doi: https://doi.org/10.15407/kfnt2024.06.073
УДК 523.98

С. М. Осіпов, М. І. Пішкало

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України
вул. Академіка Заболотного, 27, Київ, Україна, 03143
E-mails: osipov@mao.kiev.ua, pish@mao.kiev.ua

Висота полярної хромосфери у 2012—2023 рр. за спостереженнями на телескопі Ернеста Гуртовенка

За результатами спостережень в лінії H *, виконаних на горизонтальному сонячному телескопі Ернеста Гуртовенка, визначено висоту полярної хромосфери Сонця у 2012—2023 рр. як різницю положень максимумів радіальних градієнтів яскравості в континуумі і в ядрі лінії. Отримано, що висота полярної хромосфери є меншою поблизу максимуму сонячного циклу (~4500 км, або 6.3") і більшою поблизу мінімуму циклу (~5000 км, або 6.9"). Висота хромосфери на південному полюсі у 2012—2013 рр., і особливо у 2016—2017 рр., була вищою, ніж на північному. Ця північно-південна асиметрія, ймовірно, пов'язана із відмінностями динаміки і величини полярних магнітних полів у 24-му сонячному циклі. Показано, що зміни з часом висоти хромосфери тісно корелюють з числами сонячних плям, напруженістю полярного магнітного поля та хромосферними індексами сонячної активності. Коефіцієнт кореляції між середньорічною висотою хромосфери і згладженим відносним числом сонячних плям у північній і південній півкулях становить –0.64 і –0.75 відповідно. Коефіцієнт кореляції між середньорічною висотою хромосфери і згладженими значеннями модуля напруженості полярного магнітного поля (за даними Сонячної обсерваторії імені Вілкокса) становить 0.86 для північної півкулі і 0.53 для південної півкулі (останнє значення збільшується до 0.77 при часовому зсуві +1 рік). Коефіцієнт кореляції між середньорічною висотою хромосфери і хромосферним індексом IK2 має високе значення і на північному (0.91), і на південному (0.80) полюсах.*

***Ключові слова**: Сонце, хромосфера, спектральні спостереження, лімб, магнітні поля.*

© Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, 2024
© Видавець ВД «Академперіодика» Національної академії наук України, 2024

ВСТУП

Як відомо, характеристики сонячної атмосфери змінюються разом із 11-річним періодом сонячної активності. Змінюються кількість, розміри і розташування сонячних плям у фотосфері. Змінюються форма і структура корони. Змінюється також і хромосфера Сонця — вузький шар сонячної атмосфери, розташований безпосередньо над фотосферою. Хромосфера — дуже динамічний шар сонячної атмосфери, далекий від стану гідростатичної рівноваги [18]. У ній постійно відбуваються динамічні процеси, пов'язані з рухом речовини, перебудовою структури магнітного поля і передачею енергії.

М. Фракасторо [4] на основі регулярних візуальних лімбових спостережень лінії H на сонячному телескопі обсерваторії Арчетрі виміряв висоти хромосфери в 1921—1946 рр. і показав, що видима середня висота хромосфери становить 10.45 і змінюється із сонячним циклом, зокрема максимальні значення спостерігалися в 1925—1926 рр. і 1937—1938 рр., а мінімуми — в 1930 і 1944 рр. До того ж було отримано, що в роки мінімуму сонячної активності висота хромосфери на полюсах приблизно на 1.5 вища, ніж на екваторі, а в роки максимуму активності висоти хромосфери на полюсах і екваторі приблизно однакові. Із порівняння висот хромосфери на N- і S-полюсах було виявлено 22-річну асиметрію величиною ±4 %, зокрема в 1930-х роках на північному полюсі висота хромосфери була більшою, ніж на південному, а у 1940-х — навпаки.

С. Таффаро та Л. Таффаро, які проводили аналогічні вимірювання в обсерваторії м. Катанія у 1923—1946 рр., також виявили зміни середньої висоти хромосфери з циклом сонячної активності [16]. Згідно з їхніми результатами середня висота хромосфери змінюється від 7 за 2-3 роки перед мінімумом циклу сонячної активності до 11 перед максимумом. Зміни висоти полярної атмосфери відбувались синхронно із значеннями висот, усереднених по всіх широтах.

Дослідження висоти сонячних хромосферних спікул також вказує на певну залежність від геліошироти і фази сонячного циклу. Так, Ліппінкотт [8] вивчала морфологію і динаміку хромосферних спікул в лінії H по фільмах Данна, отриманих у серпні 1955 р. (через рік після мінімуму активності 1954 р.), і отримала, що середня висота спікул над фотосферою становить 9500 км на полюсах і 7300 км на екваторі. Парментер [10] на основі спостережень поблизу мінімуму активності 1964 р. також дійшов висновку, що висота полярних спікул на 3 більша, ніж екваторіальних. Згідно з дослідженнями Рабіна і Мура [13] під корональними дірами висота хромосфери і спікул більша, ніж над спокійними областями.

