1925-1982 рр.

Поправки	<i>FK4-Newc</i>	<i>FK5-DE200</i>	<i>FK5-DE403</i>
$P, ''$	$-0.14 \pm 0.01$	$-0.06 \pm 0.01$	$-0.11 \pm 0.01$
$Q, ''$	$-0.03 \pm 0.01$	$-0.02 \pm 0.01$	$-0.03 \pm 0.01$
$R, s$	$0.023 \pm 0.001$	$-0.001 \pm 0.001$	$-0.001 \pm 0.001$
$\Delta\delta_0, ''$	$-0.17 \pm 0.01$	$-0.13 \pm 0.01$	$-0.13 \pm 0.01$
$\Delta\dot{A}, s/ст.$	$0.055 \pm 0.003$	$-0.043 \pm 0.003$	$-0.041 \pm 0.003$

Таблиця 13

Оцінки різниць положень нуль-пунктів і поправок до елементів орбіти  
Землі по вашингтонським і грінвіцьким меридіанним спостереженням  
Сонця 1925-1982 рр.

Поправки	<i>FK4-Newc</i>	<i>FK5-DE200</i>	<i>FK5-DE403</i>
$\Delta\alpha_0, s$	$0.019 \pm 0.003$	$-0.004 \pm 0.001$	$-0.006 \pm 0.001$
$\Delta\dot{A}, s/ст.$	$0.056 \pm 0.003$	$-0.042 \pm 0.003$	$-0.041 \pm 0.003$
$\Delta\delta_0, ''$	$-0.22 \pm 0.01$	$-0.15 \pm 0.01$	$-0.15 \pm 0.01$
$\Delta L_0, ''$	$-0.05 \pm 0.02$	$-0.05 \pm 0.02$	$-0.07 \pm 0.02$
$e\Delta\pi, ''$	$-0.06 \pm 0.01$	$-0.06 \pm 0.01$	$-0.06 \pm 0.01$
$\Delta e, ''$	$-0.12 \pm 0.01$	$-0.07 \pm 0.01$	$-0.07 \pm 0.01$
$\Delta\varepsilon, ''$	$-0.15 \pm 0.01$	$-0.07 \pm 0.01$	$-0.12 \pm 0.01$

На основі цих результатів зроблено висновок про кращу узгодженість систем FK5 і DE200, FK5 і DE403 в порівнянні з FK4 і теорією Ньюкома, а також про несуттєву відмінність теорій руху DE200 і DE403 для Сонця. Визначені компоненти вектора взаємної орієнтації  $P = -0.07'' \pm 0.01''$ ,  $Q = -0.03'' \pm 0.01''$ ,  $R = -0.01'' \pm 0.01''$  систем ICRS і DE403, виявлено зміщення екваторів  $\Delta\delta_0 = -0.06'' \pm 0.01''$  систем ICRS і DE403. Останній результат потребує подальшого детального дослідження.

2. На основі аналізу вашингтонських і грінвіцьких спостережень Сонця 1925 - 1982 рр. зроблено висновок про реальність ефекту регресивного непрецесійного руху рівнодення в FK5, що обумовлює додаткове до прецесійного обертання фундаментальної системи FK5, і про те, що при створенні FK5 врахований ефект непрецесійного руху приблизно в 2 рази більше реального. За нашими оцінками величина непрецесійного руху рівнодення в FK5 складає  $-0.043^s/ст. \pm 0.003^s/ст.$  Показано, що на величину оцінок ефекту впливають методики його дослідження, неточність прийнятої сталої прецесії та різниця шкали UT2 і динамічної "шкали часу Брауера". При врахуванні останніх двох факторів ефект непрецесійного руху рівнодення практично зникає.

