

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2021.04.060>

УДК 523.982+52(929)

**І. Е. Васильєва, М. І. Пішкало**

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України  
вул. Академіка Заболотного, 27, Київ, Україна, 03143  
E-mail: [vasil@mao.kiev.ua](mailto:vasil@mao.kiev.ua), [pish@mao.kiev.ua](mailto:pish@mao.kiev.ua)

## **Історія дослідження сонячних плям і прогноз максимуму 25-го циклу**

*Зроблено короткий історичний огляд спостережень сонячних плям із моменту їхнього відкриття до сьогодення. Огляд не є збіркою всієї відомої історичної інформації про дослідження сонячних плям, а висвітлює дослідження п'яти вчених із п'яти різних сторіч, починаючи із шістнадцятого. У огляді висвітлено найбільш довготривалі спостереження сонячних плям, що дають інформацію, яка розширює межі знань про класичні числа Вольфа або кількість груп плям. Сонячні плями спостерігалися ще у стародавні часи, про них є свідчення у давніх літописах і хроніках. Активне спостереження плям почалося, ймовірно, Гансом Ліппершеєм на початку XVII століття після винайдення телескопа. Задokumentовано, що першим спостерігав сонячні плями за допомогою телескопа Томас Герріот 8 грудня 1610 року. Ймовірно, що майже одночасно із ним у грудні 1610 р. за допомогою телескопа сонячні плями спостерігали Галілео Галілей і Йоганн Фабриціус, незалежно один від одного і від Герріота. Першу публікацію про сонячні плями зробив саме Фабриціус у червні 1611 р. Детальніше ми зупиняємося на спостереженнях Крістофа Шейнера, Христіана Горребу, Генріха Швабе та Гісако Коями. Свої багаторічні спостереження і дослідження сонячних плям з 1611 по 1630 рр. Крістоф Шейнер описав у книзі «Rosa Ursina sive Sol», яка стала взірцем для спостерігачів за Сонцем на довгі роки. Христіан Горребу був першим, хто висловив припущення про регулярність появи сонячних плям. А Генріх Швабе першим у 1843 р. відкрив періодичність (приблизно 10 років) кількості груп плям на Сонці. Рудольф Вольф, проаналізувавши всі доступні йому джерела, у 1852 р. уточнив, що сонячна активність має 11-річну періодичність, увів поняття віднос-*

ного числа сонячних плям, організував регулярні спостереження і публікацію їхніх результатів. 40-річні спостереження Гісако Коями допомогли узгодити сучасні підрахунки числа плям із більш ранніми визначеннями. Система Вольфа протрималася до початку XXI століття. У липні 2015 р. було прийнято нову версію відносного числа сонячних плям (Версія 2.0). У роботі розраховано відношення «нових» і «старих» чисел Вольфа, наведено таблицю характеристик 11-річних циклів за Версією 2.0. Зроблено два прогнози максимуму 25-го циклу сонячної активності. У випадку, коли передвісником максимуму є значення відносного числа сонячних плям у мінімумі циклу (коефіцієнт кореляції  $r = 0.557$ ,  $P < 0.001$ ), прогнозоване значення максимуму становить  $135.5 \pm 33.8$ . У другому випадку, коли передвісником є тривалість попереднього циклу ( $r = -0.686$ ,  $P < 0.001$ ), прогнозований максимум становить  $179.4 \pm 18.2$ . Обидва прогнози вказують на те, що 25-й цикл буде потужнішим від 24-го і слабшим від 23-го циклу.

**Ключові слова:** Сонце, сонячна активність, сонячний цикл, прогнозування сонячної активності

Сонячна активність постійно змінюється, і це багато в чому впливає на сучасне життя. Зростання сонячної активності передбачає збільшення потоку ультрафіолетового і рентгенівського випромінювання Сонця, що призводить до зростання температури і збільшення густини верхніх шарів земної атмосфери і, як наслідок, до гальмування і різкого скорочення часу життя супутників на низьких навколосезних орбітах, пошкодження інструментів на космічних апаратах, загрожує здоров'ю астронавтів і пасажирів літаків трансарктичних рейсів. Сонячна активність, можливо, впливає і на земний клімат: температура збільшується і зменшується у міру того, як сонячна активність підвищується і знижується. Багатовікові спостереження — єдине пряме свідчення того, що насправді відбувалося в минулому Сонця. Відновлення такого роду інформації з різних документальних записів, що зберігаються в бібліотеках та історичних архівах по всьому світу, необхідне для кращого розуміння еволюції Сонця.

Важко сказати, хто першим помітив на Сонці плями. Напевне, їх бачили ще доісторичні люди, які дивилися на Сонце крізь туман або хмари, чи бачили його біля самого горизонту, невдовзі після сходу або незадовго до заходу. Згадував про плями на Сонці учень Аристотеля Теофраст Афінський (IV ст. до н. е.). Їх описували арабські та вірменські хроніки, руські літописи, стародавні китайські літописці, середньовічні історики як якісь темні утворення на Сонці (слово «пляма» з'явилося пізніше, у XVII столітті, коли вперше вдалося роздивитися сонячні плями в телескоп).

Найбільш ранні записи про спостереження сонячних плям були зроблені в Китаї понад 2000 років тому. Гань До зафіксував сонячні плями у 364 р. до н. е. Систематичніші записи зустрічаються в історичних хроніках, наприклад, Хоу Ханьшу — «в день бін-шень 2 місяця 4

року ери Чжунпін правління імператора Сяолін-ді (5 березня 187 р.) на Сонці була темна цятка розміром з диню»; Тунчжи — «в день і-вей 11 місяця 4 року ери Тайши правління імператора У дзень (23 грудня 268 р.) на Сонці була чорна пляма». Сонячні плями описуються як чорний пар, сливи, персики або яйця на Сонці. З 28 року до н. е. по 1638 рік н. е. плями на Сонці були описані в офіційних китайських хроніках не менш ніж 170 разів [29, 34, 95].

У середньовічній Європі перша згадка про сонячні плями зустрічається у «Хроніці» Іоанна (Джона) із Вустера «У третій рік Лотара, римського імператора, в 28-й рік правління Короля Генріха англійського (1128 р.), двадцять п'ятого місяця в суботу, шостий ід грудня (8 грудня) з ранку до вечора на тлі Сонця з'явилися дві чорні сфери. Перша була у верхній частині і велика, друга — у нижній частині і маленька, і кожна була прямо протилежна іншій» [6].

У 1608 році відбулася подія, яка докорінно змінила розвиток астрономії, зокрема й астрономії сонячної. Шліфувальник скла з голландського міста Міделбурга на ім'я Ганс (Ян) Ліппершей спорудив зорову трубу з двома лінзами. 2 жовтня 1608 року він надав Генеральним штатам Нідерландів «Інструмент для бачення на відстані». Незабаром при дворі графа Мауріца ван Нассау в Гаазі Ліппершей провів демонстрацію дії свого винаходу, продемонструвавши, що з вежі в Гаазі можна побачити стрілки годинника на вежі церкви в Делфті, на відстані приблизно 15 кілометрів. При демонстрації були присутні послы та державні діячі, які зібралися з нагоди перемовин про дванадцятирічне перемир'я у Вісімдесятирічній війні. Ліппершей попросив фінансової допомоги у Генеральних штатів і отримав 900 гульденів на удосконалення технології та на підготовку фахівців для армії. Однак його запит на патент був відхилений через те, що й інші майстри, такі як Захарій (Захаріас) Янссен з Міделбурга і Яків Метьюз з Алкмара вже володіли примірниками підзорних труб, а останній невдовзі після Ліппершея подав у Генеральні штати запит на патент [1, 18, 20, 49, 88, 93, 94, 97, 98]. 3 березня 1655 року міська рада Міделбурга провела розслідування з питання пріоритету винаходу телескопа і встановила, що перші телескопи почали виготовляти в Міделбурзі близько 1605 року, і незабаром їх вже робили багато майстрів [8]. Антон Паннекук в «Історії астрономії» вказує, що Захарій Янссен з Міделбурга виготовив подібну трубу ще в 1604 році, скопіювавши її з примірника, що належав невідомому італійцеві [57].

