



ЗАХАРЕНКО

Вячеслав Володимирович — академік НАН України, доктор фізико-математичних наук, директор Радіоастрономічного інституту НАН України

РОЗВИТОК НИЗЬКОЧАСТОТНОЇ РАДІОАСТРОНОМІЇ В УКРАЇНІ

**Стенограма доповіді на засіданні
Президії НАН України 5 листопада 2025 року**

У доповіді зазначено, що радіоастрономічні дослідження в низькочастотному діапазоні є одним із пріоритетних напрямів сучасної науки, в якому Україна традиційно посідає провідні позиції. Наведено короткий історичний експурс у розвиток цього напрямку в Україні. Наголошено, що найважливішим стратегічним завданням на сьогодні є збереження та підтримка національної школи радіоастрономії, а також відновлення і модернізація найбільшого у світі низькочастотного радіотелескопа УТР-2, унікальна наукова інфраструктура якого зазнала значних пошкоджень унаслідок збройної агресії РФ.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні колеги!

Народження радіоастрономії відбулося саме у низькочастотному діапазоні — на довжині хвилі 14 м. У серпні 1931 р. американський радіоінженер компанії Bell Labs Карл Янський, вивчаючи вплив атмосферних завад на трансатлантичний радіотелефонний зв'язок, виявив джерело постійних радіошумів невідомого походження. Так було відкрито випромінювання диска нашої Галактики в декаметровому діапазоні хвиль. Слід зазначити, що цей діапазон космічного радіовипромінювання є найбільш низькочастотним для проведення спостережень безпосередньо з поверхні Землі, оскільки ще нижчі частоти відбиваються земною іоносферою.

Якби ми могли бачити в низькочастотному діапазоні, картина Всесвіту була б для нас зовсім іншою: тьмяна пляма Сонця, яскравий Галактичний диск, залишки наднових, окремі радіогалактики. При цьому іноді нас засліплювали б сплески на Сонці та радіоштурми Юпітера. На відміну від високих частот, у низькочастотній радіоастрономії переважають нетеплові механізми, породжуючи синхротронне радіовипромінювання (галактичний і позагалактичний фон, радіогалактики, квазари), когерентне радіовипромінювання в магнітоактивній плазмі (активне Сонце і зорі, пульсари, планетарні гіганти і гігантські

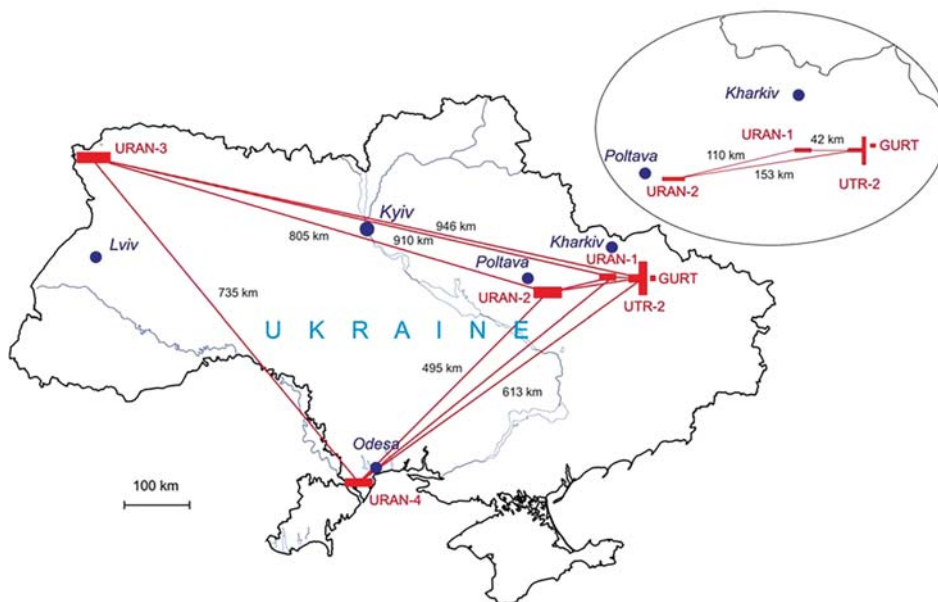


Рис. 1. Розміщення на території України сузір'я низькочастотних радіотелескопів УТР-2, УРАН і ГУРТ та відстані між ними

екзопланети), радіовипромінювання електро-статичних розрядів (блискавки на планетах та екзопланетах), монохроматичне вимушене радіовипромінювання високозбуджених атомів (лінії рекомбінації міжзоряних атомів).