3. На основі аналізу числених оцінок непрецесійного руху рівнодення для різних об'єктів Сонячної системи вперше виявлено залежності величини ефекту від середньодобових рухів планет

$$\Delta\dot{A} = (-0.052^s/ст. \pm 0.008^s/ст.) - (0.047^s/ст. \pm 0.009^s/ст.) (n_i - n_0)/n_0 + (0.015^s/ст. \pm 0.003^s/ст.) [(n_i - n_0)/n_0]^2,$$

та від розмірів їх орбіт:

$$\Delta\dot{A} = (-0.053^s/ст. \pm 0.005^s/ст.) + (0.025^s/ст. \pm 0.006^s/ст.) (r_i - r_0)/r_0,$$

Порівняння отриманих з теоріями Ньюкома і теоріями DE200, DE403 коефіцієнтів розкладів  $\Delta\dot{A}$  свідчить про залежність величини ефекту непрецесійного руху рівнодення від теорій руху, які використовуються, хоча різниця оцінок  $\Delta\dot{A}$ , отриманих по даним порівняння спостережень з різними теоріями руху, є невеликою по відношенню до оцінок самого ефекту. У зв'язку з цим зроблено висновок про те, що ефект непрецесійного руху рівнодення не пов'язаний з кінематикою зір, обертанням Галактики або іншими факторами

кінематичного характеру, а можливо є наслідком неузгодженості теорій руху зі спостереженнями планет за рахунок нетотожності часових шкал, які використовуються в теоріях руху та при спостереженнях тіл Сонячної системи.

4. На основі отриманих результатів зроблений висновок про те, що використання геометричного підходу до розв'язку задачі про узгодження каталожної та динамічної систем координат забезпечує більш високу точність оцінок кутів взаємної орієнтації, отриманих як по спостереженням різних обсерваторій, так і при використанні різних методик дослідження ефекту. Отримані залежності для приведення координат зір каталога FK5 до динамічних нуль-пунктів DE200 і DE403 з врахуванням взаємного нахилу каталожного та динамічного екваторів систем.

Результати і висновки виконаного дослідження мають принципове значення для постановки та проведення низки наукових досліджень в перспективі, зокрема, для докладного дослідження виявленої залежності величини ефекту непрецесійного руху рівнодення від середньодобових рухів планет при використанні інших експериментальних даних і більш широкого класу тіл Сонячної системи. Підтвердження і уточнення такої залежності дозволить більш впевнено локалізувати наші уявлення про ефект непрецесійного руху рівнодення і його природу. Перспективними слід вважати розробку і прийняття загальних методик для дослідження узгодженості і обертання різних реалізацій систем координат. Важливими є подальші дослідження узгодженості сучасних теорій руху DE403/LE403, DE405/LE405 з накопиченими довготривалими оптичними спостереженнями планет.

Результати досліджень доповідались на семінарах Інституту теоретичної астрономії Російської академії наук (С.-Петербург, 1998) і Головної астрономічної обсерваторії НАН України (Київ, 1998, 1999), на П'ятій відкритій міжнародній конференції молодих вчених по астрономії та фізиці космосу Київського університету (Київ, квітень 27-30, 1998 р.), на Шостій відкритій міжнародній конференції молодих вчених по астрономії та фізиці космосу Київського університету (Київ, квітень 27-30, 1999 р.), на міжнародній конференції Journées2000 (Париж, вересень 16-20, 2000 р.).

Основні результати та висновки опубліковані в 7 роботах. З них 3 в реферованих виданнях [32-38].



## 2. Узгодження каталожної - FK5 та динамічної - DE200 систем координат за спостереженнями астероїдів

В звітний період запропонований спосіб і побудовані рівняння для узгодження динамічної та каталожної систем координат за спостереженнями планет. Рівняння базуються на введенні вектора поправок до елементів орбіти планети в орбітальній системі координат і вектора кутів повороту осей каталожної системи координат відносно динамічної

$$[(\alpha_k - \alpha_e) \cos \delta, \delta_k - \delta_e] = [P, Q, R, \Delta B_1, \Delta B_2, \Delta B_3, \Delta \delta_0] M_3,$$

де  $P, Q, R, \Delta \delta_0$  – кути повороту та косокутність каталожної системи координат, а  $\Delta B_1, \Delta B_2, \Delta B_3$  – різниця кутів повороту орбітальної до каталожної та динамічної систем координат. Наведені кути пов'язані з елементами орієнтації орбіти планети співвідношеннями:

$$\operatorname{tg} B_1 = \operatorname{tg} i \sin \Omega,$$

$$\sin B_2 = \sin i \cos \Omega,$$

$$\operatorname{tg}(B_1 - \omega) = \cos i \operatorname{tg} \Omega.$$

Аналіз запропонованих рівнянь показав наступне.