Про винахід телескопа повідомив у листі професору Падуйського університету Галілео Галілею венеціанський посланник у Парижі. Галілей улітку 1609 роки збудував у себе в майстерні описану конструкцію. Назву «телескоп» (в перекладі з грецької мови «дивлюся вдалину») запропонував Іоанніс Дімісіанос (Джованні Демізіані), член *Accademia dei Lincei* (Академії рисьооких), в яку входив і Галілей. Винайдений в Голландії телескоп незабаром став популярним інструментом по всій Європі. Таким чином, природно, що як і інші небесні

об'єкти, сонячні плями були виявлені незалежно в декількох місцях різними спостерігачами практично майже одночасно [60].

Томас Герріот вважається першою людиною, яка 8 грудня 1610 року в Сайон-хаусі бачила сонячні плями, спостерігаючи за Сонцем безпосередньо в телескоп. Згодом зображення сонячних плям Герріот зобразив майже на 200 малюнках. Але, як і багато інших робіт, зображення сонячних плям він не опублікував [12, 27, 90].

Перше повідомлення з описом сонячних плям опублікував Йоганн Фабриціус у червні 1611 р. у книзі «De Maculis in Sole Observatis», («Плями, що спостерігаються на Сонці»), він спостерігав плями у телескоп в Остілію у Східній Фрісландії 27 лютого 1611 р. (Хоча є інформація, що вперше плями на Сонці Фабриціус спостерігав також у грудні 1610 р.) Фабриціус також повідомив, що Сонце, напевне, обертається навколо своєї осі. Стежачи за переміщеннями трьох плям поверхнею Сонця, він оцінив, що період обертання Сонця становить приблизно місяць [10, 54].

У листі до Марка Велсера, банкіра, мецената, політика і вченого з Аугсбурга, від 4 травня 1612 р. Галілео Галілей повідомляв, що спостерігав за плямами вже протягом 18 місяців, тобто з кінця 1610 року, проте доказів цього не навів. Відомо, що навесні 1611 року Галілей під час свого перебування у Римі показував плями багатьом городянам і представникам знаті та духовенства. У 1613 р. у публікації про сонячні плями він стверджував, що спостерігав це явище у квітні 1611 р. Техніку спостережень Галілей так описує в листі до Велсера від 14 серпня 1612 р.: «Спрямуйте телескоп на Сонце, так, немов ви збиралися спостерігати це тіло. Зосередившись і стабілізувавши його, виставте плоский білий аркуш паперу близько фута від увігнутої лінзи; на нього впаде кругове зображення сонячного диска з усіма плямами, які на ньому розташовані, і розташовані з тією ж симетрією, що і на Сонці. Що далі папір відсувається від трубки, то більшим стане це зображення, і кращим буде зображення плям. Таким чином, всі вони будуть видні без шкоди для очей, навіть найменша з них, яку при спостереженні через телескоп було б ледь помітно, і це тільки призвело б до перевтоми і травми очей...» [10, 22].

Ще одним спостерігачем плям був Крістоф Шейнер, німецький єзуїт і професор в університеті Інгольштадта [48, 80, 91]. Церковні традиції в принципі не допускали нових відкриттів, дозволяючи лише цитувати і коментувати Святе Письмо. Посягання на ідеальну чистоту Сонця розцінювалося як блюзнірство. Священнослужитель Шейнер намагався врятувати Сонце від недосконалості. Тому він припустив, що сонячні плями були викликані супутниками Сонця, тіні яких проєктуються на диск Сонця. Його листи про це явище, написані Марку Велсеру, були опубліковані на початку 1612 року під псевдонімом «Apelles latens post tabulam» («Апеллес, що ховається за картиною»). Велсер запропонував ученим, зокрема й Галілею, прокоментувати ці листи, і Галілей відповів двома листами Велсеру, в яких він стверд-

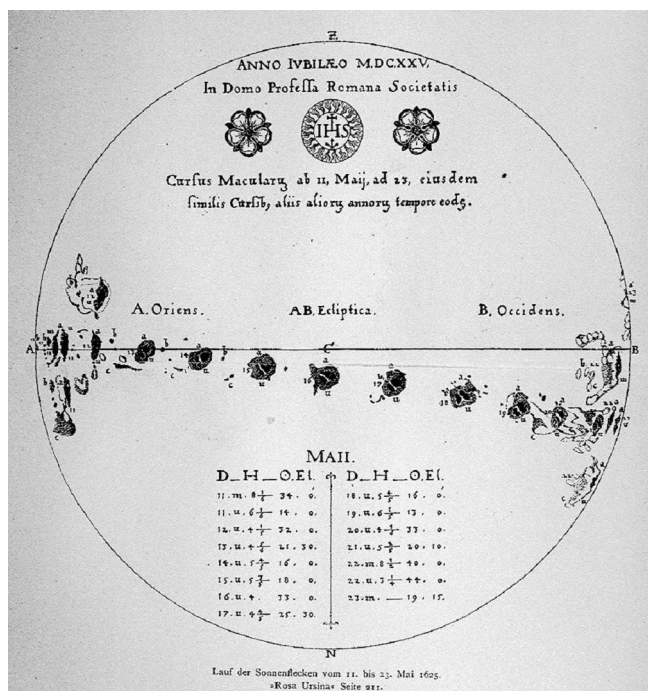


Рис. 1. Замальовка спостережень Шейнера від 11—25 травня 1625 р.

жував, що сонячні плями перебувають на поверхні Сонця або біля неї, що вони змінюють свою форму і часто виникають на Сонці та гинуть там, і тому Сонце недосконале [9, 21, 54].

Однак Галілей не проводив систематичних спостережень сонячних плям, Шейнер же невдовзі повністю присвятив себе цим спостереженням і безперервно спостерігав за сонячними плямами більш ніж 15 років [5, 6, 48, 86]. Перші сонячні спостереження були зроблені Шейнером безпосередньо у телескоп ще у березні — травні 1611 р., коли він і помітив плями на Сонці. Регулярні спостереження він продовжив уже через кілька місяців, коли придбав і почав використовувати сині і зелені скляні фільтри. На рис. 1 показано замальовку Шейнера сонячних плям; він першим винайшов нові способи подання руху плям по диску Сонця.

У наступні роки Шейнер розробив «*heliotropii telioscopici*» (геліоскоп) для спостережень за Сонцем. Результати багаторічних спостережень були опубліковані у 1630 році в його книзі «*Rosa Ursina sive Sol*» [17, 62, 87]. Ця книга складається з чотирьох частин. У першій частині Шейнер обговорює пріоритет відкриття сонячних плям. У другій частині описується геліоскоп, порівнюється оптика телескопа з оптикою ока. У третій частині Шейнер надає повний звіт про свої спостереження сонячних плям. У четвертій — розглядаються різні сонячні явища, такі як сонячні плями і сонячні спалахи, 27-денний період обертання Сонця, нахил осі обертання. У кінці Шейнер наводить численні уривки і цитати з Біблії, твори отців церкви.

