

## ЛАЗЕРНА ЛОКАЦІЯ СУПУТНИКІВ. ЛЛС СТАНЦІЯ “ЛЬВІВ-1831”

*Андрій БІЛІНСЬКИЙ, Софія АПУНЕВИЧ,  
Ярослав БЛАГОДИР, Ева ВОВЧИК, Наталія ВІРУН*

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія 8, Львів 79005  
e-mail: slr1831@ukr.net

Редакція отримала статтю 30 жовтня 2010 р.

Розглянуто сучасний стан і можливості однієї з геодезичних технік – лазерної локації штучних супутників Землі. Описано лазерно-локаційну станцію Астрономічної обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка у складі міжнародної служби лазерної локації супутників. Представлено основні наукові напрями досліджень та їх результати.

### 1. ВСТУП

Метод лазерної локації супутників (ЛЛС, у англ. Satellite Laser Ranging – SLR) дає вагомий внесок у вивчення гравітаційного поля Землі, у реалізацію Міжнародної земної системи координат (International Terrestrial Reference System – ITRS). Міжнародна служба лазерної локації штучних супутників Землі (International Laser Ranging Service – ILRS), як частина Міжнародної служби обертання Землі (International Earth Rotation Service – IERS) забезпечує розв’язання низки питань геодезії, геофізики, фундаментальної фізики та ін.

Дані, отримані в результаті ЛЛС спостережень, є найточніші в довготерміновому варіанті, зокрема для геодинаміки. До переваг ЛЛС належить насамперед простота системи, основний принцип — вимірювання часу проходження лазерного імпульсу до спеціалізованої мішені та назад. А найбільшим недоліком вважається залежність проведення спостережень від погодних умов і необхідність присутності персоналу на лазерно-локаційній станції.

Сучасні ЛЛС технології, що використовуються для фундаментальних та прикладних цілей, досягли надзвичайно високої точності. Історія становлення лазерної локації починалася з точності виміру в межах декількох метрів, а досягла сьогодні субсантиметрової [4, 6]. Мережа станцій налічує 47 працюючих станцій та здійснює неперервну локацію 32 спеціалізованих супутників, оснащених кутиковими відбивачами.

Узагальнюючи останні тенденції розвитку мережі лазерно-локаційних станцій, відзначимо ріст розмірів міжнародної робочої мережі мобільних і перманентних ЛЛС станцій, абсолютне підвищення точності вимірювання віддалі в мережі ЛЛС пунктів, бурхливий ріст кількості геодезичних та інших супутників, розширення наукового застосування результатів ЛЛС, поліпшення співпраці з користувачами інших просторових геодезичних технологій, зокрема радіоінтерферометрії на наддовгих базах (РНДБ, у англ. Very Large Base Interferometry — VLBI) та глобальної системи визначення місця розташування [2] (Global Positioning System — GPS).

## 2. ПРИНЦИПИ ЛАЗЕРНОЇ ЛОКАЦІЇ ТА СУПУТНИКОВІ МІСІЇ

**Принцип дії ЛЛС-станції** [1, 3] полягає в тому, що короткий світловий імпульс, генерований лазерним передавачем, через оптичну систему потрапляє в телескоп, який колімує лазерний пучок і спрямовує його на локований об'єкт (масив кутикових відбивачів на супутнику, рис. 1. Частина імпульсу лазера, спрямована на коаксіальний фотое-

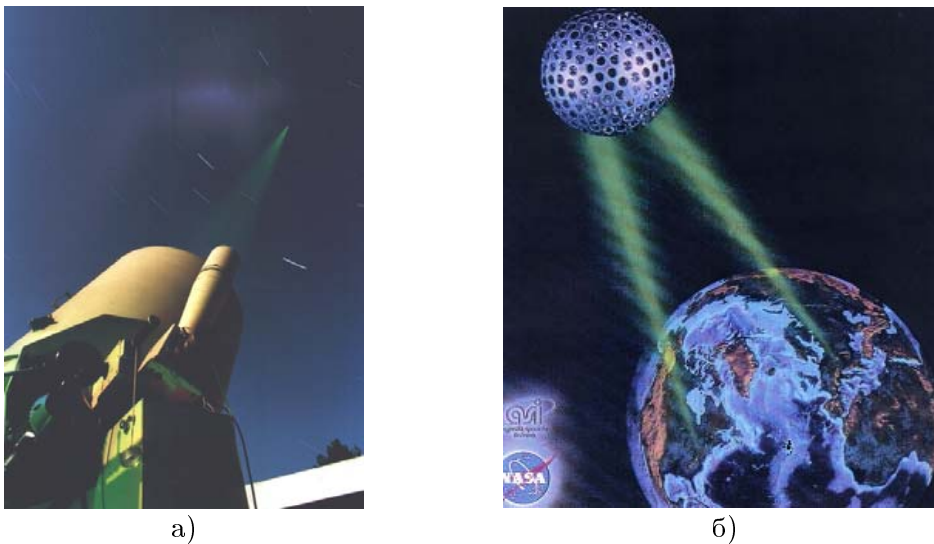


Рис. 1. Принцип лазерної локації супутників.

лемент, перетворюється на електричний імпульс *Старт*. Відбитий від супутника світловий імпульс, який приймає цей же телескоп, через відповідну оптичну систему надходить у фотоприймач, який перетворює його на електричний імпульс *Стоп*. При багаторазовому повторенні лазерних імпульсів утворюється послідовність сигналів *Старт-Стоп*, які передаються на комп'ютерний таймер подій. У комп'ютері виділяється відбитий локаційний сигнал із шуму, визначається час поширення лазерного імпульсу до цілі та назад (локаційне запізнення), проводиться контроль і управління системами станції, а також

реєстрації інформації про результати вимірювання. Локаційне запізнення, помножене на швидкість світла, є миттєвою топоцентричною відстанню до супутника. Такі необроблені дані ЛЛС станція оперативно передає у відповідні центри, де дані коректують щодо приведення до центра мас супутника, впливу атмосфери (викривлення та сповільнення поширення світлового сигналу в середовищі) і т. п. У результаті за даними спостережень багатьох ЛЛС станцій можна отримати високоточні параметри орбіти супутника.