У величезному потенціалі декаметрового діапазону для дослідження маловідомих космічних об'єктів був упевнений один із засновників низькочастотної радіоастрономії у світі Семен Якович Брауде. Під його керівництвом було створено рекордні за параметрами інструменти: у 1960-х роках побудовано радіотелескоп УТР-1, а в 1971 р. введено в дію найбільший у світі радіотелескоп декаметрових хвиль УТР-2 з ефективною площею 150 тис. м². Згодом в Україні створили унікальну систему декаметрових інтерферометрів (рис. 1), до якої крім УТР-2 входять ще чотири досить великі радіотелескопи серії УРАН і радіотелескоп нового покоління ГУРТ, які разом покривають практично всю Україну (сумарна ефективна площа 200 тис. м² з базами між пунктами до 950 км), що й забезпечило лідерські позиції України у світовій низькочастотній радіоастрономії.

З появою такого потужного і високочутливого інструмента, як УТР-2, вже невдовзі було отримано визначні результати: у журналі «Na-

ture» у 1973 і 1976 роках вийшли друком дві статті Ю.М. Брука і Б.Ю. Устименка про детектування найнижкочастотнішого випромінювання пульсарів, а дещо пізніше, у 1980 і 1981 роках, — статті О.О. Коноваленка і Л.Г. Содіна, присвячені відкриттю радіорекомбінаційних ліній вуглецю в декаметровому діапазоні.

Великою мірою завдяки успіхам українських радіоастрономів у середині 1990-х років інтерес міжнародної наукової спільноти до низькочастотної радіоастрономії значно зріс. У різних країнах світу почали будувати великі низькочастотні радіотелескопи: європейський LOFAR (Low Frequency Array), американський LWA (Long Wavelength Array), французько-український NenuFAR. Зараз у процесі реалізації перебуває великий міжнародний проєкт SKA (Square Kilometer Array) з розміщенням антен у Південній Африці та Австралії.

Однак чутливість іноземних низькочастотних радіотелескопів саме в декаметровому діапазоні залишається недостатньою. Про те, що жоден новий низькочастотний радіотелескоп не досяг чутливості УТР-2, свідчить відсутність повідомлень про детектування блискавок в атмосфері Сатурна, які було відкрито понад 45 років тому в місії автоматичного роботи-



Рис. 2. Схематичне зображення антенного елемента, розташування цих елементів у секції та зовнішній вигляд секцій широкосмугового радіотелескопа нового покоління ГУРТ

зованого космічного зонда «Вояджер». Лише один наземний інструмент — УТР-2 — продемонстрував здатність їх виявити, хоча це неодноразово намагалися зробити на інших телескопах.

Наступним значущим кроком у розвитку низькочастотної радіоастрономії в Україні стало розроблення концепції та створення базових блоків радіотелескопа нового покоління ГУРТ (Гігантський український радіотелескоп) з набагато більшою, ніж у УТР-2, смугою частот. Кожна секція радіотелескопа ГУРТ складається з 25 (5×5) надширокосмугових активних антенних елементів (рис. 2). На початковому етапі будівництва цього радіотелескопа було змонтовано 11 секцій, п'ять з яких уже повністю оснащено системами підсилення, фазування, телекомунікацій, контролю й керування, а шість перебувають на стадії завершення. Конструктивною перевагою радіотелескопа ГУРТ є поєднання аналогового та цифрового принципів фазування, що забезпечує гнучкість у формуванні променів антени, масштабованість системи, ефективність у побудові структур різного рівня складності — від окремої секції

до розгалужених багатосекційних комплексів. Такий підхід дає змогу значно підвищити ефективну площу приймання, забезпечити формування зображень та істотно збільшити можливості спостережень.

Намагання ще більше розширити діапазон частот і якомога краще захиститися від потужних радіозавад земного походження зумовило проведення робіт у межах цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень щодо розроблення проекту двокомпонентної космічної місії «Брауде-М». Одне із завдань цієї місії полягає в забезпеченні посадки на зворотному боці Місяця (поблизу кратера імені С.Я. Брауде) модуля з малим низькочастотним радіотелескопом, що працює не лише в декаметровому, а й у гектаметровому діапазоні (1—40 МГц). При цьому зв'язок радіотелескопа із Землею має забезпечувати орбітальний модуль.

Амбітною метою використання цього «місячного» телескопа є проведення експерименту з пошуку космологічної лінії нейтрального водню Темних віків. Темні віки — це інтервал часу в розвитку Всесвіту, коли випромі-

нювання «відірвалося» від речовини, але ніякі великі структури (зорі чи галактики) ще не встигли утворитися. Тоді основною спектральною лінією (випромінювання або поглинання) була лінія нейтрального гідрогену з довжиною хвилі 21 см. Згодом через розширення Всесвіту центр лінії змістився на 19 м, тобто в нашу епоху вона вся лежить у декаметровому діапазоні. І передумовою для пошуку цієї лінії стала рекордна чутливість 10^{-5} (dT/T), досягнута в детектуванні радіорекомбінаційних ліній вуглецю на радіотелескопі УТР-2, яка всього лише на два порядки менша за чутливість, потрібну для детектування лінії Темних віків.