- Точність узгодження каталожної та динамічної систем координат залежить від орієнтації орбіти у просторі, тобто від її положення по відношенню до екліптики або екватора.
- Найкраще розділяються невідомі елементи відносної орієнтації осей систем координат при довготі висхідних вузлів планет  $\Omega = 90^\circ, 270^\circ$ . Отже, для узгодження каталожних та динамічних систем координат необхідно переглянути список рекомендованих для спостережень малих планет.
- При використанні спостережень планет з видовженими орбітами та максимальними нахилами орбіт до екліптики (екватора) можна отримати більш високоточні результати узгодження каталожних і динамічних систем координат.

Запропонований спосіб використаний для обчислення оцінок елементів взаємної орієнтації фундаментальної – FK5 і динамічної – DE200 систем координат за реальними спостереженнями малих планет Церери, Паллади, Юнони та Вести на Морській обсерваторії США 1949-77 рр. і на Королівській

Грінвіцькій обсерваторії 1957-82 рр. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що кути  $P$ ,  $Q$  і  $R$  визначаються з невисокою точністю внаслідок розподілу спостережень поблизу опозиції, але досягається більша однорідність похибок невідомих  $\Delta B_1$ ,  $\Delta B_2$ ,  $\Delta B_3$ , тобто елементи орієнтації орбіти знаходяться з більшою точністю, ніж в класичних схемах. Цю обставину слід враховувати при уточненні теорій руху астероїдів і великих планет.

Перспектива вирішення задачі про узгодження нуль-пунктів каталожної та динамічної систем координат на новому якісному рівні пов'язана з підбором нового списку рекомендованих малих планет з певною орієнтацією орбіт у просторі та використанням спостережень на якомога більшому інтервалі орбіти відносно опозиції. З цією метою необхідно виконати модельні розрахунки для підбору найбільш придатних планет, використовуючи результати цього дослідження.

Наведений спосіб та результати його використання доповідались на семінарі в ГАО НАНУ.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основними надбаннями досліджень по завершній темі є наступне.

1. Створена база понад 4500 положень планет і їх супутників, а також вибраних малих планет за спостереженнями протягом 40 років на телескопах ГАО НАНУ, спостережних базах на г. Майданак, в Болівії і на п. Терскол. Біля 2500 з наведених положень були отримані вперше за результатами відбору і вимірювання астронегативів із склотеки ГАО НАНУ, а понад 2100 положень переобчислені за вимірюваннями в попередні перед виконанням теми роки з метою використання більш досконалих методик редукцій та сучасних опорних каталогів. База положень подана в системах найбільш точних опорних каталогів PPM і АСТ і суттєво доповнює накопичений в світі масив спостережень тіл Сонячної системи, який є фундаментом для подальших наукових досліджень теоретичного і прикладного характеру. Фактично завершенням цієї теми підведений підсумок зусиль чисельного колективу астрометристів ГАО НАНУ з 1960 р.

до тепер по реалізації спостережних програм, методичних та інструментальних досліджень в галузі позиційної астрономії тіл Сонячної системи.