Йохансон і Зірін [7] вимірювали висоту хромосфери в лінії H на різних широтах Сонця в Сонячній обсерваторії Біг Бер у 1994—1995 рр. і знайшли, що хромосфера на полюсах приблизно на 2 вища, ніж на екваторі (6000 км проти 4300...4400 км). Для більшості днів

спостережень висота хромосфери на північному полюсі була дещо більшою, ніж на південному. Також вони порівняли свої дані із рентгенівськими знімками Сонця, отриманими на супутнику «Yohkoh», і відмітили, що є тісна кореляція між збільшенням висоти хромосфери і наявністю корональних дір. Було зроблено висновок, що це збільшення висоти хромосфери може бути пов'язане саме із наявністю вертикального магнітного поля.

У роботі [3] наводяться результати вимірювань висоти хромосфери по фільтрових зображеннях Сонця в лінії H , отриманих на телескопі VTT в Сакраменто, та по одночасних позаатмосферних спостереженнях лінії He II на телескопі EIT на борту SOHO. Було отримано, що висота хромосфери на екваторі становить близько 4000 км в лінії H і близько 5000 км в лінії He II. На полюсах висота була значно більшою (відповідно на 1100 і 5200 км). Така суттєва різниця значень на екваторі і на полюсах спостерігалась без наявності корональних дір.

У даній роботі ми визначаємо висоту хромосфери в лінії H на полюсах Сонця у 2012—2023 рр.; цей період спостережень охоплює більшу частину 24-го сонячного циклу і початок 25-го циклу.

СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ОБРОБКА ДАНИХ

У Головній астрономічній обсерваторії Національної академії наук України на сонячному телескопі АЦУ-5 Ернеста Гуртовенка за програмою «Довготривалий моніторинг Сонця» [1] починаючи з червня 2012 р. виконуються регулярні спостереження вибраних ділянок спектру в центрі сонячного диска і на полярних лімбах у дев'яти спектральних діапазонах. Спостереження провадяться регулярно протягом року за винятком зимової паузи, яка триває з листопада по березень-квітень. Серед десятків фотосферних ліній спостерігається і потужна хромосферна лінія H (656.3 нм). Реєстрація спектру провадиться ПЗЗ-камерою SBIG ST-8300M, оснащеною матрицею «Kodak» розмірами 3352 2532 пкл. Розмір окремого піксела становить 5.4 мкм, що відповідає 0.5937 пм при спостереженнях лінії H у другому порядку спектру. Таким чином, для лінії H реєструвалися ділянки спектру довжиною 1.99 нм.

Спостереження провадяться серіями однотипних вимірів упродовж 5 хв з інтервалами 30 с. Діафрагмування вхідної щілини спектрографа при спостереженнях призводить до того, що ефективна висота реєстрації спектру становить приблизно 120 . При лімбових спостереженнях щілина спектрографа виставляється перпендикулярно до лімба Сонця, проте внаслідок конструктивних особливостей телескопа до 6 червня і після 4 серпня орієнтація щілини відносно лімба Сонця не є перпендикулярною, і кут відхилення збільшується приблизно до 15 у середині жовтня і на початку квітня. Орієнтування щілини

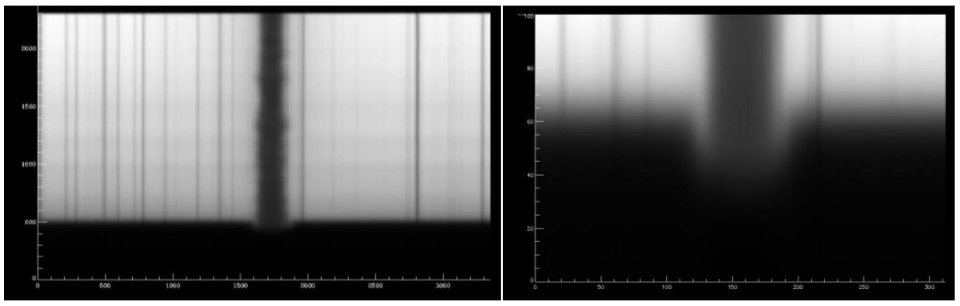

Рис. 1. Повний кадр спектру (ліворуч) і його фрагмент (праворуч), отримані 2 липня 2013 р. для північного полюса Сонця

відносно лімба організовується таким чином, щоб частина щілини (10...20) спрямовувалася за межі Сонця. Це дає змогу надійно ідентифікувати положення лімба на спектрі.

При обробці спостережень враховувався вплив темнового струму, плоского поля, виправлялися похибки в орієнтації ПЗЗ-камери відносно напрямку дисперсії спектрографа. Спектри виправлялися за нахил та кривизну ліній. Враховувався вплив розсіяного світла у спектрографі.

Радіальні розподіли яскравості масштабувалися для виправлення нахилів щілини відносно лімба і для врахування зміни протягом року видимих розмірів Сонця. У підсумку всі розподіли приводились до середнього діаметра Сонця, рівного 1920 .

Типові кадри спектру Сонця, зареєстровані на лімбі, показано на рис. 1.