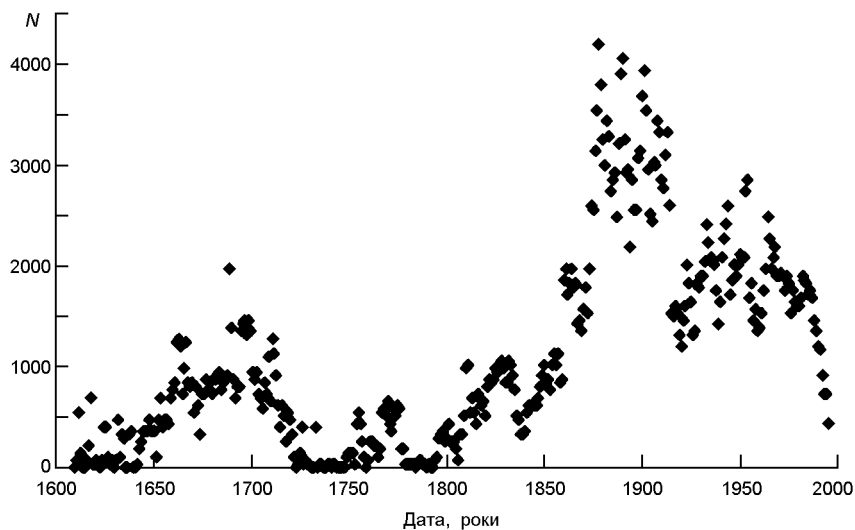


Рис. 2. Кількість спостережень сонячних плям протягом року

У другій половині XVII — на початку XVIII століття сонячні плями спостерігали Ян Гевелій у Данцигу, Жан Пікар у Парижі, Мартін Фогеліус і Генріх Сіверус у Гамбурзі, Джон Флемстид у Гринвічі, Георг Хрістоф Айммарт у Нюрнберзі, Філіп де ла Хір у Парижі і деякі інші їхні сучасники [86, 96]. Протягом багатьох років вони старанно робили записи про плями на Сонці. Поступово величезний інтерес до спостережень сонячних плям, що виник одразу після їхнього відкриття, був утрачений (див. рис. 2).

З середини XVIII століття кількість спостережень збільшилася, зокрема, Йоганн Каспар Штаудахер в Нюрнберзі і Христіан Горребу в Копенгагені протягом 50 років (понад 1000 днів спостережень) і 15 років (понад 3000 днів спостережень) відповідно робили записи і замальовки [19, 83]. Водночас коротші серії спостережень були виконані Людовіко Дзукконі у Венеції (майже 900 днів спостережень за 16 років), Карлом Шубертом у Данцигу (майже 500 днів спостережень за 4 роки) [96].

Спостереження проводилися в Парижі, Марселі, Лілієнталі, Готтінгені, Дрездені, Берліні, Граці, Мюнхені, Единбурзі, Венеції, Мілані, Празі. Але жоден із спостерігачів навіть не думав про те, щоб узагальнити спостереження. Якби це сталося, то періодичність сонячних плям могла б бути відкритою і, отже, відомою набагато раніше, але побутувала думка, що поява сонячних плям — випадкове явище і, як сказав французький астроном Жан-Батист Жозеф Делаамбр: «Самі по собі плями швидше забавні, ніж корисні».

Наведемо кілька висловлювань про періодичність сонячних плям видатних астрономів свого часу: «Немає ніякої регулярності у появі і зникненні [плям]» (Джон Кейл, 1718 р. «Introductio ad veram astronomiam, seu lectiones astronomicæ habitæ in Schola Astronomica Academiæ

Охониєнсіс» [38]); «Немає ніяких правил у формуванні, зокрема і формі [плям]» (Жак Кассіні, 1740 р., «Elements d'astronomie» [11]); «[Плями] не дотримуються якого-небудь закону в своїй появі» (П'єр Шарль Лемоньє, 1746 р., «Institutions astronomiques» [43]); «Сонячні плями нерегулярні за своєю формою, потужністю, кількістю або часом їхньої появи і життя» (Роджер Лонг, 1764 р., «Astronomy, in five books» [46]); «Поява плям не має нічого спільного з регулярністю» (Жозеф Жером Лефрансуа де Лаланд, 1771 р., «Astronomie» [42]).

Перша здогадка про можливість періодичної поведінки сонячних плям була зроблена Христіаном Горребу, який писав у своєму щоденнику 1776 року: «Не дивлячись на те, що наші спостереження показують, що зміни сонячних плям повинні бути періодичними, ніхто не може знайти певні правила для порядку, в якому відбувається ця зміна, і через скільки років. Головним чином це пов'язане з тим, що астрономи досі доклали мало зусиль для частих спостережень сонячних плям, бо вони безсумнівно вважали, що з цього не вийде нічого, що принесло б користь астрономії» [28]. Для свого часу Христіан Горребу був дуже продуктивним ученим: він опублікував не менше семи монографій латиною і 28 статей на данській мові, збереглося 20 записників Христіана Горребу, які містять спостереження сонячних плям, з таблицями, малюнками, коментарями до спостережень на латині [30, 35, 37, 50]. Таким чином, Горребу, ймовірно, був першим, хто припустив, що сонячна активність має певну періодичність [6].

У кінці XVIII — на початку XIX століття до спостерігачів Сонця приєдналися П'єр-Жиль-Антуан-Оноре Фложерг у Вівьє, Августин Старк в Аугсбурзі, Йоганн Вільгельм Пасторф у Дроссені, Франквіс Араго у Парижі, Йоганн Фрідріх Юліус Шмідт в Афінах [96]. І хоча Христіан Горребу згадує про можливу періодичність сонячних плям у 1776 році, по-справжньому цикл сонячної активності був відкритий лише через 68 років.

Спостерігач Генріх Швабе шукав невідому планету всередині орбіти Меркурія, яка, як він вважав, могла появитися як темна пляма при проходженні перед Сонцем, але незабаром зосередився на спостереженні сонячних плям [47, 24]. Рік за роком, починаючи з 1826 року, кожен ясний день Швабе спостерігав і замальовував сонячні плями. У 1843 році Генріх Швабе, проаналізувавши свої спостереження приблизно за 18 років, знайшов, що плями з'являються з певною регулярністю, з періодом близько 10 років, і в 1844 р. опублікував цей результат в *Astronomische Nachrichten* [64]. На рис. 3 показано його дані про кількість груп плям, які спостерігалися щорічно з 1826 по 1868 р. [63, 65—79]. У 1857 році Королівське астрономічне товариство нагородило Швабе своєю золотою медаллю (вона була вручена йому Керрінгтоном у Дессау), і в 1868 році він був обраний членом Товариства [2—4, 7, 16, 23, 33].

Спочатку повідомлення Швабе про періодичність сонячних плям привернуло мало уваги. Широковідомим і загальноновизнаним воно

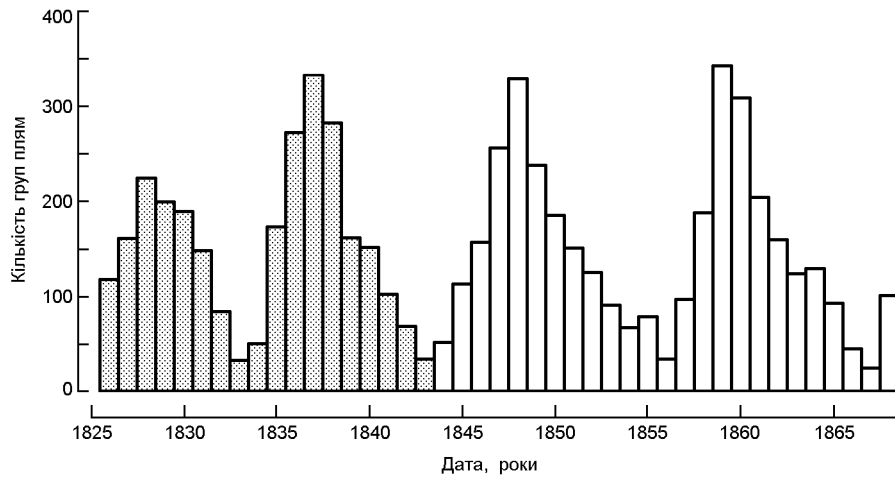


Рис. 3. Групи сонячних плям, які спостерігалися Генріхом Швабе з 1826 по 1868 рр. Заштриховано дані, на підставі яких Швабе зробив висновок про періодичність сонячної активності

стало лише в 1851 році, коли відомий натураліст Олександр Гумбольдт у 3-му томі своєї книги «Космос» сповістив увесь світ про це відкриття [92].