**Кутикові відбивачі.** Високоточна ЛЛС на міліметровому рівні точності можлива лише для супутників, обладнаних спеціальними (кутиковими) відбивачами, які виконують низку важливих функцій:

- забезпечують відбивання значної частини падаючого лазерного імпульсу у зворотньому напрямку, яка є достатньою для реєстрації приймачами випромінювання;
- дають можливість проведення ЛЛС спостережень для проходжень супутника від зеніту до горизонту станції;
- забезпечують коректне приведення результатів ЛЛС до центра мас супутника, для якого власне й визначається орбіта.

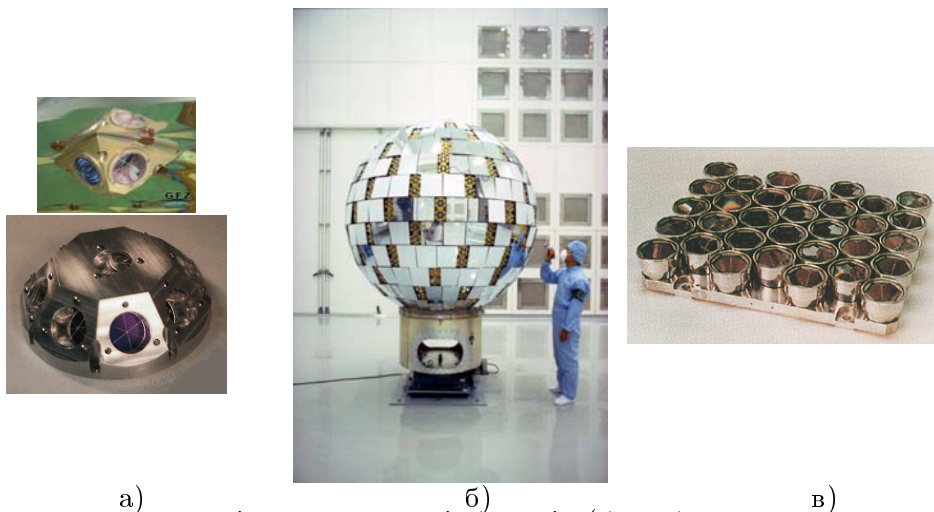


Рис. 2. Типи масивів кутикових відбивачів (без збереження масштабу). < Взято із [http : //ilrs.gsfc.nasa.gov](http://ilrs.gsfc.nasa.gov) >

Відбивач виконаний із плавленого кварцу, показник заломлення якого  $n(\lambda = 532 \text{ нм}) = 1.4607$ , має форму зрізаного кута куба, грані якого алюміновані, повернутого зрізом до спостерігача. Такий відбивач повертає оптичний імпульс у зворотньому напрямі при кутах падіння аж до  $70^\circ$ . На супутниках встановлюють такі масиви відбивачів:

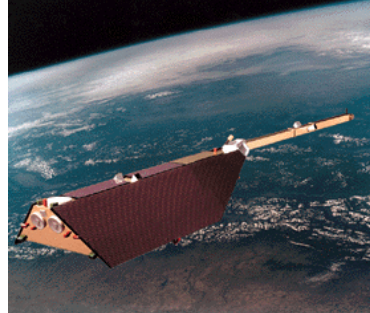
- Низькоорбітальні супутники — 4–9 відбивачів (рис. 2, а).
- Геодезичні — 60–1500 відбивачів (рис. 2, б).

- Навігаційні — 30–400 відбивачів на площині (рис. 2, в).

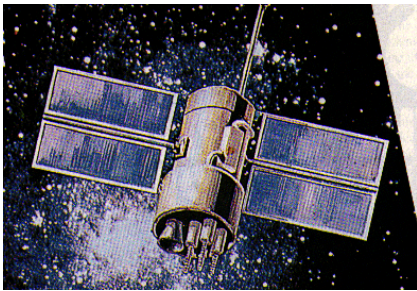
**Типи супутників.** Таке розмаїття масивів пов’язане із задачами супутникової місії (рис. 3), висотою орбіти супутника. Наприклад: що далі супутник від спостерігача, то більший має бути масив відбивачів — низькоорбітальні  $\sim 1000$  км, тоді як навігаційні  $\sim 20000$  км.



Геодезичні



Зондування Землі



Навігаційні



Експериментальні

Рис. 3. Типи і форми супутників за їх застосуванням. < Взято із <http://ilrs.gsfc.nasa.gov> >

**Задачі ЛЛС.** Первинною задачею є визначення топоцентричної відстані до супутника з міліметровою точністю. Це своєю чергою дає змогу визначати параметри орбіти супутника й розв’язувати цілу низку наукових прикладних і фундаментальних задач.

Лазерна локація супутників, разом з глобальною навігаційною супутниковою системою (ГНСС, у англ. Global Navigation Satellite System — GNSS), РНДБ і доплерівськими спостереженнями (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite — DORIS) (рис. 4) [2], визначає і підтримує ITRS.

ЛЛС забезпечує однозначну реалізацію геоцентра, тобто початок відліку ITRS, за допомогою спостережень спеціально обладнаних геодезичних супутників серії *LAGEOS* (LAsER GEODynamics Satellite), *EtaIon* та ін. Крім цього, ЛЛС робить значний внесок у визначення масштабу ITRF. ЛЛС навігаційних супутників (рис. 5, 6) здійснює прив’язку системи відліку ГНСС до центра мас Землі. Між іншим,

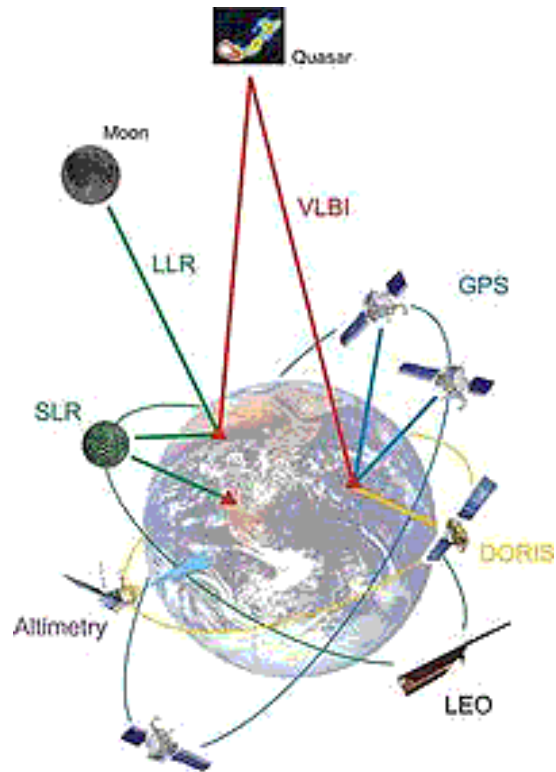


Рис. 4. Методи космічної геодезії та геодинаміки.



