

УДК 537.86(09):550.388(09)

doi: 10.20998/2313-8890.2020.11.07

Кузьменко Наталія Олексіївна, канд. іст. наук, кафедра радіоелектроніки; E-mail: nkuzmenk@i.ua;
Левон Елена Олександрівна, канд. тех. наук, кафедра радіоелектроніки; E-mail: elena_levon@ukr.net,
 (ORCID: 0000-0002-9824-4403);
Козлов Сергій Сергійович, кафедра радіоелектроніки; E-mail: ksser300@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9638-5897;
Римар Сергій Іванович, кафедра радіоелектроніки; E-mail: sergeyumar@gmail.com;
 Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків, Україна.

ФОРМУВАННЯ СВІТОВОЇ МЕРЕЖІ НАУКОВИХ ЦЕНТРІВ З ДОСЛІДЖЕНЬ ІОНОСФЕРИ МЕТОДОМ НЕКОГЕРЕНТНОГО РОЗСІЯННЯ РАДІОХВИЛЬ

***Анотація.** У статті розглянуто етапи розвитку теорії методу некогерентного розсіяння, як одного з методів вивчення іоносфери. Висвітлено передумови заснування наукових осередків зі спостереження іоносфери методом некогерентного розсіяння, створення й розвиток експериментальної бази досліджень та формування світової мережі таких установ. Ідея методу НР належить американському вченому Уільяму Гордону. Метод НР став найбільш інформативним і точним методом дослідження практично всіх характеристик іоносфери. Він дозволяє вимірювати електронну концентрацію нижче й вище головного максимуму, що було неможливо при вертикальному зондуванні. Перевагою методу НР є те, що значну кількість характеристик іоносфери можна було вимірювати одночасно в значному інтервалі висот. Це порівнюється до запуску добре оснащеною геофізичної ракети. Тривалість таких досліджень порівняно з епізодичними ракетними спостереженнями робить цей метод унікальним. Сьогодні метод вважається найбільш інформативнішим і точним.*

***Ключові слова:** іоносфера, геокосмос, метод некогерентного розсіяння, Інститут іоносфери, Харківський політехнічний інститут*

Nataliia Kuzmenko, Ph.D, Department of Radioelectronics; E-mail: nkuzmenk@i.ua
Olena Levon, Ph.D, Department of Radioelectronics; E-mail: elena_levon@ukr.net, (ORCID: 0000-0002-9824-4403);
Sergey Kozlov, Department of Radioelectronics; E-mail: ksser300@gmail.com (ORCID: 0000 0001 9638 5897);
Sergey Rumar, Department of Radioelectronics; E-mail: sergeyumar@gmail.com
 National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, 2, Kyrpychova str., 61002, Kharkiv, Ukraine.

FORMATION OF THE WORLD NETWORK OF SCIENTIFIC CENTERS FOR THE STUDY OF THE IONOSPHERE BY THE INCOHERENT SCATTERING METHOD

***Abstract.** The article considers the stages of development of the theory of the method of incoherent scattering as one of the methods of studying the ionosphere. The preconditions for the establishment of scientific centers for ionosphere observation by the method of incoherent scattering, the creation and development of an experimental research base and the formation of a global network of such institutions are highlighted. The idea of the HP method belongs to the American scientist William Gordon. The HP method has become the most informative and accurate method of studying almost all the characteristics of the ionosphere. It made it possible to measure the electron concentration below and above the main maximum, which was impossible with vertical sounding. The advantage of the HP method is that a significant number of characteristics of the ionosphere could be measured simultaneously in a significant range of altitudes. This equates to launching a well-equipped geophysical missile. The duration of such studies compared to episodic missile observations makes this method unique. Today the method is considered the most informative and accurate.*

***Keywords:** ionosphere, geospace, incoherent scattering method, Institute of Ionosphere, Kharkiv Polytechnic Institute*