У 1852 році професор астрономії Бернського університету Рудольф Вольф перевизначив тривалість сонячного циклу. За його розрахунками виявилось, що максимальна кількість плям повторюється кожні 11.1 року (а не кожні 10 років, як знайшов Швабе). Трохи пізніше, будучи вже директором Цюрихської обсерваторії, Вольф вперше організував постійні систематичні спостереження сонячних плям. Він також ще у 1848 р. увів поняття щоденного «відносного» числа сонячних плям (число Вольфа, міжнародне число сонячних плям, цюрихське число сонячних плям)

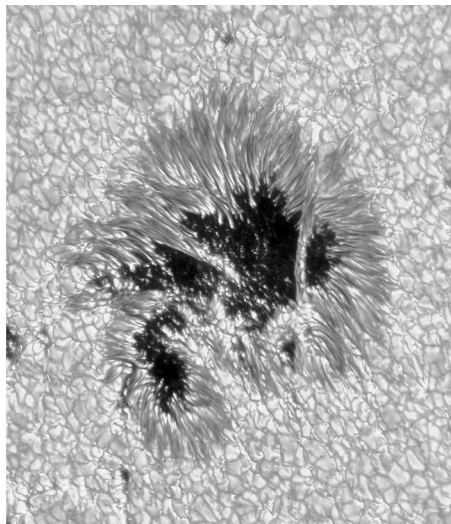
$$W = k(f + 10g),$$

де  $g$  — кількість груп плям,  $f$  — кількість окремих плям,  $k$  — ваговий коефіцієнт для спостерігача. Вольф увів систему, засновану на використанні основного спостерігача. Кількість сонячних плям щодня визначалася основним спостерігачем. Якщо основний спостерігач не міг спостерігати і зробити підрахунок, то замість нього використовувалося визначення від вторинного або третинного спостерігача з різними ваговими коефіцієнтами [96]. З 1849 по 1893 рр. основним спостерігачем був сам Вольф, з 1894 по 1926 рр. — Альфред Вольфер (Цюрих), з 1926 по 1944 рр. — Вільям Отто Бруннер (Цюрих), з 1945 по 1979 рр. — Макс Вальдмайер (Ароса), з 1981 року міжнародне число сонячних плям надає Королівська обсерваторія Бельгії з основним спостерігачем Серджіо Кортезі (Локарно). Вольф розширив записи на 100 років назад, використовуючи у ролі основного спостерігача з 1749 по 1787 рр. Йоганна Каспара Штаудахера (Нюрнберг), з 1788 по 1825 рр. — Оноре Флержера (Вівьє) і з 1826 по 1847 рр. — Самуеля





*Рис. 4.* Зображення сонячної плями, зроблене Семюелем Пірпоном Ленглі 24.12.1873 р. Спостерігалось за допомогою 13-дюймового рефрактора Фітц-Кларк обсерваторії Аллегейні (Піттсбург, штат Пенсильванія). З книги «Нова астрономія» (The New Astronomy, 1888 р.)



*Рис. 5.* Активна область AR NOAA 11109 27 вересня 2011 р. Телескоп НСТ Сонячної Обсерваторії Біг Бер, (Каліфорнія). Це один з найдокладніших сучасних знімків сонячної плями

Генріха Швабе (Дессау). Варто зазначити, що ще у XIX столітті вченими робилися дуже детальні замальовки структури сонячних плям, що не поступаються у деталізації навіть найкращим сучасним зображенням (рис. 4 і 5).

Уже в XX столітті японський спостерігач Гісако Кояма створила одну з найбільш значних колекцій спостережень Сонця за останні 400 років. У 1944 році вона представила свій перший ескіз сонячної плями Іссею Ямамото, професору астрономії в Кіотському університеті. Під керівництвом Ямамото Кояма почала робити замальовки сонячних

плям, використовуючи проєкцію зображення з телескопа на аркуш паперу. Весною 1946 р. року Кояма почала працювати професійним штатним спостерігачем у Токійському музеї науки (нині — Національний музей природи і науки) [55, 85]. З 1947 по 1984 рр. Г. Кояма задокументувала понад 8000 груп сонячних плям, які вона опублікувала у монографії у 1985 році. Її спостереження стали значним внеском у встановлення безперервної реєстрації сонячних плям за останні чотири століття. У 1986 році вона стала лауреатом премії Східної астрономічної асоціації [55, 85]. За 40 років досліджень вона зробила понад 10 000 малюнків Сонця [41]. Всі замальовки Г. Коями були створені з використанням одного й того ж 20-сантиметрового телескопа-рефрактора і одного й того ж методу спостережень [40, 25]. Завдяки цьому її спостереження були використані як основа для калібрування підрахунку сонячних плям з метою подолання важливого розриву між початком XX століття і сучасними записами.

Істотний крок в удосконаленні спостережного ряду сонячних плям було зроблено у 1998 році, коли Дуглас Гойт і Кен Шаттен [31, 32] опублікували перероблений ряд сонячних плям з 1610 р. Новий ряд був заснований на аналізі 455242 записів спостережень 463 спостерігачів. Однак були вирішені не всі проблеми з порівнянням записів про спостереження сонячних плям, які часто були нечіткими, зробленими в умовах різної видимості і т. п. [36, 52, 53].

З 2011 року міжнародна група дослідників на чолі з Лейфом Свальгаардом (Leif Svalgaard) намагається відновити майже 400-річну історію активності сонячних плям з 1610 до 2000 рр. [13, 45, 81, 82]. В основі проекту лежать ескізи Крістофа Шейнера, Йоганна Каспара Штаудахера, Генріха Швабе, Рудольфа Вольфа, Гісако Коями [9, 26].

З липня 2015 р. Міжнародний Центр Даних SILSO (Sunspot Index and Long-term Solar Observations) при Бельгійській Королівській обсерваторії підтримує новий, ревізований ряд відносного числа сонячних плям (його називають Версія 2.0). Нові дані про сонячні плями є досить надійними з 1749 року. Вони також добре узгоджуються з іншими характеристиками сонячної мінливості [14, 15, 44, 84]. Детальну інформацію про необхідність такої ревізії і про те, як її було зроблено, можна знайти, наприклад, у роботі [14].

Основні відмінності Версії 2.0 від попередньої:

1) за основу взято спостережний ряд Альфреда Вольфера, а не Рудольфа Вольфа, що приблизно у 1.67 раза збільшує більш ранні значення, роблячи їх близькими до сучасних;

2) виправлено значення після 1947 р., коли Максом Вальдмайєром при визначенні відносного числа сонячних плям були введені «ваги» відповідно до розміру плям;

3) знайдено і усунуто змінний тренд у спостереженнях обсерваторії Локарно, яка була реперною обсерваторією після 1980 р.