Рис. 5. Супутник *GPS*. < Взято із <http://ilrs.gsfc.nasa.gov> >



Рис. 6. Супутник *GIOVE – A* (Galileo In-Orbit Validation Element). < Взято з <http://www.esa.int> >

усі супутники місії *GALILEO* (рис. 6) мають лазерні кутикові відбивачі для контролю за їх орієнтацією.

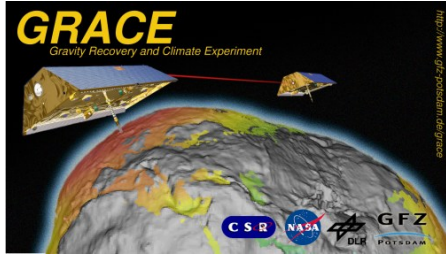


Рис. 7. Супутники проекту *GRACE* (Gravity Recovery And Climate Experiment).



Рис. 8. Супутник *GOCE* (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer). < Взято із <http://ilrs.gsfc.nasa.gov> >

До запуску супутників місії *CHAMP* у 2000 р., *GRACE* (рис. 7) у 2002 р. та *GOCE* (рис. 8) у 2009 р. ЛЛС була єдиною службою, здатною забезпечити точне визначення гравітаційного поля Землі з досить високим просторовим розділенням. Проте чи означає це, що ЛЛС на початку XXI ст. може бути викреслена із необхідних засобів для визначення гравітаційного поля? Відповідь — однозначно “Ні”. Хоча техніка ЛЛС не може забезпечити вищу точність часового і просторового розділення визначення гравітаційного поля Землі (головним чином через відсутність постійних спостережень), вона є і залишатиметься необхідною для:

1. визначення геоцентричної відстані до супутника;
2. калібрування й уточнення елементів орбіт низькоорбітальних супутників (обладнаних приймачами системи GPS);
3. визначення найнижчого ступеня і порядку коефіцієнтів гравітаційного поля, включаючи їх часові зміни;
4. підтвердження значень параметрів гравітаційного поля, отриманих за допомогою нових космічних місій.

ЛЛС також забезпечує калібрування бортових альтиметрів низькоорбітальних супутників, напр. *JASON*, *ENVISAT*, *ICESAT* та інших, за допомогою яких проводяться дослідження топографії Земної поверхні, Світового Океану, Льодовикового шару (рис. 9, 10).

Високоточні дані ЛЛС спостережень дають змогу проводити фундаментальні дослідження, зокрема у загальній теорії відносності. Розв'язок задачі на рух тестової частинки в полі тяжіння масивного тіла, що обертається, отримав назву ефекту Ленса–Тірінга. Припускається, що, окрім ефекту викривлення простору–часу навколо такого об'єкта внаслідок його масивності (ефект де Сітера, див. далі (рис. 11)), має виникати спотворення простору–часу відповідно до напрямку обертання центрального тіла. За аналогією до електромагнітного поля, такий ефект називають гравітомагнетним. Виявляється

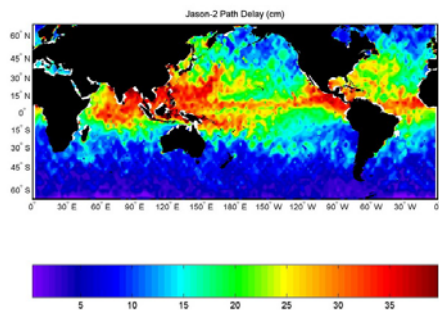


Рис. 9. Дані топографії Світового океану. < Взято із European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) >

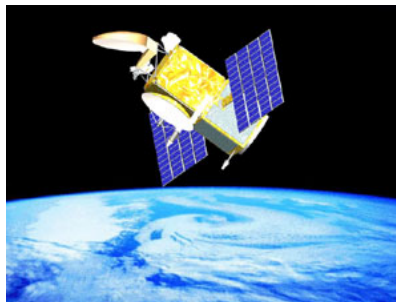


Рис. 10. Супутник *Jason-2*. < Взято із <http://ilrs.gsfc.nasa.gov> >

цей ефект у додатковій прецесії вузлів орбіти супутника [13]

$$\dot{\Omega}^{Lense-Thiring} = \frac{2GJ}{c^2 a^3 (1 - e^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (1)$$

де  $G$  – гравітаційна стала;  $J$  – момент інерції центрального тіла;  $a$  – велика піввісь орбіти супутника;  $e$  – ексцентриситет орбіти супутника;  $c$  – швидкість світла.

Для точнішого визначення негравітаційних збурень орбіти заплановано додатково, окрім LAGEOS, задіяти супутник LARES [14], вивівши його на орбіту 1200 км.

Для експериментального підтвердження геодезичної прецесії (ефект де Сітера) — зміни напрямку осі обертання тіла що обертається та рухається у викривленому просторі-часі, — виконується проект *GP-B* (рис. 11).

ЛЛС не обмежується максимальною відстанню 20000 км для навігаційних супутників. Проводяться також лазерні спостереження Місяця, тобто відбивачів, залишених місяцями “Аполон” та “Луноход”, а також у 2009 р., і супутника Місяця — супутник LRO (рис. 12). Основне завдання LRO – проведення досліджень для забезпечення у майбутньому довготривалого перебування людини на Місяці. Космічний апарат перебуває на коловій орбіті навколо Місяця на висоті 50 км. ЛЛС спостереження LRO якоюсь мірою відрізняються від класичної лазерної локації супутників. ЛЛС система супутника LRO вимірює локаційне запізнення (однобічне) від Землі до супутника, на відміну від двобічного для навколосупутникових супутників, для визначення місцеположення відносно Землі та центра Місяця. Завдання ЛЛС спостережень LRO — прецизійне визначення орбіти супутника. Бортова ЛЛС система супутника LRO складається із приймального телескопа, що захоплює лазерний імпульс наземної ЛЛС станції, та оптоволоконного кабеля, що передає його до лазерного висотоміра. Вже він реєструє час надходження лазерного сигналу, записує цю інформацію