2. За звітний період створена база 1951 положень штучних об'єктів з точністю  $0.3''-0.5''$  в системі опорного каталога PPM, елементів орбіт та інших характеристик тіл в геостаціонарній зоні. Загалом в ГАО НАНУ з 1982 р. по 2000 р. накопичено понад 5600 високоточних положень активних і пасивних геостаціонарних об'єктів, які характеризуються найбільш високою точністю визначуваних координат серед відомих в світі подібних масивів даних. Ця база положень використовувалась неодноразово при вирішенні задач по контролю та засміченості навколоземного простору, для прогнозування можливих зіткнень штучних тіл, а також для уточнення теорій руху ШСЗ. Перспектива спостережень і визначення положень високоорбітальних ШСЗ пов'язана з модернізацією існуючого апаратного комплексу ПЗЗ-приймачами, що забезпечить отримання координатної і некоординатної інформації ще більш високої точності в режимі реального часу.
3. Вперше виявлена залежність ефекта непрецесійного руху рівнодення, який обумовлює обертання фундаментальної відносно динамічної системи координат, від середньодобових рухів (геліоцентричних відстаней) планет, що надає можливість локалізувати чинники виникнення згаданого ефекта. На нашу думку, ефект може бути наслідком неузгодженості шкал часу UT і DT, які використовуються при реєстрації спостережень та в динамічних теоріях руху планет. За спостереженнями Сонця протягом 60 років на двох обсерваторіях знайдена оцінка ефекта непрецесійного руху рівнодення, яка реально в 2 рази менша за прийняту при створення FK5. За цими ж спостереженнями та іншими даними виявлена значима розбіжність орієнтації осей реалізацій каталожних FK5, ICRS і динамічних DE200, DE403 систем координат. Нарешті, підготовлені теоретичні і методичні основи для підбору нового списку великих і малих планет з метою вирішення задачі про узгодженість і обертання координатних систем в космічному просторі на якісно новому рівні точності.



По темі опубліковано 23 статті, представлено 11 доповідей на різних форумах. В межах теми виконана і захищена кандидатська дисертація.

## 5. Список посилань

1. В.В.Головня, Е.М.Ижакевич, И.В.Кулик, С.П.Майор, С.В.Шатохина. Переобработка рядов фотографических наблюдений Марса и спутников, выполненных в ГАО НАН Украины. //Тези доповідей міжнарод. наук. конф."Роль наземної астрометрії в POST-HIPPARCOS період", Миколаїв, 9-12 вересня 1996 р.,- с.29.
2. В.В.Головня,Е.М.Ижакевич,И.В.Ледовская,С.П.Майор,С.В.Шатохина Результаты обработки с каталогами PPM и АСТ рядов фотографических наблюдений системы Марса,выполненных в ГАО НАНУ в 1963-1988 гг (Подана до друку в КФНТ).
3. V.Golovnya, E.Izhakevich, I.Ledovskaya, S.Major, S.Shatokhina. The catalogue of astrometric positions of Mars, Phobos and Deimos. (<http://www.mao.kiev.ua\ast\mphdcat.htm>).
4. Калтигіна С.В., Ледовська І.В., Майор С.П., Шатохіна С.В. Результаты позиційних спостережень Сатурнових супутників S2-S9 на горі Майданак (Узбекистан) у 1990 р. (Деп. в Укр.ИНТИ, 09.07.92 .1044- Ук 92).
5. Калтыгина С.В., Ледовская И.В.,Майор С.П. Результаты позиционных наблюдений Урана и Нептуна на г. Майданак в 1990 г. Киев,1992,10 с. (Рукопись деп. в ВИНТИ 1992,№ 1221-В 92).
6. Майор С.П. Рівняння блиску 60-см рефлектора за спостереженнями планет і їх супутників влітку 1990 р. КФНТ. 1993, Т9, 2, с.34-36.
7. Ижакевич Е.М. Позиционные фотографические наблюдения спутников Сатурна в ГАО АН УССР в 1980 г. (Деп. в ВИНТИ 05.09.91, 4553-В91)
8. Stragnell P.R.,Taylor D.V., 1990, A&As, 83, 289.
9. Макарова Е.Н.Каталог фотографических наблюдений избранных малых планет// Труды ИПА РАН, вып 4."Астрометрия, геодинамика и небесная механика", 1999.

10. Майор С.П., Мороз Г.В. Положения избранных малых планет по фотографическим наблюдениям в ГАО АН УССР и анализ их точности. //Астрометрия и астрофизика. 1984, вып.51, с.69-74.