Кузьменко Наталья Алексеевна, канд. ист. наук., кафедра радиоэлектроники; E-mail: nkuzmenk@i.ua;
Левон Елена Александровна, канд. тех. наук, кафедра радиоэлектроники; E-mail: elena_levon@ukr.net,
 (ORCID: 0000-0002-9824-4403);
Козлов Сергей Сергеевич, кафедра радиоэлектроники; E-mail: ksser300@gmail.com, (ORCID: 0000-0001-9638-5897)
Римарь Сергей Иванович, кафедра радиоэлектроники; E-mail: sergeyumar@gmail.com
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002

ФОРМИРОВАНИЕ МИРОВОЙ СЕТИ НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ РАДИОВОЛН

***Аннотация.** В статье рассмотрены этапы развития теории метода некогерентного рассеяния, как одного из методов изучения ионосферы. Освещены предпосылки основания научных центров по наблюдению*

ионосферы методом некогерентного рассеяния, создание и развитие экспериментальной базы исследований и формирования мировой сети таких организаций. Идея метода НР принадлежит американскому ученому Уильяму Гордону. Метод НР стал самым информативным и точным методом исследования практически всех характеристик ионосферы. Он позволял измерять электронную концентрацию ниже и выше главного максимума, что было невозможно при вертикальном зондировании. Преимуществом метода НР э то, что значительное количество характеристик ионосферы можно было измерять одновременно в значительном интервале высот. Это приравняется к запуску хорошо оснащенной геофизической ракеты. Продолжительность таких исследований по сравнению с эпизодическими ракетными наблюдениями делает этот метод уникальным. Сегодня метод считается наиболее информативным и точным.

Ключевые слова: ионосфера, геокосмос, метод некогерентного рассеяния, Институт ионосферы, Харьковский политехнический институт

Постановка проблеми. Дослідження геокосмосу, зокрема іоносфери, займають чільне місце в українській і світовій науці оскільки мають як прикладний характер – радіозв'язок, так і сприяють розвитку фундаментальної науки про навколоземний космічний простір. Тому відтворення становлення та розвитку цього наукового напрямку становить суттєвий інтерес для історії науки і техніки.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз *історіографії* досліджуваної теми показав, що питання створення комплексів некогерентного розсіяння (НР) заснування наукових центрів у різних країнах світу висвітлені в низці публікацій, зокрема [1-3], а аспекти становлення цієї наукової тематики в Україні окреслені в роботах [4,5]. Однак на сьогодні відсутня комплексна наукова праця щодо становлення та розвитку даного наукового напрямку в Україні і світі, що і зумовило вибір теми статті.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Встановити передумови становлення досліджень іоносфери методом НР в Україні й світі, розкрити процес формування світової мережі експериментальної бази і наукових центрів, наголосити на дослідженнях в Україні, зокрема в Харківському політехнічному інституті (ХПІ) та Інституті іоносфери НАН і МОН України.

Викладення основного матеріалу дослідження. Заснування методу НР для вивчення іоносфери припадає на початок 1960-х рр., оскільки метод базується на принципах радіолокації. Друга половина ХХ ст. – це період активного вивчення геокосмосу в усьому світі. Дослідження були спрямовані на вивчення явищ і процесів, що залежать від сонячної активності, та їхню комплексність. Упродовж декількох років сталася зміна поглядів на будову геокосмосу. До середини 1960-х рр. стало відомо, що він являє систему вкладених одна в одну морфологічних структур, які взаємодіють між собою. Також цей період пов'язаний зі стрімким розвитком радіолокації в оборонних цілях, що, в свою чергу, сприяло розвитку радіотехнічних пристроїв. Розвиток радіофізики, радіотехніки, удосконалення приймальної, передавальної апаратури, антенних систем і методик обробки інформації сприяв появі нових методів вивчення іоносфери, зокрема методу НР, формуванню нових галузевих лабораторій і відділів у наукових установах, в тому числі й в Україні.