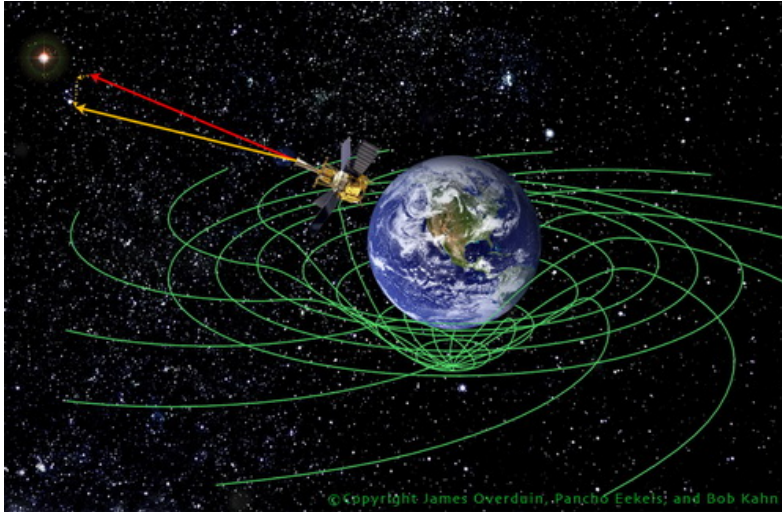


Рис. 11. Проект *GravityProbe – B*. < Взято із <http://ilrs.gsfc.nasa.gov> >

та передає її у бортову систему обробки даних для збереження або передавання на Землю по радіозв'язку.

Лазерна локація продовжує забезпечувати важливий внесок у визначення елементів орбіти супутників, контроль і калібрування систем дистанційного зондування, виробництва наукових продуктів, необхідних для розв'язання широкого діапазону геофізичних і геодинамічних задач. Ці види діяльності ЛЛС значно прискорили прогрес у вивченні важливих фізичних процесів, що стосуються стану і стабільності Землі та навколоземного простору.

### 3. ДІЯЛЬНІСТЬ МІЖНАРОДНОЇ СЛУЖБИ ОБЕРТАННЯ ЗЕМЛІ

Наприкінці ХХ ст. Міжнародний Астрономічний Союз і Міжнародний Союз Геодезії та Геофізики створили Міжнародну службу обертання Землі (International Earth Rotation Service — IERS). Вона об'єднує діяльність служб, створених з метою поліпшення координації спостережень та обробки даних, зокрема ILRS (рис. 13).

Космічна ера внесла якісно нові зміни у діяльність цих організацій і стимулювала створення мереж станцій нового покоління — мереж станцій космічної геодезії, а саме ЛЛС станцій, доплерівських станцій, станцій радіотехнічних спостережень супутників глобальних навігаційних систем.

1 січня 1988 р. IERS перейшла на нові методи спостережень для визначення параметрів обертання Землі — ЛЛС і РНДБ (рис. 4). Починаючи з 2003 р. IERS реорганізована у Міжнародну службу обертання Землі та систем відліку.



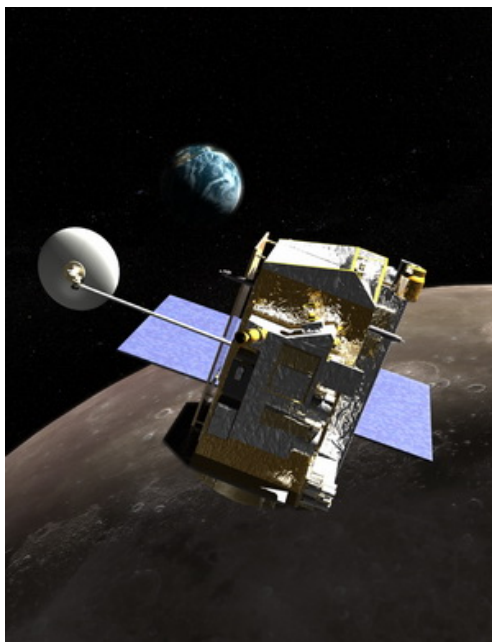


Рис. 12. Супутник Місяця *LRO* (Lunar Reconnaissance Orbiter).  
< Взято із <http://ilrs.gsfc.nasa.gov> >

Спостережна база IERS формується такими службами, як ILRS, IVS (International VLBI Service), IGS (International GPS Service), IDS (International DORIS Service), що забезпечують потреби астрономії, геодезії та геофізики інформацією про :

- міжнародну небесну систему координат (International Celestial Reference System — ICRS) та її реалізації (International Celestial Reference Frame — ICRF);
- міжнародну земну систему координат (International Terrestrial Reference System — ITRS) та її реалізації (International Terrestrial Reference Frame — ITRF);
- параметри обертання Землі з метою здійснення переходу від ICRF до ITRF та дослідження динаміки Землі;
- геофізичні параметри, необхідні для вивчення динаміки Землі;
- стандарти і моделі, рекомендовані в цих напрямках науки.

IERS публікує річні звіти про свою діяльність, місячні та добові дані про параметри обертання Землі та їх прогноз, про різниці шкал



Рис. 13. Світова система геодезичних спостережень Міжнародного геодезичного союзу. < Взято із <http://ilrs.gsfc.nasa.gov> >

часу тощо [12]. Успішна діяльність IERS можлива лише за умови активної участі в її роботі наукових установ багатьох країн світу та міжнародних організацій.

### 3.1. Мережа лазерно-локаційних станцій ILRS

Міжнародна служба лазерної локації, як офіційний технічний сервіс [7], виконує низку важливих задач:

- координує діяльність усіх міжнародних мереж ЛЛС станцій;
- розробляє стандарти і специфікації, необхідні для відповідності продуктів спостережень;
- розробляє стратегії та пріоритети лазерної локації, необхідні для підвищення ефективності мережі;
- збирає, аналізує, архівує і розподіляє дані супутникової та місячної лазерної локації для задоволення потреб споживачів;
- забезпечує контроль за якістю і технічну діагностику глобальної мережі;
- співпрацює з новими супутниковими місіями з метою розробки та вдосконалення кутикових відбивачів для збільшення якості й кількості даних;

- співпрацює з науковими програмами з метою оптимізації наукових даних;
- підтримує впровадження нових технологій для поліпшення ефективності даних.