Є багато підходів при експериментальних визначеннях положення сонячного лімба [5]. При виборі методу обробки для наших вимірювань ми шукали спосіб, найменш чутливий до впливу суттєвих різноманітних атмосферних збурень, притаманних київському небу. Ми обрали класичний підхід визначення лімба як точки перегину кривої потемніння до краю або максимуму радіального градієнта яскравості.

На рис. 2*а* показано радіальний розподіл яскравості біля лімба в континуумі і в ядрі лінії H , виміряний у смузі шириною 50 пм. Зміни градієнта dI/dr показано на рис. 2*б*. Положення максимуму градієнта яскравості континууму приймалось нами за фотосферний лімб Сонця. Градієнт яскравості в ядрі лінії H відповідно визначав хромосферний лімб. У дні поганої якості неба локалізацію положення лімбів (особливо хромосферного) провести значно складніше внаслідок замивання зображення на фоні суттєвих шумів сигналу. Тому велике значення має попереднє згладжування отриманих розподілів. У нашому випадку параметри згладжування визначалися в залежності від півширини кривої максимуму градієнта в континуумі ($FWHM_C$).

На рис. 3*в* показано зміну положень лімбів уздовж спектру з кроком вимірювання 10 пкл, тобто 5.94 пм. Положення фотосферного лімба є незмінним на відстанях, більших 100 пм від центра лінії, і ви-

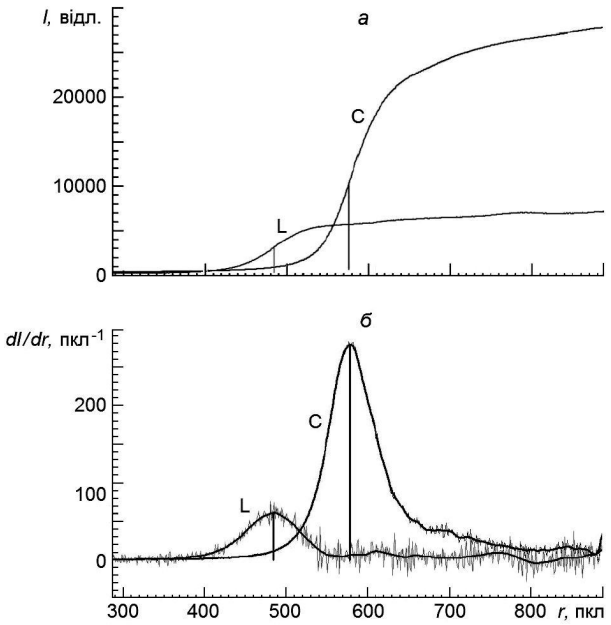

Рис. 2. Потемніння до краю сонячного диска в континуумі (C) і в ядрі лінії H (L), виміряне 29 квітня 2023 р., (*а*) та відповідні радіальні градієнти яскравості (*б*). Положення фотосферного і хромосферного лімбів відмічено вертикальними лініями

значається з високою точністю. У центрі лінії положення лімба мало змінюється. На відстанях 60...90 пм від центра лінії параметр $FWHM_C$ помітно збільшується внаслідок зростання хромосферної емісії, що призводить до погіршення точності визначення лімба. Саме тому оптимальним для лінії H є вимірювання хромосферних лімбів у вузькій смузі шириною 50 пм.

Наша база даних полярних спостережень спектрів лінії H у 2012—2023 рр. нараховує більш ніж 6.5 тисяч записів. Проте для остаточних розрахунків не використовувались дані спостережень, спотворені поганою астрономічною видимістю, і ті спостереження, в яких лімб був занадто близьким до краю діафрагми вхідної щілини спектрографа. У підсумку результати цієї роботи отримано на основі обробки 3311 записів. Остаточна кількість використаних спостережних записів сильно змінюється рік від року. Особливо бідним на спостереження виявився 2016 р. (рис. 4*а*). Тому для 2016 р. вибраковувалися записи з параметром $FWHM_C > 300$ пкл, на відміну від інших років, для яких граничний параметр $FWHM_C$ становив 240 пкл.

РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

Висота хромосфери визначалась нами як різниця положень хромосферного і фотосферного лімбів. Результати вимірювань, отримані для спостережень 2014 р., показано на рис. 5. Видно, що окремі дні можуть мати як великий, так і малий розкид даних вимірювань. Такі роз-