Ще однією передумовою появи методу НР, став розвиток уявлень щодо процесів, які відбуваються у плазмі. Теоретичні питання фізики плазми, флуктуацій у плазмі та розсіяння електромагнітних хвиль плазмою були на той час вже розроблені в працях таких вчених як О. І. Ахієзер, І. О. Ахієзер, С. М. Ритов, О. Г. Ситенко, К. М. Степанов. Теорія коливань електронної плазми та теорія випадкових рухів у плазмі, що визначають доплерівський зсув частоти, була розвинена Л. Д. Ландау [6].

Ідея методу НР належить американському вченому Уільяму Гордону. У статті, яку він оприлюднив у 1958 р., ним запропоновано використання для досліджень стану іоносфери розсіяння на вільних електронах іоносферної плазми. Експериментальна перевірка цієї гіпотези американцем Кеном Боулсом у тому ж році показала помилковість ідеї. З'ясувалося, що розсіяння відбувалося не на вільних електронах, а на теплових

флуктуаціях плазми. Однак, ідея У. Гордона заклала підвалини розвитку методу НР у всьому світі. Упродовж 1961 – 1969 рр. низка вчених працювали над розробкою теорії розсіяння радіохвиль на термічних флуктуаціях електронної густини в іоносфері. Це були роботи Дж. Фейера, Ф. Вілларса, В. Вайскопфа, О. Бунемана, Д. Муркрофта, М. Каена, Д. Фрала, Дж. Догерти, Е. Солпитера. Термальне розсіяння було назване некогерентним, сам метод отримав назву метода НР, а радіотехнічні комплекси – радарів НР. Оскільки явища розсіяння енергії електромагнітних хвиль на заряджених частках досліджував Дж. Дж. Томсон ще на початку XIX ст., то іноді в науковій літературі зустрічається назва некогерентного розсіяння як томсоновського розсіяння [6,7].

Метод НР став найбільш інформативним і точним методом дослідження практично всіх характеристик іоносфери. Він дозволяв вимірювати електронну концентрацію нижче й вище головного максимуму, що було неможливо при вертикальному зондуванні. За спектром сигналу НР можна було розрахувати низку іоносферних параметрів: концентрацію електронів, температуру електронів, температуру іонів, іонний склад, дрейф плазми, регулярні та нерегулярні рухи, струми в плазмі, густину нейтральної атмосфери тощо. Ще однією перевагою методу НР стало те, що значну кількість характеристик іоносфери можна було вимірювати одночасно в значному інтервалі висот. Це порівнювалося до запуску добре оснащеною геофізичної ракети. Тривалість таких досліджень порівняно з епізодичними ракетними спостереженнями робила цей метод унікальним. Навіть сьогодні метод вважається найбільш інформативнішим і точним. Основною перешкодою щодо широкого впровадження методу НР стала його висока вартість. Створення радарів НР вимагало застосування потужних передавачів, приймачів з широкою смугою пропускання й високою чутливістю та спорудження величезних антенних систем. Використання обчислювальної техніки для автоматичної обробки результатів вимірювання також добавляло вартості цьому методу. Застосування такого на той час найсучаснішого технічного забезпечення стало ще однією з причин, чому впровадження методу НР для досліджень іоносфери не могло відбутися раніше [13, с.106-107].

Вивчення іоносфери методом НР були започатковані в США, де в 1960-х рр. було розроблено проект створення мережі радарів НР. Проект фінансувався Національним науковим фондом (NSF) США та NASA. Також дослідження іоносфери методом НР започатковувалися в наукових центрах Англії та Франції. Перший радар НР був уведений у дію вченими США в 1961 р. Це був радар Джікамарка (The Jicamarca Radio Observatory), який розташований в 20 км від м. Ліми, столиці Перу. Перші спостереження іоносфери проводилися на чолі з К. Боулзом. Сьогодні обсерваторія Джікамарка належить Геофізичному інституту Перу, а дослідження поводяться при фінансуванні NSF і Корнельського університету США. Також це єдиний комплекс НР поблизу магнітного екватора і тому є лідером в дослідженнях екваторіальної іоносфери [8, с. 141, 413].