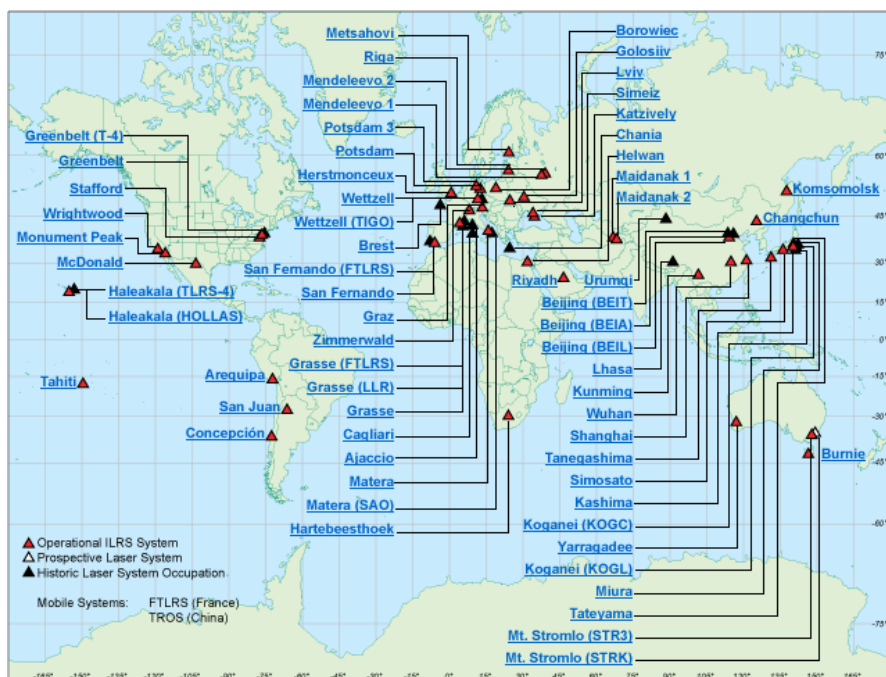


Рис. 14. Карта станцій мережі ILRS. Взято із <http://ilrs.gsfc.nasa.gov>

Сьогодні мережа ILRS налічує біля 50 станцій у більш ніж тридцяти країнах світу (рис. 14). Останні роки характеризуються значним підвищенням активності в межах ILRS. Упродовж останніх кількох років ILRS підтримала 28 нових супутникових місій, включаючи пасивні геодезичні (геодинамічні) штучні супутники, навігаційні супутники, технічні місії та супутники дистанційного зондування Землі. Була завершена підтримка таких космічних місій, як *GFO* – 1 (рис. 15), *Meteor* – 3М (рис. 16), *TOPEX/Poseidon*, причому у перших двох вийшли з ладу приймачі системи GPS, і ЛЛС залишалась єдиною технікою, що забезпечувала високоточні визначення орбіти супутників.

Нові супутники *TerraSAR-X*, *PROBA-2*, *Jason-2* (рис. 10) та ін. продовжують моніторинг глобальної океанічної циркуляції та дослідження океанічних припливів, сприяють поліпшенню кліматичних прогнозів.

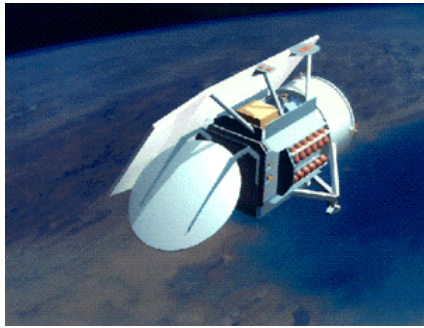


Рис. 15. Супутник *GFO – 1* (GEOSAT Follow-On 1). < Взято із [http:// ilrs.gsfc.nasa.gov](http://ilrs.gsfc.nasa.gov) >



Рис. 16. Супутник *Meteor – 3M*. < Взято із <http://www-sage3.larc.nasa.gov/meteor-3m/> >

### 3.2. Українська мережа постійно діючих станцій ЛЛС

Українська (рис. 17) мережа станцій лазерної локації ШСЗ входить до складу міжнародної мережі станцій, яку координує служба ILRS. Діяльність української мережі ЛЛС станцій, яка є складовою національної Укргеокосмомережі, узгоджується Українським центром визначення параметрів обертання Землі [9, 12].

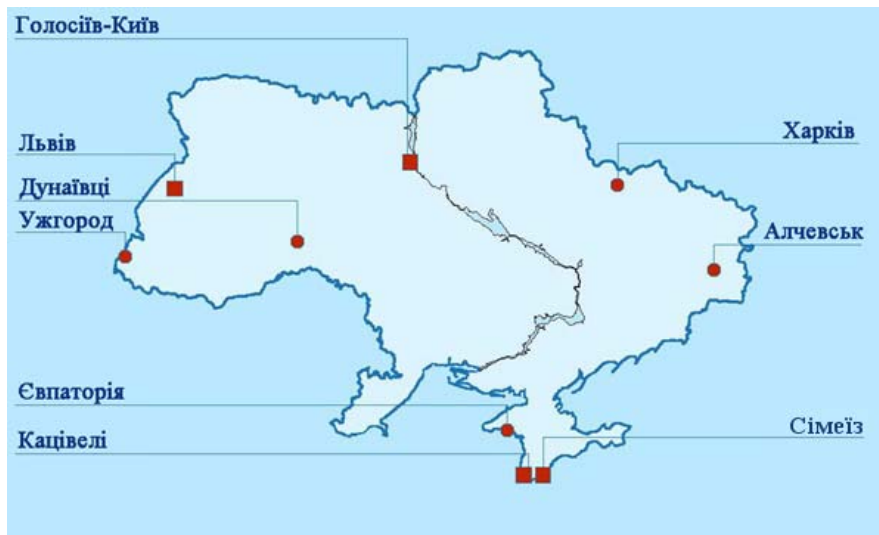


Рис. 17. Мережа ЛЛС станцій України. Взято із <http://www.mao.kiev.ua/EOP>

Вона об'єднує чотири станції лазерної локації (рис. 18): “Голосіїв-Київ”, “Львів”, “Сімеїз”, “Кацівелі”, які інтегровані в Міжнародну

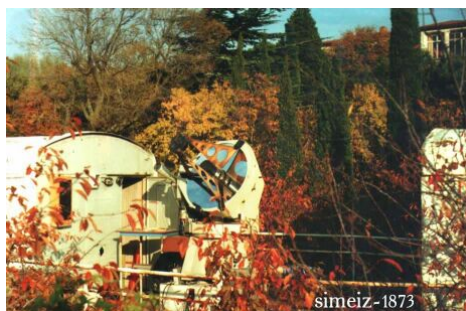
службу лазерної локації і беруть участь у виконанні міжнародних наукових програм. Крім цього, в експериментальному режимі в Україні працюють ще чотири лазерно-локаційні станції: “Ужгород”, “Алчевськ”, “Дунаївці”, та “Євпаторія”.