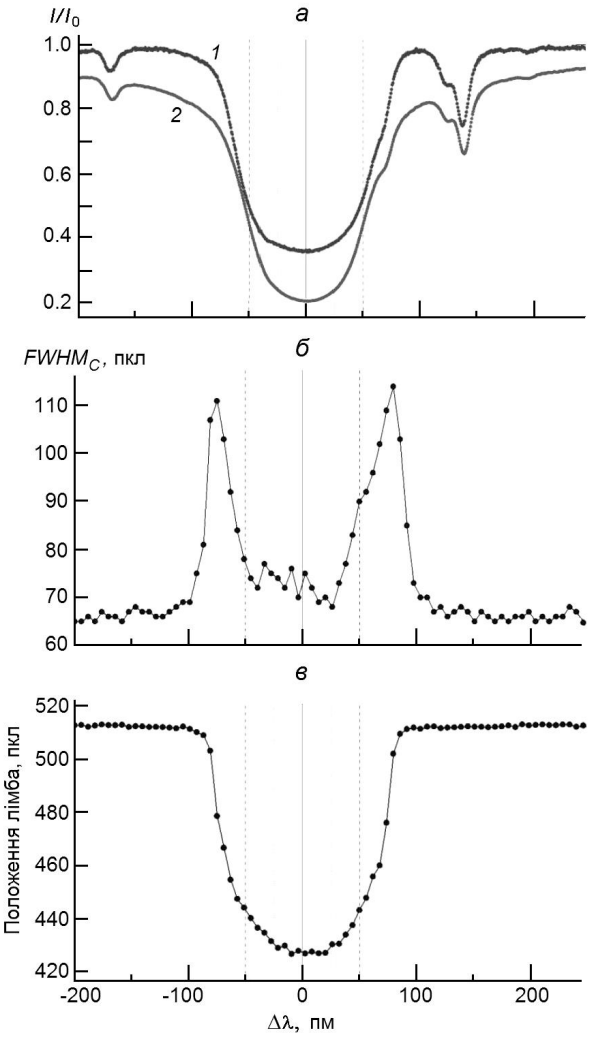

Рис. 3. Профілі лінії H на відстанях 1 профіль *1*) і 60 (профіль *2*) від фотосферного лімба (*а*), параметр $FWHM_C$ (*б*), локалізація положення лімбів (*в*)

киди викликані не інструментальними причинами, а, ймовірно, швидкими часовими і просторовими змінами структури і динаміки хромосферних утворень (переважно спікул). Це підтверджується і літературними даними про спостережні хвильові процеси у спікулах (великий перелік посилань наводиться в роботі [14]), які вказують на їхню періодичність, яка є сумірною із часовим інтервалом наших вимірювань. А суттєві зміни висоти хромосфери, які спостерігаються на шкалах часу тижні — місяці, відповідають спостережним даним роботи [16].

Усереднені по роках значення висоти хромосфери на полюсах показано на рис. 6. У періоди підвищеної сонячної активності (2012—2015, 2023 рр.) висота полярної хромосфери зменшується приблизно на 0.7 (~500 км) порівняно з висотою в епоху спокійного Сонця (2018—2020 рр.). Спостерігається сильна асиметрія результатів при

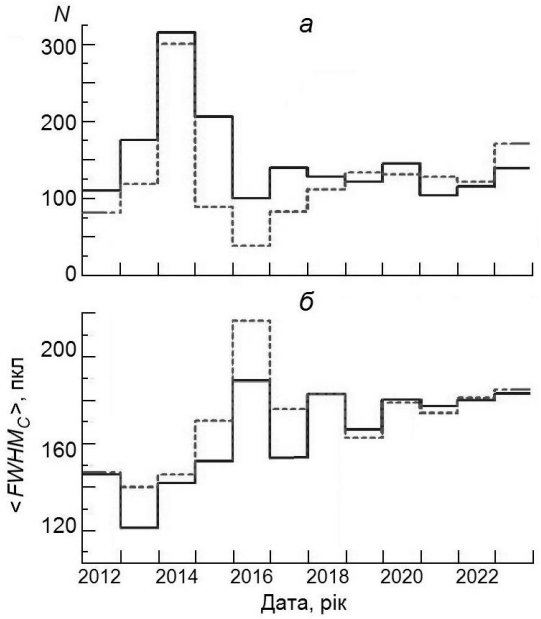

Рис. 4. Розподіли по роках кількості *N* використаних спостережних записів (*а*) і середньої півширини профілю радіального градієнта інтенсивності в континуумі (*б*): суцільна лінія — дані для північного полюса, пунктир — для південного

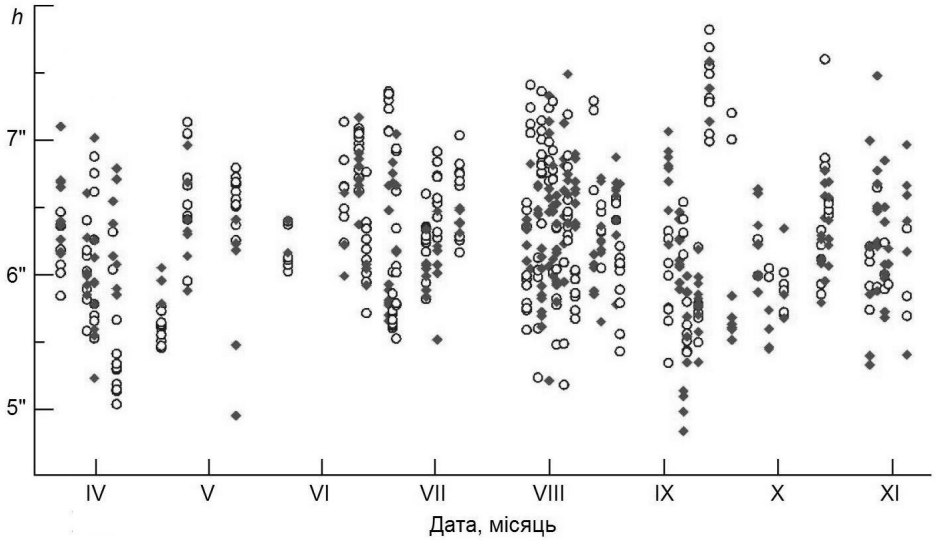

Рис. 5. Висота хромосфери для північного (кружки) і південного (точки) полюсів Сонця у 2014 р.