На рис. 6 показані графіки «нових», ревізованих, і «старих», до 2015 р., місячних згладжених чисел Вольфа і їхнє відношення, а у

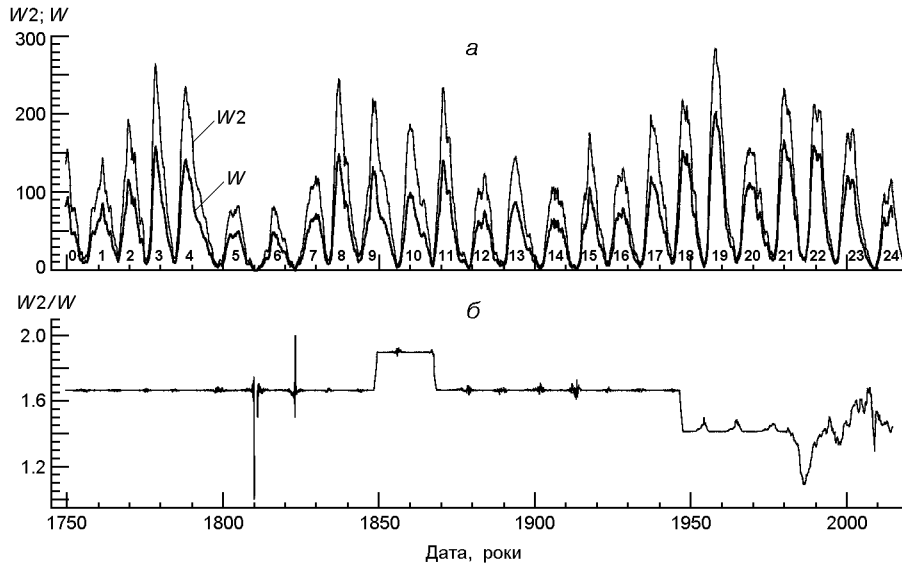


Рис. 6. Зміна з часом місячного згладжених відносних чисел сонячних плям:  $W_2$  — «нові» числа (версія 2.0),  $W$  — «старі» числа; і відношення  $W_2/W$  між «новими» і «старими» значеннями. Номери циклів указані на верхній панелі

таблиці — характеристики сонячних циклів за Версією 2.0. Максимальне число сонячних плям спостерігалось у 19-му циклі — 285.0, а мінімальне (81.2) — у 6-му циклі. Найкоротшим і найдовшим були відповідно 2-й і 4-й цикли з тривалістю 9.0 р. і 13.58 р.

Великий інтерес для геліофізики і космічної погоди становить прогноз сонячної активності у майбутньому, як у максимумі поточного 25-го циклу, мінімум якого спостерігався трохи більше року тому, у грудні 2019 р., так і у віддаленій перспективі. Є багато методів прогнозування максимуму циклу (див. наприклад, [59]), чи не кожного тижня друкуються нові прогнози максимуму 25-го циклу. Оцінімо й ми, яким може бути максимальне число сонячних плям у 25-му циклі.

На рис. 7 показані залежності максимального згладженого місячного числа сонячних плям  $W_{\max}$  від значення  $W_{\min}$  у мінімумі циклу і від тривалості попереднього циклу  $T_{\text{ср}}$ . Ці залежності у лінійному наближенні описуються виразами

$$W_{\max} = (125.3 \pm 18.9) + (5.7 \pm 1.7) W_{\min},$$

$$W_{\max} = (557.9 \pm 86.1) + (-34.4 \pm 7.8) T_{\text{ср}}.$$

Кореляція в обох випадках статистично суттєва. Коефіцієнт кореляції між значеннями  $W_{\max}$  і  $W_{\min}$  становить 0.557 ( $P < 0.001$ ), а між  $W_{\max}$  і  $T_{\text{ср}}$  — -0.686 ( $P < 0.001$ ).

Наведені вище залежності дозволяють отримати прогнозовані значення максимуму 25-го циклу. Враховуючи, що  $W_{\min}(25) = 1.8$  і  $T_{\text{ср}}(24) = 11.0$  (див. табл. 1), отримуємо відповідно два прогнози максимуму

## Характеристики сонячних циклів (місячні згладжені значення, Версія 2.0)

Номер циклу	$T_{\min}$	$W_{\min}$	$T_{\max}$	$W_{\max}$	$T_{\text{rise}}$	$T_{\text{fall}}$	$T_{\text{cycle}}$
0	1744.500	8.3	1750.288	154.3	5.788	4.835	10.623
1	1755.123	14.0	1761.455	144.1	6.332	5.000	11.332
2	1766.455	18.6	1769.707	193.0	3.252	5.748	9.000
3	1775.455	12.0	1778.371	264.3	2.916	6.337	9.253
4	1784.708	15.9	1788.124	235.3	3.416	10.164	13.580
5	1798.288	5.3	1805.123	82.0	6.835	5.415	12.250
6	1810.538	0.0	1816.373	81.2	5.835	6.915	12.750
7	1823.288	0.2	1829.874	119.2	6.586	4.000	10.586
8	1833.874	12.2	1837.204	244.9	3.330	6.334	9.664
9	1843.538	17.6	1848.124	219.9	4.586	7.834	12.420
10	1855.958	6.0	1860.124	186.2	4.166	7.080	11.246
11	1867.204	9.9	1870.623	234.0	3.419	8.335	11.754
12	1878.958	3.7	1883.958	124.4	5.000	6.246	11.246
13	1890.204	8.3	1894.042	146.5	3.838	8.000	11.838
14	1902.042	4.5	1906.123	107.1	4.081	7.415	11.496
15	1913.538	2.5	1917.623	175.7	4.085	6.000	10.085
16	1923.623	9.4	1928.290	130.2	4.667	5.417	10.084
17	1933.707	5.8	1937.288	198.6	3.581	6.836	10.417
18	1944.124	12.9	1947.371	218.7	3.247	6.917	10.164
19	1954.288	5.1	1958.204	285.0	3.916	6.587	10.503
20	1964.791	14.3	1968.874	156.6	4.083	7.332	11.415
21	1976.206	17.8	1979.958	232.9	3.752	6.749	10.501
22	1986.707	13.5	1989.874	212.5	3.167	6.750	9.917
23	1996.624	11.2	2001.874	180.3	5.250	7.084	12.334
24	2008.958	2.2	2014.288	116.4	5.330	5.670	11.0
25	2019.958	1.8					
Середнє		9.0		177.7	4.418	6.601	11.018

25-го циклу:  $135.5 \pm 33.8$  і  $179.4 \pm 18.2$  (довірчі інтервали відповідають 2 ). Порівнюючи отримані прогнозовані значення для 25-го циклу із максимумами попередніх циклів, бачимо, що 25-й цикл очікується вищим від 24-го, але нижчим від 23-го циклу.

Отримані нами прогнози 25-го циклу узгоджуються із прогнозами у роботах [39, 56, 58, 61], де прогнозовані величини максимуму 25-го циклу становлять  $135 \pm 25$ ,  $122.1 \pm 18.2$ ,  $154 \pm 12$ ,  $147 \pm 30$  відповідно, тобто також отримано, що 25-й цикл буде активнішим від попереднього 24-го і слабшим від 23-го.

У часовій залежності кількості сонячних плям також простежується так званий «віковий» цикл із періодом сім — десять 11-річних циклів («цикл Гляйсберга», рис. 8). Для 1750—2020 рр. «середній» віковий цикл становить приблизно 92.2 року, а для 1910—2020 рр. — близько 112.7 року. Ймовірно, амплітуда вікового циклу у найближчі роки піде вгору. Це також вказує на те, що подальшого спаду сонячної активності, до рівня якогось нового мінімуму на кшталт Мінімуму Маундера, не очікується.

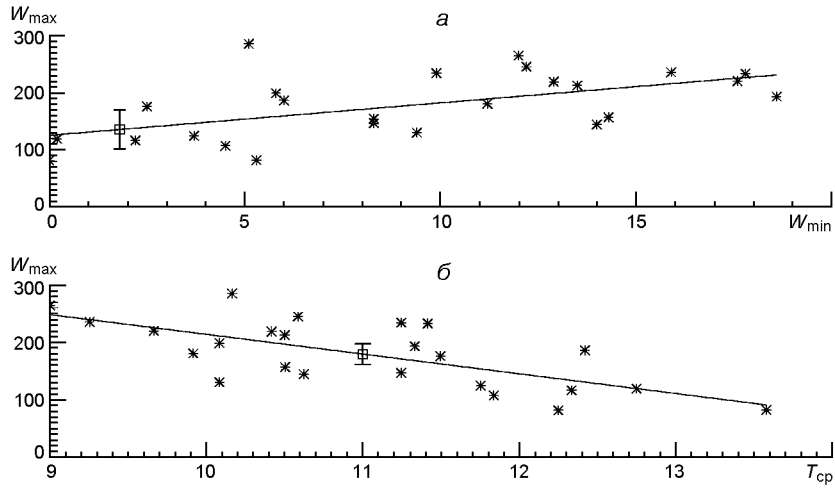


Рис. 7. Залежності максимального згладженого місячного числа сонячних плям  $W_{\max}$  від значення  $W_{\min}$  у мінімумі циклу (а) і від тривалості попереднього циклу  $T_{\text{cp}}$  (б). Прямі лінії — лінійні регресії. Прогнозовані значення для 25-го циклу з довірчим інтервалом 2 показано квадратиками

