

вить 5.330 р., отримуємо, що тривалість фази спаду 24-го циклу становитиме (6.072 ± 2.073) р., і тоді повна тривалість 24-го циклу становитиме 11.402 р. Отже, мінімум наступного, 25-го циклу сонячної активності відбудеться у 2020.360 р., тобто у травні 2020 р.

Величину сонячної активності у мінімумі можна знайти із кореляційного зв'язку між тривалістю сонячного циклу і числом Вольфа у мінімумі наступного циклу (коефіцієнт кореляції становить -0.595). Підставивши у відповідне рівняння регресії (14) тримане нами значення тривалості 24-го циклу, маємо $W_{min}(25) = 8.3 \pm 0.3$.

З рівняння регресії (18) між W_{max} і $T_{cycle}(-1)$, коефіцієнт кореляції між якими становить -0.670 , отримуємо, що $W_{max}(25) = 166.7 \pm 2.4$.

Далі з рівняння регресії (24) між тривалістю фази росту циклу T_{rise} і тривалістю попереднього циклу $T_{cycle}(-1)$ (коефіцієнт кореляції становить -0.573) випливає, що тривалість фази росту 25-го циклу становитиме $T_{rise}(25) = 4.512 \pm 3.447$ р. Тобто, максимум 25-го циклу сонячної активності величиною біля 166.7 одиниць у числах Вольфа очікується у листопаді 2024 р. (2024.872 р.).

Тривалість фази росту 25-го циклу можна оцінити інакше. Із рівняння регресії (8) між T_{rise} і W_{max} , коефіцієнт кореляції між якими становить -0.780 , отримуємо, що $T_{rise}(25) = 4.659 \pm 0.993$. Взавши час мінімуму циклу 2020.360, матимемо, що час максимуму циклу становитиме 2025.019. Тобто, максимум 25-го циклу настане у січні-лютому 2025 р.

Отже, 25-й цикл сонячної активності розпочнеться у травні 2020 р. і досягне максимуму у листопаді 2024 р. – лютому 2025 р. Величина числа Вольфа у мінімумі і максимумі циклу становитиме 8.3 і 166.7 відповідно. Ці величини, поділені на 1.5, становлять 5.5 і 111.1 відповідно і є прогнозованими значеннями у старій, неревізованій системі. Отримане значення прогнозу максимуму 25-го циклу узгоджується із більш раннім нашим прогнозом [3].

Список використаних джерел

1. Пішкало М.І. Попередній прогноз 24-го і 25-го циклів сонячної активності на основі кореляції між характеристиками циклів // Кинематика и физика небес. тел. – 2008. – Т. 24, № 5. – С. 370–378.
2. Clette F., Svalgaard L., Vaquero J.M., Cliver E.W. Revisiting the sunspot number. A 400-year perspective on the solar cycle. – Space Sci. Rev. – 2014. – Vol. 186, Iss. 1-4. – P. 35–103.
3. Pishkalo M.I. Prediction of solar cycle 24 using sunspot number near the cycle minimum // Solar Phys. – 2014. – Vol. 289, Iss. 5. – P. 1815–1829.

Надійшла до редколегії 06.11.15

М. Пішкало, канд. физ.-мат. наук,
Астрономическая обсерватория Киевского университета имени Тараса Шевченко

РЕВИЗОВАННОЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН И ПРОГНОЗ 25-ГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Найденны параметры солнечных циклов после ревизии чисел Вольфа 2015 г. Исследованы корреляционные связи между разными параметрами солнечного цикла. На основе полученных уравнений регрессии сделан прогноз 25-го цикла солнечной активности. Прогнозируется, что минимум цикла будет составлять 8.3 в мае 2020 г., а максимум – 166.7 в ноябре 2024 г. – феврале 2025 г.

M. Pishkalo, Ph.D.
Astronomical observatory of National Taras Shevchenko University of Kyiv

REVISITED SUNSPOT NUMBERS AND PREDICTION OF SOLAR CYCLE 25

Parameteres of solar cycles are found usind revisited sunspot numbers in 2015. Correlations between cycle parameters were studied. Solar cycle 25 was predicted using regression equations obtained. I was predicted that minimum and maximum of the cycle (8.3 and 166.7) will occur in May of 2020 and November 2024 to February 2025 respectively.