порівнянні N- і S-полюсів, яка проявляється переважно у тому, що в 2012—2013 і 2016—2017 рр. висота хромосфери на південному полюсі була вищою, ніж на північному. Це може бути пов’язане з відмінністю полярних магнітних полів і характеристиками полярних корональних дір на відповідних полюсах.

Якість спостережень у Києві погіршується з часом, і для різних років точність визначення лімба і висоти хромосфери виявляється

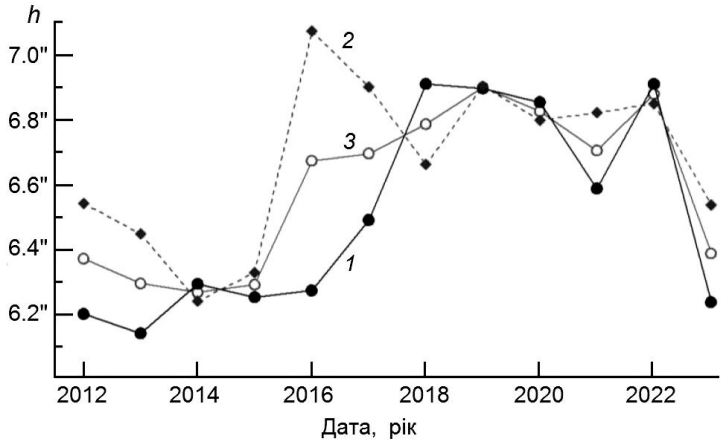

Рис. 6. Середньорічна висота полярної хромосфери у 2012—2023 рр. (*1* — північний полюс, *2* — південний полюс, *3* — середнє значення)

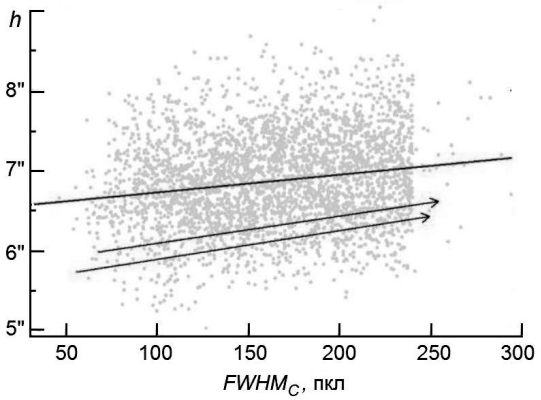

Рис. 7. Виміряні висоти хромосфери в залежності від якості зображення. Лінія — пряма регресії, стрілки — траєкторія зсувів значень висоти при додатковому штучному замиванні

різною. Тому слід проаналізувати вплив якості зображень Сонця на отримані результати. На рис. 7 порівнюються виміряні висоти хромосфери в залежності від якості зображень. Для того щоб компенсувати вплив реальних річних змін, на цьому рисунку від кожного виміряного значення висоти хромосфери віднімалась середньорічна величина і додавалось середнє значення за весь час спостережень. Нагадаємо, що для даних 2016 р. враховувались спостереження з $FWHM_C > 240$ пкл.

З рис. 7 видно, що виміряні значення висоти хромосфери трохи змінюються при змінах параметра $FWHM_C$, і такі зміни наближено можна описати лінійною регресією. Така залежність виникає тому, що атмосферне замивання зсуває положення градієнтних максимумів у напрямку до центра Сонця, і такий зсув є неоднаковим для континууму і ядра лінії. Для ілюстрації впливу цього ефекту стрілками на рис. 7 показано траєкторію таких зсувів для двох вимірювань при штучному додатковому замиванні спостережень гауссіаною з півширино-

90 пкл. Видно, що загалом вплив штучного замивання збігається зі спостережним нахилом (~0.002" на піксель). Знаючи такий нахил, ми екстраполювали всі виміри для значень $FWHM_C$ = 30 пкл, що відповідає небу без атмосферного замивання. Саме такі екстрапольовані дані використовувались при побудові рис. 6. Вертикальний розкид даних на рис. 7 є практично однаковим для різних значень $FWHM_C$. Це може свідчити про реальну сонячну причину цих розкидів.

Як уже було зазначено вище, для виміряної величини висоти хромосфери спостерігається сильна асиметрія для північного і південного полюсів у деякі періоди часу. Для розуміння природи цього на рис. 8 ми зробили порівняння визначених нами середньорічних висот хромосфери на полюсах зі значеннями полярного магнітного поля за даними Сонячної обсерваторії імені Джона Вілкокса Стенфордського університету (wso.stanford.edu, ці значення є усередненими у приполярній широтній зоні вище 55).