Наступним етапом розвитку методу НР стало створення обсерваторії Аресібо (The Arecibo Ionospheric Observatory). Аресібо знаходиться в Пуерто-Рико в 15 км від м. Аресібо і належить Корнельському університету США, який проводить дослідження в співпраці з NSF. Будівництво цього радіотелескопа було розпочато в 1960 р. за ініціативою автора методу некогерентного розсіяння, засновника обсерваторії, та її першого директора У. Гордона. Офіційне відкриття обсерваторії відбулося 1 листопада 1963 р. У наші дні радіотелескоп Аресібо, який ще має назву телескоп Гордона, – найбільший в світі (діаметр антени – 305 м). Таких великих розмірів було досягнуто за рахунок того, що рефлектор розташований в кратері потухлого вулкану та покритий алюмінієвими пластинами, які кріпляться на сітку зі сталевих дротів. Випромінювач антени – рухомий і підвішений на тросах до трьох башт. Телескоп використовувався для досліджень в галузі радіоастрономії, фізики атмосфери, радіолокаційних спостережень великих об'єктів Сонячної системи. (пошуки астероїдів та комет, що наближуються). На

жаль у вересні 2017 р. радіотелескоп Аресібо зазнав істотних ушкоджень від урагану, внаслідок яких повністю зруйнувався 1 грудня 2020 р. [2,12].

У 1963 р. також було введено в дію комплекс НР на середніх широтах у Міллстоун-Хіллі (Millstone Hill Observatory), який став складовою обсерваторії Хайстек (Haystack Observatory), що належить Масачусетському технологічному інституту (США). Обсерваторії створили первісну мережу радарів НР, розміщених на різних широтах. Метою побудови такої мережі була необхідність вивчення широтних особливостей іоносфери. У середині 1960-х рр. багатопозиційні установки НР також були побудовані в Англії (м. Мальверн) в Науково-дослідному інституті радіолокації та у Франції (м. Сент-Сантін), у Науковому центрі досліджень дальнього зв'язку [10,6].

У Радянському Союзі радарів НР на той час не було. Однак наукове суперництво та конкуренція, що існували між СРСР і США, особливо у галузі опанування космосу, вимагало створення подібних комплексів і у СРСР. Тому започаткування вивчення іоносфери методом НР у СРСР набувало особливої актуальності й вирішувалося на загальнодержавному рівні. Радари НР були побудовані в Харкові та Іркутську.

Започаткування досліджень іоносфери методом НР в ХПІ відбувалося складним шляхом. По-перше, було необхідне значне фінансування для створення експериментальної бази. Значущу роль в розв'язанні цього питання відіграв тогочасний ректор ХПІ М. Ф. Семко. Також він зробив вагомий внесок у організацію будівельних робіт. По-друге, на той час в Харкові існувала наукова конкуренція між ученими ХПІ та Харківського державного університету, де на радіофізичному факультеті також розроблялися теоретичні питання методу НР під керівництвом професора В. О. Мисюри. У 1966 р. було прийнято рішення про створення комплексу НР на базі ХПІ [4,11,с. 100].

Передумовами зародження досліджень іоносфери в ХПІ стало створення в 1946 р. радіотехнічного факультету в Харківському електротехнічному інституті, який у 1950 р. увійшов до складу відновленого ХПІ. До навчального процесу та наукової роботи на радіотехнічному факультеті залучалися видатні вчені-радіофізики, наукові співробітники Харківського фізико-технічного інституту АН УРСР, зокрема член.-кор. АН УРСР, д.ф.-м.н., проф. А. О. Слуцкін, д.т.н., проф. С. Я. Брауде та ін. Це стало вирішальним у становленні радіофізичних досліджень у ХПІ. Заснування досліджень іоносфери в ХПІ пов'язано з постаттю академіка С. Я. Брауде. Початок досліджень припадає на 1952 р., коли було розпочато роботи з виготовлення іоносферної станції, яка стала першою з постійно діючих в Україні. З 1963 р. дослідження іоносфери були розширені розглядом питань можливості вивчення іоносфери методом НР та організована науково-дослідна лабораторія іоносфери. Фундатором досліджень був Віталій Іванович Таран – відомий учений у галузі досліджень іоносфери методом НР, д.ф.-м.н., професор, перший директор Інституту іоносфери НАН і МОН України, перший завідувач кафедри «Радіоелектроніка». В. І. Тарану належить визнаний пріоритет у галузі досліджень іоносфери методом НР, оскільки він стояв у витоків цієї галузі як у ХПІ, так і в Україні [12,5].