УДК 523.98

В. Єфіменко, канд. фіз.-мат. наук,
В. Лоцицький, д-р фіз.-мат. наук

Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка

СТАТИСТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ 24-ГО ЦИКЛУ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ

Поточний цикл сонячної активності № 24 є аномальним у таких відношеннях: 1) він має немонотонну фазу росту і на різних ділянках цієї фази проявляє себе то як середній, то як слабкий цикл, 2) вершина циклу виявилась "двогорбою", причому другий максимум був вищим, ніж перший, на 15 одиниць згладжених чисел Вольфа (у старій системі), що є рекордно великим значенням для усіх попередніх циклів і 3) часовий інтервал між першим і другим максимумами циклу (26 місяців) є другим по величині з усіх 24 останніх циклів. Щодо показника інтегрального розподілу для діаметрів сонячних плям, то раніш було встановлено, що для 7 останніх циклів цей показник α в діапазоні діаметрів 50–90 Мм дорівнює, в середньому, $\alpha \approx 6.0$. Статистичний аналіз діаметрів сонячних плям за 2010–2015 рр. показав, що для поточного циклу $\alpha \approx 5.8$. Таким чином, дисперсія діаметрів сонячних плям у 24-му циклі є типовою для більшості сонячних циклів.

Ключові слова: Сонце, сонячна активність, сонячні плями, інтегральний розподіл діаметрів сонячних плям, статистичні особливості 24-го циклу.

Вступ. Сонячна активність є дуже складним явищем в атмосфері Сонця, пов'язаним з впливанням на його поверхню концентрованих магнітних полів, з магнітним потоком типом 10^{22} Мкс для однієї активної області. Активним областям на фотосферному рівні відповідають сонячні плями і факели, на хромосферному – хромосферні факели (флюкули), а на корональному – корональні конденсації й петельні або шоломовидні структури, що містять підсилене магнітне поле, а також ущільнену й більш гарячу плазму [5]. Саме в активних областях найчастіше виникають сонячні спалахи – вибухоподібні спорадичні процеси в його атмосфері, пов'язані з раптовим перетворенням магнітної енергії в енергію інших форм (електромагнітного випромінювання, нагріву плазми, прискорення часток до високих енергій, ударних хвиль, корональних викидів маси в міжпланетний простір).

Поскілки сонячна активність проявляється на всіх рівнях сонячної атмосфери і має дуже різноманітні прояви, то і індексів (певних характеристик) сонячної активності є дуже багато – кілька десятків. Однак для вивчення еволюційних змін сонячної активності найбільш інформативними є ті індекси, які отримуються за незмінною методикою якомога більш тривалий час. Фактично, на сьогодні найбільш презентативним індексом, у цьому відношенні, є числа Вольфа, які відображають рівень фотосферної активності Сонця. Ці числа обраховуються за формулою $Rz = k(10g + n)$, де g – число груп плям в день, n – сумарне число плям у всіх групах в цей день, k – коефіцієнт, який визначається інструментами, що використовуються для спостережень, і якістю спостережень, що включають погодні умови, використані приймачі зображення та ін. Звичайно обчислюється середнє за місяць добове значення Rz (середньомісячне число Вольфа). Часто використовується також згладжене з вікном 13 місяців середньомісячне число сонячних плям.

В роботі [2] був запропонований новий індекс сонячної активності – показник інтегрального розподілу для діаметрів сонячних плям. Його особливістю є те, що цей індекс, на відміну від усіх інших, дає стислу характеристику дисперсності (неоднаковості) розмірів сонячних плям. Так, якщо цей показник α близький до 0, то це означає, що всі плями мають практично однаковий розмір. Якщо ж $\alpha = 4$ (як у циклі № 18), то це вже вказує на те, що діапазон діаметрів плям значно ширший. Ще ширший діапазон діаметрів при $\alpha = 6$ (як, в середньому, для більшості сонячних циклів згідно роботи [2]). Було показано, що здебільшого величина α є максимальною на початку циклу, а потім поступово зменшуються при переході до фаз максимуму і спаду циклу. Але виявились і "аномальні" цикли, а саме цикли №№ 18 і 22, у яких характер змін показника α суттєво відрізнявся.

Було важливо, з цієї точки зору, протестувати поточний цикл № 24. Це пов'язано з тим, що цей цикл також є аномальним, притому у таких відношеннях: 1) він мав немонотонну фазу росту і на різних ділянках цієї фази проявляв себе то як середній, то як слабкий цикл, 2) вершина циклу виявилась "двогорбою", причому другий максимум був вищим, ніж перший, на 15 одиниць згладжених чисел Вольфа (у старій системі), що є рекордно великим значенням для усіх попередніх циклів і 3) часовий інтервал між першим і другим максимумами циклу (26 місяців) є другим по величині з усіх 24 останніх циклів [4].