11. Головня В.В., Ижакевич О.М. Житецкий А.А., Майор С.П, Мороз Г.В.

Положения избранных малых планет в 1976-1977 гг. по наблюдениям, выполненным в ГАО АН УССР с помощью двойного астрографа 400/2000. (Деп.в ВИНТИ 12.12.1985 N 8620-В ), ред. КФНТ, К., 1985.

12. Головня В.В., Ижакевич О.М. Майор С.П, Мороз Г.В. Серета Е.М. Положения избранных малых планет в 1977-1978гг. по наблюдениям, выполненным в ГАО АН УССР с помощью двойного астрографа 400/2000. (Деп.в ВИНТИ 06.10.87 N7136-В), ред. КФНТ, К.,1987.

13. Головня В.В., Майор С.П, Мороз Г.В., Серета Е.М. Положения избранных малых планет в 1978-1979 гг. по наблюдениям, выполненным в ГАО АН УССР с помощью двойного астрографа 400/2000. (Деп.в ВИНТИ 06.06.88 N4712-В), ред. КФНТ, К.,1988.

14. Головня В.В., Ижакевич О.М. Положения избранных малых планет в 1979-1980гг. по наблюдениям, выполненным в ГАО АН УССР с помощью двойного астрографа 400/2000. (Деп.в Укр.ИНТЭИ 21.10.92 N1715-У), ред. КФНТ, К.,1992.

15. L.Pakulyak, E.Izhakevich, N.Kharchenko, V.Golovnya, V.Kisluk. Data base of photographic observations of celestial bodies of Golosiiv Observatory in Kiev. Report.Colloquium in the frame work of IAU. Commission No.5, С. Петербург,1996, р. 27.

16. L.Pakulyak,N.Kharchenko,E.Izhakevich,V.Golovnya,V.Andryk,V.Kisluk. Data base of photographic observations of celestial bodies Golosiiv observatory in Kiev IAU WG on wide field imaging Newsletter N 9, Juli 1997 , AI Potsdam.

17. Spase debris / Editel by Walter Flury and Donald J.Kessler.— Vol.1, No 1, — Kluwer: Academic Publishers Dordrecht, Boston, London, 1999. — 86р.

18. Дума Д.П. Проблема определения высокоточных координат искусственных небесных тел фотографическим способом // Астрон. журн.- 1984.-61, вып.1.- с.184-190.

19. Дума Д.П., Кизюн Л.Н. и др., Аппаратура и методика для определения координат искусственных и естественных небесных тел.- Сб. Современная астрометрия, Ленинград, 1987, с.221-225.
20. Kizyun L.N. and Safronov Yu.I. (1995) Catalogue of positions of the geostationary and quasigeostationary Earth satellites, Preprint, Main Astronomical Observatory, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 121 p.
21. Коваль Р.Н., Кизюн Л.Н., Комплекс программ для астрометрической обработки астронегативов.- Сб. Современная астрометрия, Ленинград, 1987, с.386-390.
22. Bastian U., Roeser S., Positions and Proper Motions of 197179 stars south of -2.5 degrees declination for equinox and epoch J2000.0 - Heidelberg-Berlin-New York : Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 1993.- Vol.3-4.
23. Гаязов И.С., Сочилина А.С. О выборе системы координат при исследовании высоких спутников Бюл. Ин-та теор. астрономии.-1986.-15, №9 (172).- С.481-485.
24. Rudenko S. (1995) Software for the analysis of photographic observations of geosynchronous satellites, Proceedings of the Workshop accurate orbit determination and observations of high Earth satellites for Geodynamics, October 17-19, 1994, Walferdange, Luxemburg, edited by A. Alipe and P. Paquet, pp.63-70.
25. Sochilina A.S., Kiladze R.I., Grigoriev K.V., Vershkov A.N. (1996) Catalogue of orbits of geostationary satellites, S.- Petersburg, ITA RAN, 104 p.
26. Kizyun L.N., Kirichenko A.G., Rudenko S.P., Demchyk M.I., Klimik V.U., Kudak K.A., Matso G.M., Starodubtseva O.E. (1998) Catalogue GOCKU96 of positions and orbital elements of geosynchronous space objects observed in 1996, Dodatok do Zhurnalu (Space Science and Technology, Supplement), Kiev, 4, N1, 51 p.
27. Kirichenko A.G., Klimik V.U., Kudak K.A., Kizyun L.M. (1998) On problems of the space debris at the geostationary orbit, Proceedings of the all-Ukrainian astronomical conference, October 27-28, 1997, Kyiv.
28. Kirichenko A.G., Kizyun L.M., Demchyk M.I., Klimik V.U., Kudak K.A., Matso G.M. (2000) Catalogue GOCKU(97-98) of positions and orbital elements of geosynchronous space objects observed in 1997-1998. Problem of the passive objects