Для реалізації досліджень іоносфери методом НР у 1966 р. поблизу м. Змієва було розпочато будівництво іоносферної обсерваторії та створення унікального наукового інструментарію – дослідницьких комплексів НР, зведення яких продовжувалося протягом 1960 – 1980-х рр. Упродовж багатьох років велика кількість вчених, інженерів, техніків, обслуговуючого персоналу брала участь у створенні радарів НР, спеціалізованих систем обробки інформації, ефективних методик дослідження. Перші результати методом НР за допомогою первісного обладнання були отримані в 1970 р. Уперше в СРСР були отримані унікальні геофізичні дані про структуру й стан іоносфери на висотах 100 – 1500 км: електронну концентрацію, температуру іонів і електронів, швидкість руху іоносферної плазми, відносну концентрацію молекулярних і атомарних іонів [13, с. 15].

Перші регулярні дослідження було запроваджено у 1974 р. Наприкінці 1980-х рр.

проводилися дослідження тонкої структури нижньої іоносфери за допомогою радару НР дециметрового діапазону з частотно-скануючою антеною 25 м x 25 м. Створене наукове обладнання було першим і тривалий час єдиним у СРСР. З 1976 р. у почалися роботи зі спорудження короткохвильового нагрівного стенда – спеціалізованого наукового інструментарію для проведення експериментів з модифікації іоносфери потужним радіовипромінюванням і вивчення її властивостей у штучно збуреному стані. На той час, незважаючи на існування мережі нагрівних стендів, установка в Аресібо була єдиною, розташованою поряд з радаром НР. Зведення нагрівного стенда було завершено в 1985 р. До його складу входили два потужні радіопередавачі та фазована антенна ґратка розмірами 300x300 м. Цей нагрівний стенд став першою в СРСР і третьою у світі установкою зі штучного збурення іоносфери, що працювала поряд з комплексом НР. На жаль, сьогодні нагрівний стенд Інституту іоносфери не працює. Його антена вже близько двох десятків років потребує ремонту й модернізації. Цілковито відновити роботу антени та стенда неможливо через брак фінансування [4, 14, с. 87; 15, с. 83, 86].

Упродовж 1970 – 1980-х рр. було накопичено та інтерпретовано великий масив експериментального матеріалу про геокосмос. Значна кількість досліджень мала фундаментальний, комплексний характер і виконувалася в межах міжнародних проектів і на замовлення Академії наук, експериментальна база також використовувалася для підготовки інженерних кадрів. ХІІ дійсно перетворився в найкрупніший в Україні науковий центр в галузі досліджень іоносфери. Усе це стало підґрунтям для організації досліджень у рамках потужної академічної наукової установи та створення Інституту іоносфери НАН і МОН України, який було створено 14 квітня 1991 р. Засновником і першим директором інституту був В. І. Таран [5].

Нині Інститут іоносфери НАН і МОН України є єдиною та унікальною для України спеціалізованою науковою установою з дослідження іоносфери методом НР. Комплекс установок з радаром НР не має аналогів в Україні, є єдиним на середніх широтах Європи. У 2001 р. науковий центр, названий як «Іоносферний зонд» було визнано об'єктом Національного надбання України.