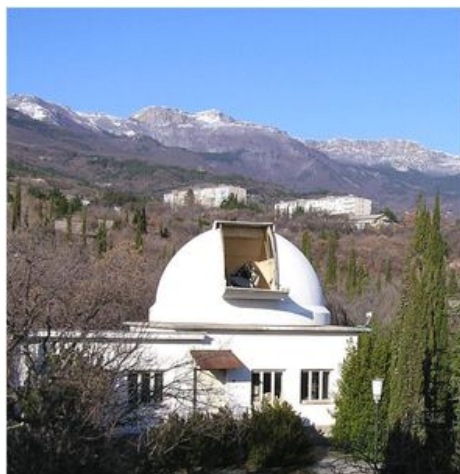
Київ-1824



Львів-1831



Сімеїз-1873



Кацивелі-1893

Рис. 18. Робочі ЛЛС станції мережі УЦПОЗ НАНУ.

Результати спостережень супутників, отримані українськими ЛЛС-станціями, публікуються в Інтернеті на сайтах міжнародної служби ILRS та Української мережі УЦПОЗ ГАО НАНУ <sup>1</sup>. Укргео-космомережа бере активну участь у відповідних міжнародних службах, у виконанні національних програм з встановлення систем координат і служби часу. Результати роботи українських станцій активно використовують державні наукові організації, зокрема Український центр визначення параметрів орієнтації Землі (УЦПОЗ), міжнародні

<sup>1</sup><http://www.mao.kiev.ua/EOP/>

наукові організації.

#### 4. ЛЛС СТАНЦІЯ “ЛЬВІВ-1831”

Львівська станція лазерної локації супутників була заснована в 1987 р. у Астрономічній обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка (ЛНУ) і розташована на заміській станції спостережень Астрономічної обсерваторії ЛНУ у смт. Брюховичі.



Рис. 19. Лазерний віддалемір 2-го покоління (1980-ті роки).



Рис. 20. Лазерна станція 3-го покоління (сучасний стан): телескоп ТПЛ-1М.

Науково-технічні роботи на станції (рис. 19) проводили при підтримці міжвузівської науково-технічної програми Міністерства вищої і середньої спеціальної освіти УРСР “Підвищення ефективності спостережень за положенням штучних небесних тіл при рішенні прикладних астрофізичних і геофізичних задач з застосуванням лазерів” (1988–1993) та проекту “Створення і забезпечення постійної експлуатації мережі лазерно-локаційних станцій спостережень штучних супутників Землі на території України для рішення задач екології, ресурсозбереження, геодезії, картографії, навігації і метеорології” (1992–1996). У 2003–2009 рр. на станції (рис. 20) виконували науково-технічні роботи за підтримки Державної програми “Створення і розвиток державної служби єдиного часу і еталонних частот” (проект “Орієнтація”). Усі роботи виконували під керівництвом Олександра Олексійовича Логвиненка (1936-2007). Значний обсяг робіт виконано за підтримки та безпосередньої участі колективу Державного міжвузівського центру “Оріон” (м. Алчевськ).

У 2002 р. ЛЛС станція увійшла до Міжнародної мережі лазерних станцій ILRS під акронімом LVIL, із міжнародним кодом системи 1831 та павільйону 12368S001, а також до національної мережі

Українського центру визначення параметрів обертання Землі Головної астрономічної обсерваторії НАН України. За результатами ЛЛС спостережень визначено координати станції “Львів-1831”: широта  $49^{\circ}55'3''.36$  пн.ш., довгота  $23^{\circ}57'25''.92$  сх.д., висота 359.368 м, або  $X = 3760674.975$  м,  $Y = 1670776.340$  м,  $Z = 4857165.479$  м.

Будова і засоби спостереження лазерно-локаційного пункту дають змогу локувати об'єкти на відстанях понад 900 км, спостережуваний діапазон неба — напівсфера з “мертвими” зонами поблизу зеніту та над горизонтом до  $15^{\circ}$ . На даний момент проводяться спостереження низьких ШСЗ та LAGEOS-1 і LAGEOS-2 у нічний час при освітленні їх Сонцем (видимі проходження для візуального гідуювання). Проводяться роботи з підвищення точності спостережень і можливості проведення локацій неосвітлених ШСЗ у нічний час (проходження через тінь Землі).

#### 4.1. Структура лазерно-локаційної станції

Функціональна блок-схема ЛЛС станції “Львів” [5, 10, 11] представлена на рис. 21. Можна виділити такі головні блоки станції:

1. Телескоп ТПЛ-1М на альт-азимутальному монтуванні. Максимальна робоча швидкість повороту по осях становить  $2^{\circ}/\text{с}$ . Діаметр головного дзеркала 1 м (рис. 22) [5].
2. Генератор монохроматичного випромінювання – неодимовий імпульсний лазер SL-212 (рис. 23) – довжина хвилі 532 нм, тривалість імпульсу 150 пс, максимальна енергія імпульсу 100 мДж, частота імпульсів 5 Гц.
3. Вимірювально-керівна система:
  - (a) блок управління роботою телескопа з адаптером, який призначений для керування динамічними елементами телескопа, а саме – кроковими двигунами (які реалізують рух телескопа по азимуту і висоті) та системою дзеркал приймач-передавач. Крім цього через БУР реалізується часова синхронізація комп'ютера, який керує телескопом.
  - (b) система вимірювання і комп'ютерної обробки сигналів: приймач випромінювання (ФЕП-136), підсилювач, дискримінація ORTEC935, таймер подій A911 (на рис. 24 — Comtis) та персональний комп'ютер із пов'язуючим адаптером.
4. Служба часу і частоти (рис. 25) призначена для відтворення сигналів еталонних частот і шкали часу, які синхронізують роботу приладів вимірювально-керівної системи. Вона реалізована на базі рубідієвого стандарту СЧВ-74 та кварцового синхронометра Ч7-37. Номинал частоти і часу контролюється за сигналами частоти і часу з використанням GPS приймача (Motorola UTOncore). Точність часової прив'язки 0.5 мкс.