У рамках зазначеної цільової програми було виконано всі етапи розроблення антенного елемента радіотелескопа і підсилювача з робочим діапазоном температур, характерних для місячних умов, а також проведено тестування антени.

Великою втратою для української та світової радіоастрономії стало серйозне пошкодження радіотелескопа УТР-2 внаслідок широкомасштабного воєнного вторгнення РФ. Ведення бойових дій і більш як піврічна окупація території Радіоастрономічної обсерваторії імені С.Я. Брауде завдали непоправної шкоди унікальній науковій інфраструктурі.

Однак, незважаючи на воєнний час, Радіоастрономічний інститут НАН України продовжує успішно виконувати практично всю заплановану програму досліджень. Зокрема, останніми роками знайдено декаметрове випромінювання ще у 20 пульсарів; продетектовано області з ефектом поглинання випромінювання в об'єктах, які містять холодну міжзоряну плазму як у неперервному спектрі, так і в низькочастотних рекомбінаційних радіолініях; ведуться спостереження Сонця, планет, залишків наднових та інших об'єктів як в автономному (на радіотелескопах ГУРТ, NenuFAR, УРАН), так і в багатоантенному режимі.

Завдяки самовідданим зусиллям колективу Радіоастрономічного інституту НАН України триває відновлення пошкоджених секцій радіотелескопа ГУРТ на території обсерваторії, а

також створення двох нових секцій комплексу, продовжуються роботи з розроблення нового радіоастрономічного приймача-реєстратора, що є наочною демонстрацією спроможності наших співробітників створювати складні високочутливі інструменти навіть під час війни. Однак головне наше завдання — відновлення унікального радіотелескопа УТР-2, зруйнованого і розграбованого під час окупації.

Сьогодні для утримання світового лідерства української низькочастотної радіоастрономії, збереження та розвитку національної школи радіоастрономії, на нашу думку, необхідно зробити такі кроки:

- розробити детальний план відновлення та модернізації радіотелескопа УТР-2 відповідно до проекту «Recovery plan for Ukrainian astronomy», презентованого 10—13 червня 2025 р. на міжнародній нараді в Лейдені (Нідерланди);
- забезпечити цільове фінансування (включно з грантами та партнерською допомогою) відновлення та модернізації радіотелескопа УТР-2 та виготовлення нових приймачів;
- підсилити кадровий потенціал Радіоастрономічного інституту НАН України, відповідних відділів і лабораторій Полтавської гравіметричної обсерваторії Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (УРАН-2) і Фізико-механічного інституту імені Г.В. Карпенка НАН України (УРАН-3);
- збільшити поточні витрати на відрядження, паливо, електроенергію тощо для забезпечення спостережень на всіх радіотелескопах системи УРАН з урахуванням зростання частки їхньої роботи через тимчасову втрату УТР-2.

Про авторитет української радіоастрономічної науки і значущість її внеску в розвиток глобальної радіоастрономії свідчить високий рівень зацікавленості європейських партнерів, їхня готовність до співпраці та спільної участі у відбудові зруйнованої війною наукової інфраструктури, що було підтверджено на вже згаданий нещодавній зустрічі в Нідерландах з презентацією Плану відновлення української астрономії. Європейські колеги високо цінують наші зусилля та готові допомогти у від-

новленні радіотелескопа УТР-2 матеріальними внесками (переданням апаратури), методичними рекомендаціями (навчання щодо використання переданої апаратури та програмного забезпечення) та фінансами (гранти, благодійні внески, партнерські програми).

Впевнені, що за цих умов план відновлення та модернізації радіотелескопа УТР-2 є реальним, досяжним і здійсненим на практиці.

Дякую за увагу!

*За матеріалами засідання
підготувала О.О. Мележик*

Vyacheslav V. Zakharenko

Institute of Radio Astronomy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9977-824X>

DEVELOPMENT OF LOW-FREQUENCY RADIO ASTRONOMY IN UKRAINE

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, November 5, 2025

The report states that radio astronomy research in the low-frequency range is one of the priority areas of modern science, in which Ukraine traditionally holds leading positions. A brief historical excursion into the development of this area in Ukraine is given. It is emphasized that the most important strategic task today is the preservation of and support for the national school of radio astronomy, as well as the restoration and modernization of the world's largest low-frequency radio telescope UTR-2, the unique scientific infrastructure of which has suffered significant damage as a result of the armed aggression of the Russian Federation.

Cite this article: Zakharenko V.V. Development of low-frequency radio astronomy in Ukraine (transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, November 5, 2025). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2026. (1): 43—47. <https://doi.org/10.15407/visn2026.01.043>