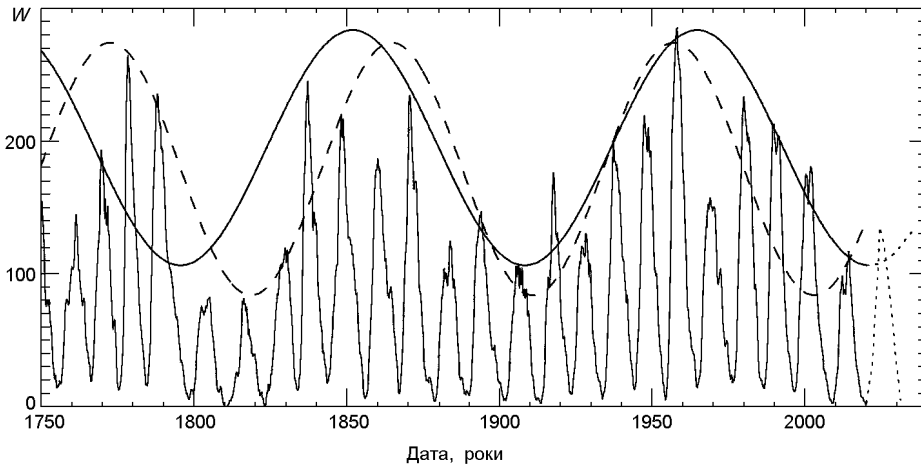


Рис. 8. Місячне згладжене число  $W$  сонячних плям з 1750 р. і графіки синусоїд з періодами 92.193 і 112.727 років (штрихова і суцільна лінії відповідно). Пунктир — прогнозоване число сонячних плям у 25-му циклі

Таким чином, відносне число сонячних плям, цей основний індекс сонячної активності, є наразі найдовшим неперервним спостережним індексом, що характеризує Сонце і дозволяє вивчати не тільки динаміку сонячної активності протягом тривалого часу, а й вплив її на клімат чи інші процеси на Землі. Нові дані показують, що сонячна активність була відносно стабільною з 1750-х років, не було якогось суттєвого тренду (окрім варіацій вікового циклу). А це, зі свого боку, вказує на необхідність корегування чи перегляду кліматологічних моделей впливу сонячної активності на глобальне потепління. Праці спостерігачів і дослідників сонячних плям минулих століть дозволяють

не тільки краще розуміти сонячну активність і процеси на Сонці, а й прогнозувати вплив сонячної активності на наше життя у майбутньому.

## REFERENCES

1. Abrahams P. (2009) The meaning of the 'anniversary of the telescope'. *J. Antique Telescope Soc.* 30. 3—4.
2. Arlt R. (2011) The sunspot observations by Samuel Heinrich Schwabe. *Astron. Nachr.* 332. 8. 805—814.
3. Arlt R. (2014) Sunspots from the past, treasures for today. *Astron. Geophys.* 55. 3.24—3.27.
4. Arlt R., Leussu R., Giese N., Mursula K., Usoskin I. G. (2013) Sunspot positions and sizes for 1825—1867 from the observations by Samuel Heinrich Schwabe. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 433. 3165—3172.
5. Arlt R., Senthamizh Pavai V., Schmiel C., Spada F. (2016) Sunspot positions, areas, and group tilt angles for 1611—1631 from observations by Christoph Scheiner. *Astron. and Astrophys.* 595. id. A104. 10.
6. Arlt R., Vaquero J. M. (2020) Historical sunspot records. *Living Rev. Solar Phys.* 17. 1. 1. 60.
7. Beet E. A. (1975) Heinrich Samuel Schwabe, 1789—1875. *J. Brit. Astron. Assoc.* 85. 532—533.
8. Borel P. (1655) *De vero telescopii inventore, cum brevi omnium conspicilliorum historia.* Publ. A. Vlacq. URL: [http://books.google.com/books?id=NT8PAAAAQAAJ&hl=&source=gbs\\_api](http://books.google.com/books?id=NT8PAAAAQAAJ&hl=&source=gbs_api)
9. Carrasco V. M. S., Gallego M. C., Vaquero J. M. (2020) Number of sunspot groups from the Galileo-Scheiner controversy revisited. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 496. 2. 2482—2492.
10. Casanovas J. (1997) Early observations of sunspots: Scheiner and Galileo. 1st Advances in Solar Physics Euroconference. Advances in Physics of Sunspots. Eds B. Schmieder, J. C. del Toro Iniesta, M. Vazquez. *ASP Conf. Ser.* 118. 3—20.
11. Cassini M. (1740) *Elements d'astronomie.* Paris: Imprimerie royale. XVI. 643. ETH-Bibliothek Zürich, Rar 4398. URL: <https://doi.org/10.3931/e-rara-19698/> Public Domain Mark
12. Chapman A. (2008) Thomas Harriot: the first telescopic astronomer. *J. Brit. Astron. Assoc.* 118. 315—325.
13. Chatzistergos T., Usoskin I. G., Kovaltsov G. A., Krivova N. A., Solanki S. K. (2017) New reconstruction of the sunspot group numbers since 1739 using direct calibration and “backbone” methods. *Astron. and Astrophys.* 602. id. A69. 18.
14. Clette F., Svalgaard L., Vaquero J. M., Cliver E. W. (2014) Revisiting the sunspot number. A 400-year perspective on the solar cycle. *Space Sci. Rev.* 186. 1-4. 35—103.
15. Clette F., Vaquero J. M., Cruz Gallego M., Lefèvre L. (2020) Sunspot and group number: Recent advances from historical data. Astronomy in Focus XXX, presented at IAU XXX General Assembly, Vienna, Austria. Proc. IAU. 156—159.
16. Cliver E. W. (2005) Carrington, Schwabe, and the Gold Medal. *EOS Transactions.* 86, 13—418.
17. Daxecker F. (1997) Christoph Scheiner's main work “Rosa Ursina”. *Astron. Ges. Abstr. Ser.* 13. 137.