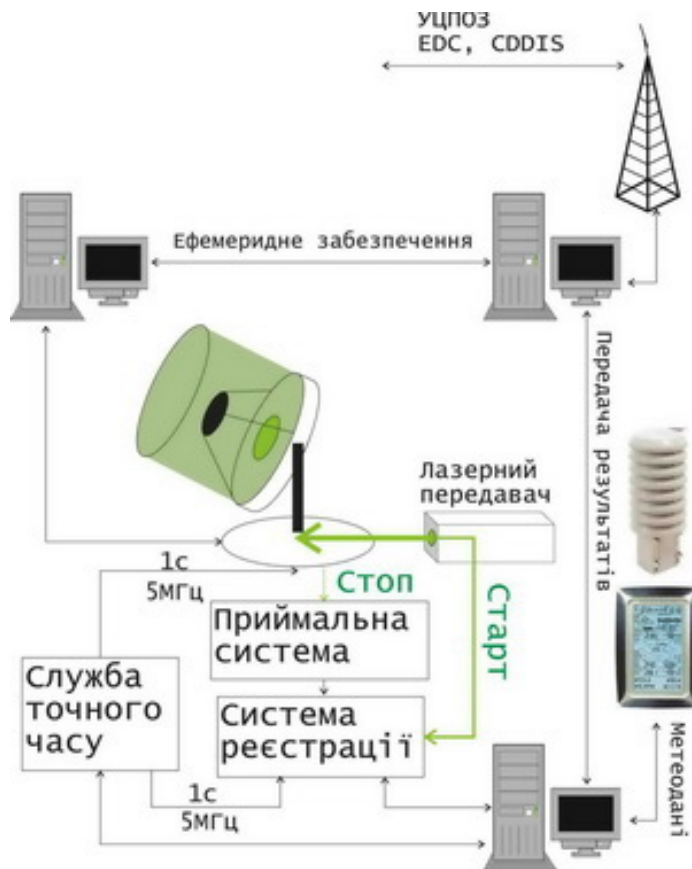


Рис. 21. Блок-схема ЛЛС станції "Львів".

#### 4.2. Напрями наукової діяльності

- Оптичні спостереження супутників – фотометричні, позиційні та лазерні [11].
- Дослідження та вдосконалення оптичних засобів спостереження за супутниками.
- Автоматизація проведення астрономічних спостережень, зокрема за супутниками.
- Розробка програмного забезпечення для спостережень в операційних системах Linux та Real-Time Linux:
  - керування телескопом [8].
  - метеостанція (рис. 26), база даних спостережень, оперативна попередня обробка результатів спостережень.



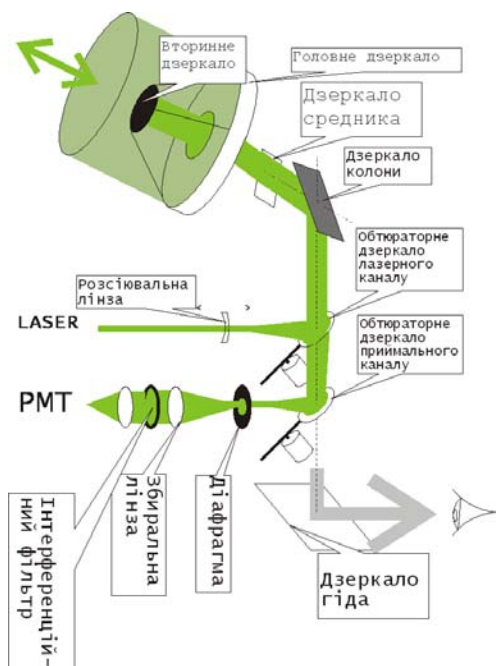


Рис. 22. Оптична схема телескопа ТПЛ-1М.

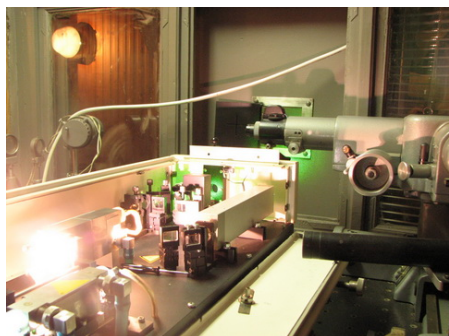


Рис. 23. Лазерний передавач SL-212 у роботі.



Рис. 24. Стійка реєструвальної апаратури.

#### 4.3. Результати. Програми. Співпраця. Досягнення.

Із 2002 р. проводяться спостереження ШСЗ в межах роботи станції у міжнародній мережі ILRS і Державної програми «Створення та розвиток Державної служби єдиного часу і еталонних частот» (проект «Орієнтація»). За цей час проведено спостереження 1260 проходжень низькоорбітальних супутників (отримано 20776 нормальних точок) та

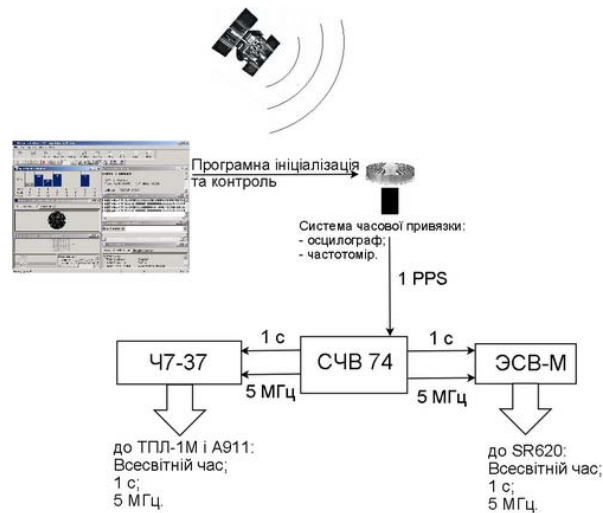


Рис. 25. Блок-схема служби часу ЛЛС станції "Львів".