З початку 1980-х років в Скандинавії ведуться дослідження іоносфери на двох, а з 1994 р. – на трьох, радарів НР, що належать європейській асоціації некогерентного розсіяння EISCAT. Система комплексів НР EISCAT складається з трьох радарів НР для вивчення іоносфери на полярних широтах. Це моностатичний радар VHF-діапазону (робоча частота 224 МГц) розташований в м. Тромсьо (Норвегія), моностатичний, але з двома антенами радар ESR (робоча частота 500 МГц) знаходиться в Свальбарде та трьохстатичний радар UHF-діапазону (робоча частота 928 МГц, діаметр антени 32 м) з с передавальною й приймальною антеною в Тромсьо, а також приймальними антенами в Кіруні (Швеція) і в Соданкьяла (Фінляндія). У 1980-х рр. було створено Іркутський комплекс НР, який створений на бази радіолокаційної системи «Дніпро». Він є моностатичним імпульсним радаром НР з частотним скануванням і належить Інституту Сонячно-Земної фізики Сибірського відділення Російської академії наук. Нині діючими є 9 радарів НР [2].

Висновки із проведеного дослідження. Таким чином, у другій половині ХХ ст. у світі було сформовано розгалужену мережу наукових центрів з вивчення іоносфери методом НР. Це були як навчальні заклади, так і наукові інститути. Комплекси НР розміщені в різних широтних і висотних регіонах і об'єднані в глобальну міжнародну систему, в рамках якої координуються дослідження і виконуються різні міжнародні проекти, зокрема створення системи моніторингу космічної погоди та віртуальної лабораторії для загальнонаукового використання геофізичними даними.

Список використаної літератури:

1. Bauer P., Giraund A., Kofman W., Petit M., Waldteufel P How the Saint-Santin incoherent scatter system

- paved the way for a French involvement in EISCAT // *History of Geo and Space Science*. – 2013. – 4. – pp. 97 – 103.
2. Holt O. History EISCAT – Part 3: The early history of EISCAT in Norway // *History of Geo and Space Science*. – 2012. – 3. – P. 47 – 52.
 3. Mathews J. D. The short history of geophysical radar at Arecibo Observation // *History of Geo and Space Science*. – 2013. – 4. – P. 19 – 33.
 4. Емельянов Л. Я., Живолюб Т. Г. Институт ионосферы НАН и МОН Украины. Краткий исторический обзор // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Зб. наук. праць. Тематичний випуск: Радіофізика і іоносфера. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – № 44. – С. 3 – 10.
 5. Кузьменко Н. О. Становлення та розвиток наукових досліджень геокосмосу в Україні (друга половина ХХ – початок ХХІ століть) : автореф. дис. ... канд. іст. наук : 07.00.07 / Н. О. Кузьменко; – Нац. наук. с.-г. б-ка НААН України. – Київ, – 2017. – 24 с.
 6. Таран В. И. Наблюдение ионосферы методом некогерентного рассеяния // *Ионосферные исследования*. 1979. № 27. М.: Советское радио. С. 7 – 18.
 7. Эванс Дж. В. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния // *Ин-т инж. по электрон. и радиотехнике*. 1969. – 57, № 4, – С. 139 – 175.
 8. Брюнелли Б. Е., Намгалдзе А. А. Физика ионосферы. – М.: Наука, 1988. – 528 с.
 9. Офіційний сайт Observatory Arecibo. URL: <http://www.naic.edu> (дата звернення 11.06.2015 р.).
 10. Офіційний сайт MIT Haystack Observatory . URL: <http://www.haystack.mit.edu>
 11. ДАХО. Ф. 1682. Оп. 13, т. 3. Спр. 2521. 193 арк. (Канцелярия. Переписка с Министерством Высшего и Среднего Специального Обазования УССР по вопросам учебной и научной работы, сметам и штатам и т.д.).
 12. ДАХО. Ф. 1682. Оп. 8, т. 1. Спр. 1339. 235 арк. (Научно-исследовательский отдел. Сведения о законченных научно-исследовательских работах за 1950 – 1954 год).
 13. ДАХО. Ф. 1682. Оп. 14. Спр. 1339. 19 арк. (Сведения института о научной деятельности за 1971-1976 г.).
 14. ДАХО. Ф. 1682. Оп. 13, т. 3. Спр. 3273. 91 арк. (Ученый Совет. Справки сведения и другие документы о ходе выполнения пятилетнего плана института за 1966 – 1968 годы (материалы к докладу ректора института на ученом Совете 1969 года)).
 15. ДАХО. Ф. 1682. Оп. 15. Спр. 1065. 141 арк. (Научно-исследовательский отдел. Отчет кафедр факультета «Автоматика и Приборостроение» о научно-исследовательской работе за 1980 год. Том 2).