Як бачимо, висота полярної хромосфери добре корелює із модулем напруженості полярного магнітного поля Сонця. Так, для північної півкулі коефіцієнт кореляції між середньорічною висотою хромосфери і інтерпольованими на відповідний час значеннями модуля усередненого полярного магнітного поля становить 0.86. Для південної півкулі відповідний коефіцієнт кореляції становить 0.53, проте при часовому зсуві +1 рік він збільшується до 0.77.

Досить високу антикореляцію отримано між висотами хромосфери на полюсах і відносним числом сонячних плям. Так, для північної півкулі коефіцієнт кореляції між середньорічною висотою хромосфери на полюсі і згладженим відносним числом сонячних плям у північній півкулі, інтерпольованим на середину року, становить –0.64. Для південної півкулі коефіцієнт кореляції між відповідними параметрами становить –0.75, а для середніх (N+S)/2 значень –0.74.

Одночасно із спостереженнями лінії H у 2012—2023 рр. на полюсах Сонця провадились також і спостереження профілів лінії Ca II K 393.3 нм. Саме спостереження в цій лінії дозволяють обчислити так звані 1Å-індекси (I_{1A}), а також індекси відстані між піками K2V і K2R лінії Ca II K (I_{K2}), які, як вважають Уайт та Лівінгстон [17], є індексами сонячної активності, дуже чутливими до магнітного поля. Тому ми розглядаємо їх як гарні проксі-індекси величини магнітного поля безпосередньо на вимірюваних полюсах Сонця, там, де розташовувалась щілина спектрографа. Ми порівняли річні зміни цих індексів із нашими оцінками змін хромосферних висот. Індекси I_{1A} тісно корелюють з висотою хромосфери на північному (0.87) і трохи гірше — на південному (0.65) полюсах. А індекси I_{K2} показують високу кореляцію на обох полюсах (0.91 і 0.80 на північному і південному полюсах відповідно).

Загалом проявляється очевидна тенденція: що ближче до полюсів береться для порівняння магнітне поле, то вищою є кореляція з виміряними висотами хромосфери. Це підтверджує визначальну роль

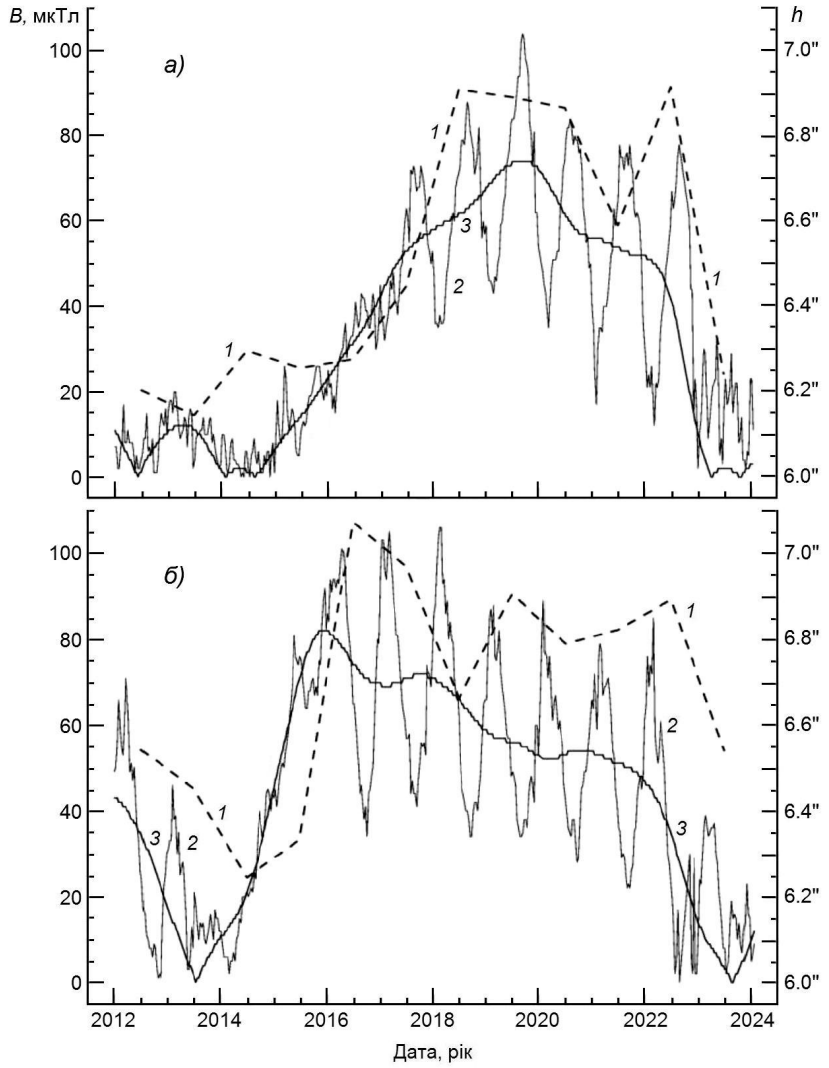

Рис. 8. Значення виміряної висоти хромосфери (лінія *1*, шкала праворуч) та значення модуля полярного магнітного поля *B* (лінія *2* — вимірювання, лінія *3* — згладжені дані; шкала ліворуч) за даними Сонячної обсерваторії Стенфордського університету для північного полюса (*а*) і південного полюса (*б*)

магнітного поля у формуванні висоти верхньої границі хромосфери, принаймні на полюсах.