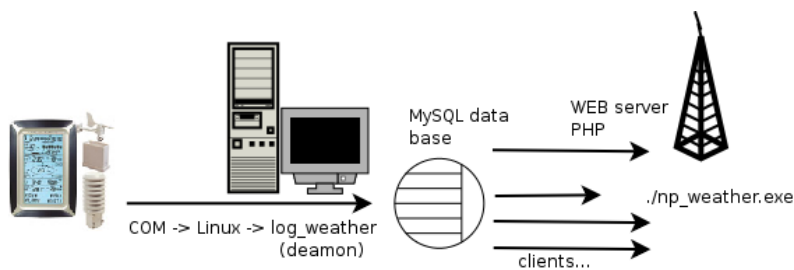


Рис. 26. Блок-схема потоку метеоданих.

253 проходження супутників серії LAGEOS (2233 нормальні точки).

Колектив станції співпрацює з IERS, ГАО НАНУ, ЛЛС станціями України, НУ "Львівська політехніка", Національним центром управління та випробовування космічних засобів Національного космічного агентства України, НДІ "Миколаївська АО", Лабораторією космічних досліджень Ужгородського НУ, ДМЦ "Оріон", ЛЛС станцією "Рига", Інститутом астрономії Російської АН, КБ "Південне".

У 2008 р. ЛЛС станція "Львів-1831" у складі "Науково-дослідного комплексу апаратури для вивчення штучних небесних тіл ближнього космосу астрономічної обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка" внесена до Державного реєстру наукових об'єктів, що становлять національне надбання.

## 5. ВИСНОВКИ

Мережа лазерно-локаційних станцій, у якій працює станція “Львів-1831”, передає високоточні результати для Міжнародної служби обертання Землі, яка з 1988 р. перейшла на нові методи спостережень для визначення параметрів обертання Землі, зокрема на лазерну локацію штучних супутників. ЛЛС визначає і підтримує геоцентричну систему координат. Для виконання всіх наукових і технічних завдань лазерно-локаційні спостереження мають відповідати певним вимогам точності, а саме – міліметри для нормальної точки та 1–2см для похибки одного виміру.

Українська мережа станцій лазерної локації ШСЗ входить до Європейської гілки Міжнародної служби лазерної локації, її діяльністю курує Український центр визначення параметрів обертання Землі.

ЛЛС станція “Львів-1831” є станцією третього покоління у міжнародній класифікації. Із її допомогою можна проводити лазерні віддалемірні спостереження спеціалізованих ШСЗ з точністю до 10 см по всіх точках (1 см по нормальних точках). Лазерно-локаційна станція “Львів-1831” виконує спостереження штучних супутників згідно з сучасними вимогами і стандартами національного проекту Укргеокоммережі. Результати, отримані станцією, беруть участь у створенні Міжнародної земної системи координат (ITRS) та її реалізації (ITRF), що сприяє розгортанню системи базового координатно-часового забезпечення України.

## Подяки

Дякуємо Степану Апуновичу, науковому співробітнику Астрономічної обсерваторії ЛНУ, за допомогу при написанні цієї статті, обговорення нових результатів космічних експериментів з дослідження ефектів загальної теорії відносності, а також за допомогу в перекладі низки наукових термінів.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Лазерная локация. Под ред. чл.-кор. АН СССР Н.Д. Устинова. М.: Машиностроение, 1984. 272 с.
- [2] Навігація. Основи визначення місцеположення та скеровування. Б. Гофманн-Велленгоф, К. Легат, М. Візер; Пер. з англ. за ред. Я.С. Яцківа. Львів: Львів. нац. ун-т імені Івана Франка, 2006. 443 с.
- [3] Астрономічний енциклопедичний словник. За ред. І.А. Климишина та А.О. Корсунь. Львів, 2003. 548 с.
- [4] *Degnan J.J.* Satellite Laser Ranging: Current Status and Future Prospects. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1985. **GE -23**. № 4. 398–413.

- [5] *Кокурин Ю.Л., Курбасов В.В., Сузановский А.Н., Шубин С.Г., Абеле М.К.* Техническое описание и инструкция по эксплуатации станций лазерно-локационных “Крым”. М.: Физ. ин-т им.П.Н.Лебедева, 1989. 133 с.
- [6] *Degnan J.J.* Millimeter Accuracy Satellite Laser Ranging. Geodynamics Series. Contributions of Space Geodesy to Geodynamics: Technology. 1993. **25**. 133–162.
- [7] *Pearlman M.R., Degnan J.J., and Bosworth J.M.* The International Laser Ranging Service. Advances in Space Research. 2002. **30**, № 2. 135-143.
- [8] *Билинский А.И., Мелех Б.Я.* Управление работой лазерного дальномера в системе RTLinux. Проблемы управления и информатики. 2005. № 2. 103–106.
- [9] Укргеокосмосмережа. Українська мережа станцій космічної геодезії та геодинаміки. К.: Компанія ВАІТЕ, 2005. 60 с.
- [10] *Blagodyr Ja., Bilinsky A., Martynuk-Lototsky K., Lohvynenko O., Virun N.* Overview and performance of the Ukrainian SLR station “Lviv-1831”. Artificial Satellites. 2007. **42**, № 1. 9-15.
- [11] *Благодыр Я.Т., Билинский А.И., Логвиненко А.А., Мартынюк-Лотоцкий К.П., Вовчик Е.Б., Апуневич С.В., Вирун Н.В., Клым Б.П., Почапский Е.П.* Комплекс для оптических наблюдений ИСЗ АО ЛНУ. Матер. Междун. конф. “Наблюдение околоземных космических объектов”. Звенигород (Россия), 2007. 3 с. Доступный: <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000018/Lvov>.
- [12] Бюлетень Українського центру визначення параметрів обертання Землі. За ред. О.В. Болотіної. К., 2008. № 1.- 104 с.
- [13] *Ciufolini I., Pavlis E. C.* A confirmation of the general relativistic prediction of the Lense-Thirring effect. Nature. 2004. **431**. 958–960.
- [14] *Iorio L.* Towards a 1% measurement of the Lense-Thirring effect with LARES? Advances in Space Research. 2009. **43**. Iss. 7. 1148-1157.

## SATELLITE LASER RANGING. SLR STATION “LVIV–1831”

*Andriy BILINSKY, Sofiya APUNEVYCH  
Yaroslav BLAGODYR, Eva VOVCHYK, Natalia VIRUN*

Lviv Ivan Franko National University,  
8 Kyrylo and Mefodiy Str., Lviv 79005  
e-mail: slr1831@ukr.net

The current status and capabilities of one of the geodetic techniques – satellite laser ranging is presented. The Lviv astronomical observatory satellite laser ranging station is described within the international network. The main scientific research areas and their results are presented.