Спостережені дані та схема їх аналізу. Для вказаного вище дослідження використано дані Грінвіцького каталогу і його продовження NOAA-USEF (<http://solar.science.msfc.nasa.gov/greenwich/>). Поскілки сонячні плями дуже рідко мають правильну круглу форму (що полегшує вмірювання їх діаметрів), був використаний інший підхід: для кожної групи плям визначався еквівалентний діаметр $d_{\text{екв}}$. Величина $d_{\text{екв}}$ знаходилась по площі груп плям S_p , виправленій за ефект проекції. Щоб встановити зв'язок між $d_{\text{екв}}$ і S_p , були спеціально відібрані одиночні і круглі за формою сонячні плями, по яких будувалась допоміжна калібровочна залежність (рис. 1). Для прискорення опрацювання даних, була складена одним із авторів (В.Є.) машинна програма, яка здійснювала селекцію плям по площам і розмірам в автоматичному режимі, без ручного втручання. Крім того, в основному приймалися до уваги тільки великі плями, що мають діаметри більше 40 мегаметрів (Мм). Це пов'язано з тим, що лінійна ділянка на інтегральній залежності для сонячних плям, по якій визначається показник α , знаходиться здебільшого в діапазоні діаметрів 50–90 Мм [2].

Поскілки цикл № 24 виявився, у підсумку, слабким циклом, то і великих плям у ньому було відносно небагато (табл. 1). Найбільше їх було у 2014 р. (156), тобто в рік максимуму всього циклу. Саме в цей рік спостерігався другий, більш високий пік активності поточного циклу.

Результати та їх обговорення. Інтегральна залежність для діаметрів сонячних плям 24-го циклу за даними для 2009–2015 рр. представлена на рис. 2. Слід зазначити, що тут враховані всі щоденні значення діаметрів груп плям. Видно, що в діапазоні діаметрів 50–90 Мм вона задовільно апроксимується прямою з показником розподілу $\alpha \approx 5.8$. Порівняємо цю величину з аналогічними параметрами для інших циклів (рис. 3).

Таблиця 1. Число сонячних плям у циклі № 24, що мали діаметри більше 40 Мм

Рік	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
N	–	12	79	80	89	156	95

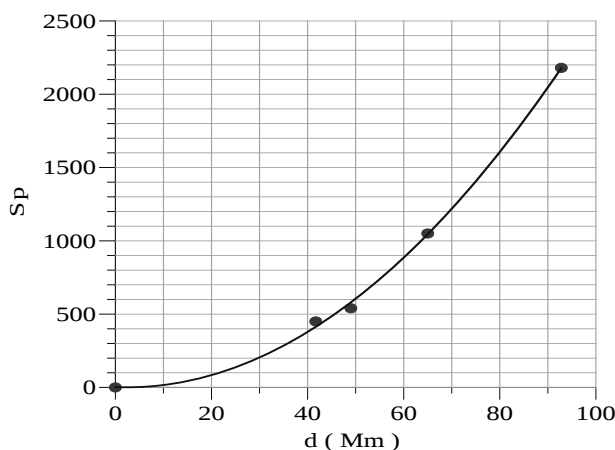


Рис. 1. Калібровочна залежність, по якій визначались еквівалентні діаметри груп плям $d_{\text{екв}}$ (Мм) в залежності від виправленої за проекцію площі груп плям S_p (м.д.п.)

З останнього рисунка видно, що дисперсія діаметрів сонячних плям у 24-му циклі є близькою до середнього значення по всім вивченим сонячним циклам. Таким чином, у цьому відношенні поточний цикл не є аномальним, хоча слід зазначити, що роки 2009–2015 рр. охоплюють, зрозуміло, не весь цикл – він має закінчитись орієнтовно у 2019–2020 рр. Однак, оскільки максимум циклу вже пройдено і надалі кількість великих плям у ньому має поступово зменшуватись, скоріш всього, остаточні дані за весь цикл щодо показника α не повинні сильно відрізнятись від наведеного вище попереднього значення.

З розгляду рис. 3 очевидно, що найбільш нетиповим щодо показника α був цикл № 18 (1944–1954 рр.). Щоб впевнитись, що в роботі [2] не була допущена якась випадкова помилка, всі дані за 18-й цикл були опрацьовані по-новому і аналогічно тому, як це робилось для циклу № 24. Виявилось, що нові значення α в межах похибок співпадають зі старими, тобто наведені на рис. 3 значення є правильними. Це ще раз підтверджує аномальність циклу № 18. Відомо, що саме у цьому циклі виникли найбільші за останні 140 років плями – з діаметром до 150–170 Мм [2].