Висота хромосфери визначається переважно структурою і динамікою видимих вершин спікул, які мають різну довжину, різні нахили відносно нормалі і є дуже динамічними утвореннями. Атмосферне і інструментальне замивання зображення додатково деформують профіль хромосферного лімба. Тому встановлення істинного положення хромосферного лімба можливе лише за умов якісного неба. З роботи [7, рис. 6], видно, що локалізація лімба по максимальному градієнту радіальної яскравості систематично занижує висоту хромосферного лімба на 1500...2000 тис. км. Проте така локалізація лімба по градієнту

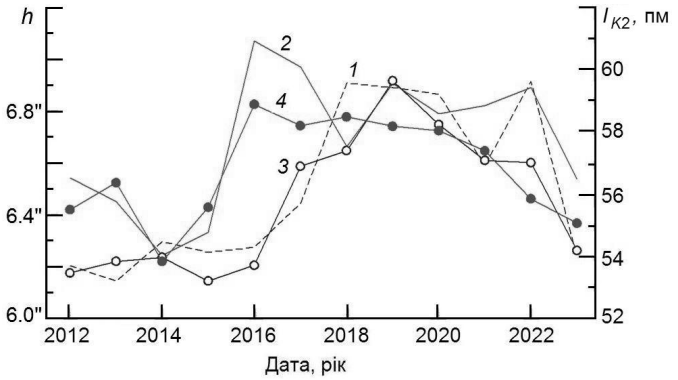

Рис. 9. Порівняння виміряних висот хромосфери з індексами I_{K2}, отриманими по спостереженнях лінії Ca II K: крива *1* — висота на північному полюсі, *2* — висота на південному полюсі (шкала ліворуч), *3* — індекси для північного полюса, *4* — індекси для південного полюса (шкала праворуч)

найменш чутлива до змін астрономічної видимості і, на нашу думку, є найкращою для досліджень довготривалих змін висоти лімба при середній якості неба.

Варто також відзначити, що у 24-му циклі напруженості полярних магнітних полів значно менші, ніж у попередніх циклах. Це також може бути причиною того, що отримані нами середньорічні висоти полярної хромосфери (~4800 км) відрізняються від визначень у попередніх роботах (~7500 км [4] і 6000 км [7]).

Асиметрія висот хромосфери у 2015—2016 рр., ймовірно, відображає як асиметрію еволюції активності у північній і південній півкулях загалом, так і асиметрію динаміки, структури і величини полярного магнітного поля поблизу максимуму 24-го сонячного циклу [6, 9, 11]. Варто відзначити, що загалом процес зміни знаку полярного магнітного поля поблизу максимуму циклу є, як правило, доволі асиметричним [12, 15]. Так, у 24-му циклі процес переполюсування магнітного поля у північній сонячній півкулі закінчився майже на рік раніше, ніж у південній (2014.4 і 2015.3), а між моментами зміни знаку у високоширотних зонах ±(55...90) загалом і безпосередньо на полюсах пройшло близько двох років [12].

ВИСНОВКИ

Виконані в роботі дослідження дозволяють сформулювати такі висновки.

1. Висота полярної хромосфери в 2012—2023 роках становила 6.2...7.0 (4500...5000 км), причому в середньому в епоху мінімуму активності висота хромосфери приблизно на 0.7 вища, ніж в епоху максимуму.

2. У 2015—2017 рр. (на спаді 24-го циклу) висота хромосфери на південному полюсі на 0.5...0.8 вища, ніж на північному. Це поясню-

ється відмінністю структури і динаміки полярних магнітних полів. В епоху максимуму циклу висоти на обох полюсах однакові.

3. Висота хромосфери на полюсах добре корелює із напруженістю полярного магнітного поля Сонця.

Автори висловлюють подяку Р. І. Костику і А. В. Сухорукову за допомогу в спостереженнях, В. Г. Беспальку і М. В. Карпову за інженерну підтримку телескопа АЦУ-5, а також колективам Сонячної обсерваторії імені Вілкокса Стенфордського університету і Королівської обсерваторії Бельгії за можливість використовувати їхні дані про величину полярного магнітного поля Сонця і відносні числа сонячних плям.