18. Doberck W. (1879) The inventor of the telescope. *The Observatory*. 2. 364—370.
19. Dreyer J. L. E. (1903) Horrebow and sun-spots. *The Observatory*. 26. 461—462.
20. Edgecomb D. W. (1899) Notes of the Invention of the Telescope. *Popular Astronomy*. 7. 184—193.
21. Engvold O., Zirker J. B. (2016) The parallel worlds of Christoph Scheiner and Galileo Galilei. *J. Hist. Astron.* 47. 3. 332—345.
22. Giudice F. (2014) Galileo's cosmological view from the Sidereus Nuncius to letters on sunspots. GALILEANA. Studies in Renaissance and Early Modern Science. Ed. Leo S. Olschki. Firenze. Thomson Reuters.
23. *Gold Medal Winners*. URL: [https://ras.ac.uk/sites/default/files/2019-04/Gold\\_medallists.pdf](https://ras.ac.uk/sites/default/files/2019-04/Gold_medallists.pdf)
24. Hathaway D. H. (2015) The solar cycle. *Living Rev. Solar Phys.* 12. 1. id. 4. 87.
25. Hayakawa H., Clette F., Horaguchi T., Iju T., Knipp D. J., Liu H., Nakajima T. (2020) Sunspot observations by Hisako Koyama: 1945—1996. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 492. 4513—4527.
26. Hayakawa H., Iju T., Uneme S., Besser B. P., Kosaka S., Imada S. (2020) Reanalyses of the sunspot observations of Fogelius and Siverus: Two “long-term” observers during the Maunder Minimum. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* staa2965.
27. Herr R. B. (1978) Solar rotation determined from Thomas Harriot's sunspot observations of 1611 to 1613. *Science*. 202. 1079—1081.
28. Horrebow C. (1783) *Elementa astronomiae sphaericae in usum praelectionum*. *Elementa astronomiae sphaericae in usum praelectionum*, ETH-Bibliothek Zürich, Rar 4094. URL: <https://doi.org/10.3931/e-rara-1648> / Public Domain Mark.
29. Hosie A. (1879) The first observations of sun-spots. *Nature*. 20. 501. 131—132.
30. Hoyt D. V., Schatten K. H. (1995) A new interpretation of Christian Horrebow's sunspot observations from 1761 to 1777. *Solar Phys.* 160. 387—392.
31. Hoyt D. V., Schatten K. H. (1998) Group sunspot numbers: A new solar activity reconstruction. *Solar Phys.* 179. 189—219.
32. Hoyt D. V., Schatten K. H. (1998) Group sunspot numbers: A new solar activity reconstruction. *Solar Phys.* 181. 491—512.
33. Johnson M. J. (1858) An Address delivered at the Annual General Meeting of the Society, February 13, 1857, on presenting the Gold Medal to M. Schwabe. *Mem. Roy. Astron. Soc.* 26. 196—204.
34. Johnson S. J. (1879) Early sun-spot records. *Nature*. 20. 502. 146.
35. Jrrgensen C. S., Karoff C., Senthamizh Pavai V., Arlt R. (2019) Christian Horrebow's sunspot observations. I. Life and published writings. *Solar Phys.* 294. 6. id. 77. 12.
36. Karachik N. V., Pevtsov A. A., Nagovitsyn Y. A. (2019) The effect of telescope aperture, scattered light and human vision on early measurements of sunspot and group numbers. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 488. 3804—3809.
37. Karoff C., Jrrgensen C. S., Senthamizh Pavai V., Arlt R. (2019) Christian Horrebow's sunspot observations. II. Construction of a record of sunspot positions. *Solar Phys.* 294. 6. id. 78, 16.
38. Keill J. (1721) *Introductio ad Veram Astronomiam, seu Lectiones Astronomicae Habitaе in Schola Astronomica Academiae Oxoniensis*. 2nd ed., Londini. Octavo, XVI, 513.
39. Kim Kwee Ng. (2019) Coronal mass ejections, solar cycles and magnetic poles reversal. *Amer. J. Astron. and Astrophys.* 7. 1. 10—17.
40. Knipp D., Liu H., Hayakawa H. (2017) Ms. Hisako Koyama: From amateur astronomer to long-term solar observer. *Space Weather*. 15. 1215—1221.

41. Koyama H. (1985) *Observations of sunspots, 1947—1984*. H. Koyama. Kawadeshoboshinsha (available from Bosei-Kikaku Co., Saichi Building 15-8, 5 chome, Sendagaya, Shibuya-ku, Tokyo 151, Japan). 354.
42. Lalande J. J. (1781) *Le Franzais de, Astronomie, 1781*, Paris: Veuve Desaint. 818.
43. Le Monnier P. C. *Institutions astronomiques*. 1746. Pairs: chez Hippolyte-Louis Guerin & Jacques Guerin, 660 S. ETH-Bibliothek Zürich, Rar 4053 URL: <https://dx.doi.org/10.3931/e-rara-2554> / Public Domain Mark.
44. Leussu R., Usoskin I. G., Arlt R., Mursula K. (2013) Inconsistency of the Wolf sunspot number series around 1848. *Astron. and Astrophys.* 559. id. A28. 4.
45. Lomb N. (2013) The sunspot cycle revisited. *J. Phys: Conf. Ser.* 440. 1. id. 012042.
46. Long R. (1742) *Astronomy, in five books*, Vol. 1, Books 1-2. Cambridge [England]: Printed for the author. 356.
47. Luby W. A. (1928) The mean period of the sun-spots. *Popular Astron.* 36. 537—543.
48. Lynn W. T. (1890) Scheiner and the solar spots. *The Observatory.* 13. 111.
49. Lynn W. T. (1902) The invention of the telescope. *The Observatory.* 25. 436—437.
50. Lynn W. T. (1903) The family of Horrebow. *The Observatory.* 26. 420—422.
51. Manfroid J. (2013) L'origine du télescope (II). *Le Ciel.* 75. 66—82.
52. Mathieu S., Delouille V., Lefèvre L., Ritter C., von Sachs R. (2020) Uncertainty quantification in sunspot counts. *Astrophys. J.* 886. 7. 14.
53. Muñoz-Jaramillo A., Vaquero J. M. (2019) Visualization of the challenges and limitations of the long-term sunspot number record. *Nature Astron.* 3. 205—211.
54. Nagasawa S., Takakura T., Tsuchiya A., Tanaka H., Koyama H. (1961) A very unusual flare on November 15, 1960. *Publ. Astron. Soc. Jap.* 13. 129—134.
55. Neuhäuser R.; Neuhäuser D. L. (2016) Sunspot numbers based on historic records in the 1610s: Early telescopic observations by Simon Marius and others. *Astron. Nachr.* 337. 6. 581—620.
56. Okoh D. I., Seemala G. K., Rabiou A. B., Uwamahoro J. B., Habarulema J. B., Aggarwal M. (2018) A hybrid regression-neural network (HR-NN) method for forecasting the solar activity. *Space Weather.* 16. 9. 1424—1436.
57. Pannekoek A. (1961) *A history of astronomy*. New York, Interscience Publishers, 521.
58. Pesnell W. D., Schatten K. H. (2018) An early prediction of amplitude of solar cycle 25. *Solar Phys.* 293. id. 112.
59. Petrovay K. (2020) Solar cycle prediction. *Living Rev. Solar Phys.* 17. id. 2.
60. Rudd M. E. (1993) The long and the short of it: Telescopes of the seventeenth century. *J. Antique Telescope Soc.* 4. 12—19.
61. Sarp V., Kilcik A., Yurchyshyn V., Rozelot J. P., Ozguc A. (2018) Prediction of solar cycle 25: a non-linear approach. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 481. 2981—2985.
62. Scheiner C. (1626) *Rosa Ursina, sive sol ex admirando facularum & macularum suarum phoenomeno varius*. Bracciani: [Bracciano]: apud Andream Phaeum Typographum Ducalem, 1626-1630. 784. ETH-Bibliothek Zürich, Rar 10152. URL: <https://doi.org/10.3931/e-rara-556> / Public Domain Mark
63. Schwabe S. H. (1833) Schreiben des Herrn Schwabe an den Herausgeber. *Astron. Nachr.* 10. 383—386.
64. Schwabe S. H. (1844) Sonnenbeobachtungen im Jahre 1843. Von Herrn Hofrath Schwabe in Dessau. *Astron. Nachr.* 21. 15. 233—236.
65. Schwabe S. H. (1848) Schreiben des Herrn Hofraths Schwabe an den Herausgeber. *Astron. Nachr.* 27. 219—222.
66. Schwabe S. H. (1856) Observations of the solar spots in 1855. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 16. 62—64.