observations, Кинематика и физика небесных тел, 2000, т.16, №4.

([http://www.mao.kiev.ua/ast/geo3\\_txt.htm](http://www.mao.kiev.ua/ast/geo3_txt.htm))

29. N.V.Emelianov, A.A.Berejnoj, S.N.Vashkovjak, E.A.Glushkova, S.Yu.Gorda, A.Delets, T.N.Dorohova, N.I.Dorohov, V.F.Esipov, I.S. Izmailov, T.R.Irsmambrtova, A.A.Kiselev, T.P. Kiseleva, V.G.Kornilov, V.Kucherov, I.Ledovskaya, S.Mukhamerdnazarov, V.N.Raskhozhev, V.G.Teifel, G.A.Charitonova  
Mutual positions of the Galilean satellites of Jupiter from photometric observations during their mutual occultations and eclipses in 1997., 2000, A&A Suppl.Ser. 141,433-477,

30. И.В.Ледовская, К.Йоккерс, Н.В.Карпов, А.В.Сергеев. Астрометрические ПЗС-наблюдения спутников Юпитера Тебы и Амальтеи и спутника Сатурна Фебы в 1998 г. Кинематика и физика небесных тел, 1999 г., т.15, с.483-488.

31. L.V.Rykhlova, M.A.Smirnov, G.T.Bologova, T.V.Tarady, A.V.Sergeev, N.V.Karpov, I.V.Kulyk. The first results of the observations of the Kuiper Belt asteroids at Terskol Observatory. In the proceedings of the confrens UKRASTRO-2000.

32. Дума Д.П., Козел О.В. Исследование согласованности нуль-пунктов динамической (DE200) и каталожной (FK5) систем координат по наблюдениям Солнца 1941-1982 гг.// Кинематика и физика небес. тел.— 1998.— Т.14, № 2.— С. 130—144.

33. Козел О.В. Исследование эффекта непрецессионного движения равноденствия по меридианным наблюдениям Солнца 1925—1982 гг. // Кинематика и физика небес. тел.— 1999.— Т. 15, № 1.— С. 70—78.

34. Дума Д.П., Козел О.В. Реально ли непрецессионное движение равноденствия? // Кинематика и физика небес. тел.— 1999.— Т. 15, № 3.— С. 223—231.

В збірниках матеріалів наукових конференцій 2 роботи:

35. D.Duma, O.Bolotina, L.Svachij. Link of dynamical and catalogue reference frames: present state and prospects // Journees2000 "Systemes de Reference Spatio-Temporels" (Raris, France, September, 18-20, 2000). In press.

36. O.Bolotina. Dependence of the effect of the non-precessional equinox motion on the planets orbits dimantions // Journees2000 "Systemes de Reference Spatio-Temporels" (Raris, France, September, 18-20, 2000). In press.

В збірниках тез наукових конференцій 2 роботи:

37. Kozel O. Research Non-Precessional of a Movement of the Equinox // In: Abstracts of the 5th Open Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics, Kiev, Ukraine, Apr. 27-30, 1998.- Kiev.-1998.- p. 41.

38. Козел О. Согласование реализаций каталожной и динамической систем координат// In: Abstracts of the 6th Open Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics, Kiev, Ukraine, Apr. 27-30, 1999.- Kiev.-1999.- p. 50- 52.