REFERENCES

1. Osipov S. (2014) The program of investigations of long term changes of Fraunhofer lines in solar spectra. *Bull. Taras Shevchenko Kyiv Nat. Univ. Astron*., **51**(1), 34—36.
2. Pishkalo M. I., Leiko U. M. (2016) Dynamics of the circumpolar magnetic field of the Sun at a maximum of cycle 24. *Kinemat. Phys. Celest. Bodies,* **32**, 78—85. https://doi.org/10.3103/S0884591316020069
3. Auchère F., Boulade S., Koutchmy S., Smartt R. N., Delaboudinière J. P., Georgakilas A., Gurman J. B., Artzner G. E. (1998) The prolate solar chromosphere. *Astron. and Astrophys*., **336**, L57—L60.
4. Fracastoro M. G. (1948) Altezza e distribuzione della cromosfera solare. *MmArc*., **64**, 33—47.
5. Hill H. A., Stebins R. T., Oleson J. R. (1975) The finite fourier transform definition of an edge on the solar disk. *Astrophys. J.,* **200**, 484.
6. Janardhan P., Fujiki K., Ingale M., Bisoi S. K., Rout D. (2018) Solar cycle 24: an unusual polar field reversal. *Astron. and Astrophys*., **618**, A148. doi:10.1051/0004-6361/201832981
7. Johannesson A., Zirin H. (1996) The pole-equator variation of solar chromospheric height. *Astrophys. J.,* **471**, 510.
8. Lippincott S. L. (1957) Chromospheric spicules. *Smithsonian Contribs Astrophys.*, **2**(2), 15.
9. Lowder C., Qiu J., Leamon R. (2017) Coronal holes and open magnetic flux over cycles 23 and 24. *Solar Phys.*, **292**, id. 18. doi:10.1007/s11207-016-1041-8
10. Parmenter B. C. (1966) Observations of solar chromospheric spicules. *Publs Astron. Soc. Pacif.*, **78**(462), 250.
11. Petrie G. J. D. (2023) Polar photospheric magnetic field evolution and global flux transport. *Solar Phys.*, **298**(3), id. 43. doi:10.1007/s11207-023-02134-5
12. Pishkalo M. I. (2019) On polar magnetic field reversal in solar cycles 21, 22, 23, and 24. *Solar Phys*., 294, id. 137. https://doi.org/10.1007/s11207-019-1520-9.
13. Rabin D., Moore R. L. (1980) Coronal holes, the height of the chromosphere, and the origin of spicules. *Astrophys. J.* 241(1). 394.
14. Shetye J., Verwichte E., Stangalini M., Doyle J. G. (2021) The nature of high-frequency oscillations associated with short-lived spicule-type events. *Astrophys. J.* , **921**, 30. doi: 10.3847/1538-4357/ac1a12
15. Svalgaard L., Kamide Y. (2013) Asymmetric solar polar field reversals. *Astrophys. J.,* **763**(1), id. 23. doi:10.1088/0004-637X/763/1/23

16. Taffara L. (1946) L'attivita del Sole nell' anno 1946. *MmSAI.,* **18**, 249.
17. White O. R., Livingston W. (1981) Solar luminosity variation. III. Calcium K variation from solar minimum to maximum in cycle 21. *Astrophys. J.*, **249**, 798.
18. Zirin H. (1996) The mystery of the chromosphere. *Solar Phys.,* **169**(2), 313.

S. M. Osipov, M. I. Pishkalo

Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
27, Akademika Zabolotnoho Str., Kyiv, 03143 Ukraine

THE HEIGHT OF THE POLAR CHROMOSPHERE IN 2012—2023 ACCORDING TO OBSERVATIONS ON THE ERNEST GURTOVENKO TELESCOPE

According to the results of observations in the H line fulfilled on the horizontal solar telescope of Ernest Gurtovenko, the height of the Sun's polar chromosphere in 2012—2023 was determined as the difference in the positions of the maxima of the radial brightness gradients in the continuum and in the core of the line. It is found that the height of the polar chromosphere is lower near the maximum of solar cycle (~4500 km or ~6.3) and higher near the minimum of th cycle (~5000 km or ~6.9). The height of the chromosphere at the southern pole in 2012—2013 and especially in 2016—2017 was higher than at the northern pole. This north-south asymmetry is probably related to differences in the dynamics and magnitude of the polar magnetic fields in Solar Cycle 24. It was shown that time changes in the height of the chromosphere are closely correlated with the number of sunspots, the intensity of the polar magnetic field, and the chromospheric indices of solar activity.The correlation coefficient between the average annual height of the chromosphere and the smoothed relative sunspot numbers is –0.64 in the northern hemisphere, and –0.75 in the southern hemisphere. The correlation coefficient between the average annual height of the chromosphere and the smoothed values of the polar magnetic field strength (according to data from the Wilcox Solar Observatory) is 0.86 for the northern hemisphere and 0.53 for the southern hemisphere (the latter value increases to 0.77 when the time shift of +1 year was used). The correlation coefficient between the average annual height of the chromosphere and the chromospheric index IK2 has a high value both at the northern (0.91) and southern (0.80) poles.
Key words: Sun, chromosphere, spectral observations, limb, magnetic fields.

Стаття надійшла до редакції 13.06.2024
Після доопрацювання 15.06.2024
Прийнята до друку 15.08.2024