67. Schwabe S. H. (1857) Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1856, von Herrn Hofrath Schwabe. *Astron. Nachr.* 45. 111—112.
68. Schwabe S. H. (1858) Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1857, von Herrn Hofrath Schwabe. *Astron. Nachr.* 47. 319—320.
69. Schwabe S. H. (1859) Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1858, von Herrn Hofrath Schwabe. *Astron. Nachr.* 50. 93—96.
70. Schwabe S. H. (1860) Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1859, von Herrn Hofrath Schwabe. *Astron. Nachr.* 52. 95—96.
71. Schwabe S. H. (1861) Sonnenflecken-Beobachtungen im Jahre 1860, von Herrn Hofrath Schwabe. *Astron. Nachr.* 54. 301—302.
72. Schwabe S. H. (1862) Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1861, von Herrn Hofrath Schwabe. *Astron. Nachr.* 56. 377—378.
73. Schwabe S. H. (1863) Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1862, von Herrn Hofrath Schwabe in Dessau. *Astron. Nachr.* 59. 155—156.
74. Schwabe S. H. (1864) Sonnen-beobachtungen im Jahre 1863. Von Herrn Hofrath S. H. Schwabe. *Astron. Nachr.* 62. 175—176.
75. Schwabe S. H. (1866) Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1864. Von Herrn Hofrath J. H. Schwabe. *Astron. Nachr.* 63. 359—360.
76. Schwabe S. H. (1866) Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1865. Von Herrn Hofrath Schwabe. *Astron. Nachr.* 66. 125—126.
77. Schwabe S. H. (1867) Sonnen-Beobachtungen von 1866. Von Herrn Hofrath Schwabe. *Astron. Nachr.* 69-70. 231—232.
78. Schwabe S. H. (1868) Sonnen-Beobachtungen von 1867. Von Herrn Hofrath Schwabe. *Astron. Nachr.* 72. 69—70.
79. Schwabe S. H. (1869) Sonnen-Beobachtungen von 1868. Von Herrn Hofrath Schwabe. *Astron. Nachr.* 73. 94—95.
80. Senthamizh Pavai V., Arlt R., Diercke A., Denker C., Vaquero J. M. (2016) Sunspot group tilt angle measurements from historical observations. *Adv. Space Res.* 58. 8. 1468—1474.
81. Svalgaard L. (2010) Updating the historical sunspot record. SOHO-23: Understanding a peculiar solar minimum. *ASP Conference Series* Vol. 428. 297—305. (Proc. workshop held 21-25 September 2009 in Northeast Harbor, Maine, USA. Eds S. R. Cranmer, J. T. Hoeksema, J. L. Kohl. San Francisco: Astron. Soc. Pacif.)
82. Svalgaard L. (2012) How well do we know the sunspot number? Comparative Magnetic Minima: Characterizing quiet times in the Sun and Stars, *Proc. Inter. Astron. Union, IAU Symposium.* 286. 27—33.
83. Svalgaard L. (2017) A recount of sunspot groups on Staudach's drawings. *Solar Phys.* 292. 1. id.4. 9.
84. Svalgaard L., Schatten K. H. (2016) Reconstruction of the sunspot group number: The Backbone method. *Solar Phys.* 291. 2653—2684.
85. Swinson D. B., Koyama H., Saito T. (2016) Long-term variations in north-south asymmetry of solar activity. *Solar Phys.* 106. 1. 35—42.
86. Usoskin I. G., Arlt R., Asvestari E., Hawkins E., Käpylä M., Kovaltsov G. A., Krivova N., Lockwood M., Mursula K., O'Reilly J., Owens M., Scott C. J., Sokoloff D. D., Solanki S. K., Soon W., Vaquero J. M. (2015) The Maunder minimum (1645—1715) was indeed a grand minimum: A reassessment of multiple datasets. *Astron. and Astrophys.* 581. id. A95. 19.
87. Valliappan S. P. (2017) *Solar activity reconstruction from historical observations of sunspots: Diss.* Potsdam. 115.
88. van Helden A. (1975) The historical problem of the invention of the telescope. *Hist.*

- Sci.* 13. 251—263.
89. van Helden A. (2009) The beginnings, from Lipperhey to Huygens and Cassini. *Experimental Astron.* 25. 3—16.
90. Vokhmyanin M., Arlt R., Zolotova N. (2020) Sunspot positions and areas from observations by Thomas Harriot. *Solar Phys.* 295. 3. id. 39. 11.
91. Vokhmyanin M., Arlt R., Zolotova N. (2021) Sunspot positions and Areas from observations by Cigoli, Galilei, Cologna, Scheiner, and Colonna in 1612—1614. *Solar Phys.* 296. 1. id. 4.
92. von Humboldt A. (1851) *Cosmos*. Vol. 3. London: Henry G. Bohn. 342.
93. Wall W. (2018) The invention of the telescope. In: *A History of Optical Telescopes in Astronomy*. Springer Int. Publ. 17—32.
94. Watson F., Pepin M. B. (2005) Book review: The emergence of the telescope: Janssen, Lipperhey and the unknown man. *J. Astron. History and Heritage*. 8. 135.
95. Wittmann A. D., Xu Z. T. (1987) A catalogue of sunspot observations from 165 BC to AD 1684. *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* 70. 1. 83—94.
96. Wolf R. (1877) *Geschichte der Astronomie*. München, 815. ETH-Bibliothek Zürich, 1681, <https://doi.org/10.3931/e-rara-11801> / Public Domain Mark
97. Zuidervaart H. J. (2010) The 'true inventor' of the telescope. A survey of 400 years of debate. Netherlands academy of arts and sciences, The origins of the telescope. Ed. A. van Helden Amsterdam. KNAW Press. History of science and scholarship in the Netherlands, v. 12. *Conference publication*, VI. 368.

*I. E. Vasiljeva, M. I. Pishkalo*

Main Astronomical Observatory of National Academy of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

#### HISTORY OF SUNSPOT RESEARCH AND FORECAST OF THE MAXIMUM OF SOLAR CYCLE 25

The paper provides a short historical overview of sunspot observations since their discovery till the present. The review goes beyond collecting all known historical information about the study of sunspots, but highlights the research of five scientists of different epochs over five centuries since the 16th. We deliberately do not zoom in detail on some well-known studies and discoveries. Our attention is focused on the utmost long-term observations of sunspots, which provide information that expands the boundaries of classical Wolf numbers or the number of sunspots groups. Sunspots have been observed since ancient times as they were documented in ancient chronicles. Active observation of sunspots began after the invention of the telescope, probably by Hans Lippershey in the early 17th century. It is documented that Thomas Harriot was the first to observe sunspots with a telescope on December 8, 1610. It is probable that Galileo Galilei and Johann Fabricius observed sunspots almost simultaneously with him in December 1610 with the help of a telescope, independently of each other and of Harriot. The first publication about sunspots was issued by Fabricius in June 1611. We dwell on the observations of Christoph Scheiner, Christian Horrebow, Heinrich Schwabe, and Hisako Koyama. Christoph Scheiner described his long-term observations and studies of sunspots from 1611 to 1630 in his book “*Rosa Ursina sive Sol*”, which became a model for the Sun observers for many years afterwards. Christian Horrebow was the first to speculate on the regularity of sunspots. And Heinrich Schwabe was the first in 1843 to discover the periodicity (with a period of about 10 years) of the number of groups of sunspots. In 1852 Rudolf Wolf, analyzing all available sources, clarified that solar activity has an 11-year periodicity. He introduced the concept of the relative sunspot number, organized regular observations and publication of their results. Hisako Koyama's 40-year observations have

helped reconcile current sunspot counts with earlier ones. Wolf's system lasted until the beginning of the XXI century. In July 2015, a new version of the relative sunspot numbers was adopted (Version 2.0). In this paper, we calculated the ratio of "new" and "old" Wolf numbers and propose a table of characteristics of 11-year cycles according to Version 2.0. We also calculate two forecasts of the maximum of solar cycle 25. In the case when the precursor of the maximum is the value of the relative sunspot number in the cycle minimum (correlation coefficient  $r = 0.557$ ,  $P < 0.001$ ), the predicted maximum is  $135.5 \pm 33.8$ . In the second case, when the precursor is the duration of the previous cycle ( $r = -0.686$ ,  $P < 0.001$ ), the predicted maximum is  $179.4 \pm 18.2$ . Both predictions indicate that solar cycle 25 will be stronger than solar cycle 24 and weaker than solar cycle 23.

**Keywords:** Sun, solar activity, solar cycle, prediction of solar activity.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2021

Після доопрацювання 06.03.2021

Прийнята до друку 19.04.2021