References:

1. Bauer P., Giraund A., Kofman W., Petit M., Waldteufel P How the Saint-Santin incoherent scatter system paved the way for a French involvement in EISCAT. *History of Geo and Space Science*. 2013. Vol. 4. pp. 97 – 103.
2. Holt O. History EISCAT – Part 3: The early history of EISCAT in Norway. *History of Geo and Space Science*. 2012. Vol. 3. P. 47 – 52.
3. Mathews J. D. The short history of geophysical radar at Arecibo Observation. *History of Geo and Space Science*. 2013. Vol. 4. P. 19 – 33.
4. Emel'yanov L. YA., Zhyvolup T. H Ynstitut yonosfery NAN y MON Ukrayny. Kratkyy ystorycheskyy obzor. *Visnyk NTU «KHPI»*. Zb. nauk. prats'. Tematychnyy vypusk: Radiofizyka i ionosfera. – Kharkiv: NTU «KHPI». 2011. № 44. S. 3 – 10.
5. Kuzmenko N. O. Stanovlennya ta rozvytok naukovykh doslidzhen' heokosmosu v Ukrayini (druha polovyna KHKH – pochatok KHKHI stolit') : avtoref. dys. ... kand. ist. nauk : 07.00.07 / N. O. Kuzmenko; – Nats. nauk. s.-h. b-ka NAAN Ukrayiny. – Kyiv, – 2017. – 24 s
6. Taran V. I. Nablyudeniye ionosfery metodom nekogerentnogo rasseyaniya. *Ionosfernyye issledovaniya*. 1979. № 27. M.: Sovetskoye radio. S. 7 – 18.
7. Evans Dzh. V. Teoreticheskiye i prakticheskiye voprosy issledovaniya ionosfery metodom nekogerentnogo rasseyaniya. *In-t inzh. po yelektron. i radiotekhnike*. 1969. Vol. 57. № 4. S. 139 – 175.
8. Bryunelly B. E., Namhaladze A. A. Fyzyka yonosfery. – M.: Nauka, 1988. 528 s.
9. Ofitsiynnyy sayt Observatory Arecibo. Available at: <http://www.naic.edu> (accessed 11.06.2015).
10. Ofitsiynnyy sayt MIT Haystack Observatory . Available at: <http://www.haystack.mit.edu>
11. ДАКХО. Ф. 1682. Оп. 13, т. 3. Спр. 2521. 193 арк. (Канцелярия. Переписка с Министерством Высшего и Среднего Специального Обазования СССР по вопросам учебной и научной работы, сметам и штатам и т.д.).
12. ДАКХО. Ф. 1682. Оп. 8, т. 1. Спр. 1339. 235 арк. (Научно-исследовательский отдел. Сведения о законченных научно-исследовательских работах за 1950 – 1954).
13. ДАКХО. Ф. 1682. Оп. 14. Спр. 1339. 19 арк. (Сведения института о научной деятельности за 1971 – 1976).
14. ДАКХО. Ф. 1682. Оп. 13, т. 3. Спр. 3273. 91 арк. (Ученый Совет. Справки сведения и другие документы о ходе выполнения пятилетнего плана института за 1966 – 1968 годы (материалы к докладу ректора института на ученом Совете 1969)).
15. ДАКХО. Ф. 1682. Оп. 15. Спр. 1065. 141 арк. (Научно-исследовательский отдел. Отчет кафедр факультета «Автоматика и Приборостроение» о научно-исследовательской работе за 1980. Том 2).

Стаття надійшла до редакції 19.09.2020