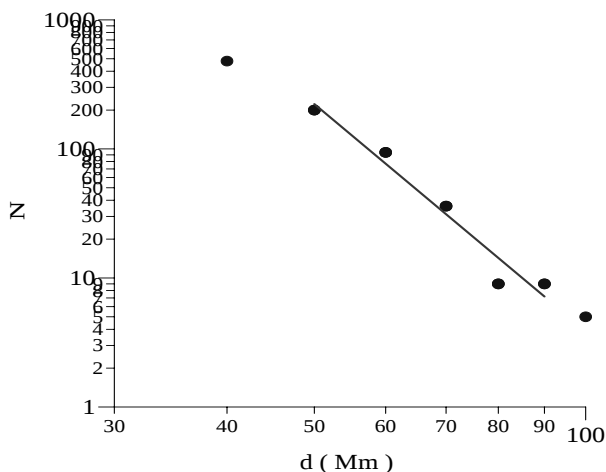


Рис. 2. Інтегральна залежність для діаметрів сонячних плям 24-го циклу, побудована на основі даних за 2009–2015 рр. Апроксимуюча пряма проведена на основі даних діапазону 50–90 Мм, тобто аналогічно роботі [2]

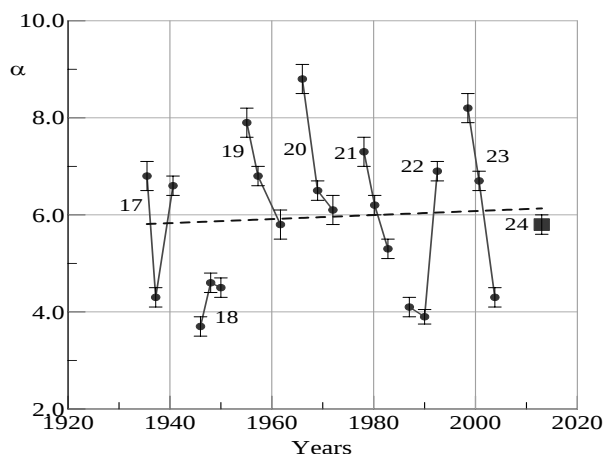


Рис. 3. Порівняння показника інтегрального розподілу для циклів активності 17–24. Для останнього циклу вказана середня за весь цикл величина, тоді як для попередніх циклів – окремі значення для фаз росту, максимуму і спаду циклу

Оскільки сонячні плями – це передусім магнітні утворення, що мають сильне магнітне поле на рівні типово 2000–3000 Гс, а іноді – до 5000–6000 Гс [3, 5], можна було очікувати, що у циклі № 18 також зустрічались якісь особливо сильні магнітні поля. І дійсно, згідно з даними роботи [1] саме у циклі № 18 були найсильнішими не тільки магнітні поля B_{sp} у сонячних плямах, а також середні площі груп S_{gr} і їх протяжності dL протягом останніх 65 років.

Висновки. Поточний цикл сонячної активності № 24, скоріш всього, є типовим циклом у відношенні показника інтегрального розподілу для діаметрів сонячних плям. Цей показник для поточного циклу дорівнює $\alpha \approx 5.8$, тоді як для семи попередніх циклів (17–23) середнє значення α було близько 6 з найменшим значенням $\alpha \approx 4$ у 18-му циклі. Це ще раз підтверджує висновок [2] про те, що цикл № 18 був аномальним.

Список використаних джерел

1. Лозицька Н.І., Єфіменко В.М. Индексы групп солнечных пятен для долгосрочного прогнозирования геомагнитной активности // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія. – 2015. – Вип. 52. – С. 43–47.
2. Babij V.P., Efimenko V.M., Lozitsky V.G. Statistical characteristics of large sunspots in solar activity cycles 17–23 // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. – 2011. – Vol. 27, No 4. – P. 191–196.
3. Livingston W., Harvey J.W., Malanushenko O.W. Sunspots with the strongest magnetic fields // Solar Phys. – 2006. – Vol. 239. – P. 41–68.
4. Lozitsky V.G., Efimenko V.M. Prognoses and anomaly of 24th cycle of solar activity // Odessa Astronomical Publications. – 2014. – Vol. 27, No 2. – P. 90–91.
5. Solanki S.K. Sunspots: An overview [Текст] / S.K. Solanki // Astron. Astroph. Rev. – 2003. – Vol. 11. – P. 153–286.

Надійшла до редколегії 30.06.16

В. Єфіменко, канд. физ.-мат. наук,

В. Лозицкий, д-р физ.-мат. наук

Астрономическая обсерватория Киевского университета имени Тараса Шевченко

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ 24-го ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Текущий цикл солнечной активности № 24 является аномальным у таких отношениях: 1) он имел немономтонную фазу роста и на разных участках этой фазы проявлял себя то как средний, то как слабый цикл, 2) вершина цикла оказалась "двугорбой", причем второй максимум был выше, чем первый на 15 единиц сглаженных чисел Вольфа (в старой системе), что является рекордно большим значением для всех предыдущих циклов и 3) временной интервал между первым и вторым максимумами цикла (26 месяцев) является вторым по величине для всех 24 последних циклов. Относительно показателя интегрального распределения для диаметров солнечных пятен, то ранее было установлено, что для 7 последних циклов этот показатель α , в среднем $\alpha \approx 6.0$ в диапазоне диаметров 50–90 Мм. Статистический анализ для диаметров солнечных пятен за 2010–2015 гг. показал, что для текущего цикла $\alpha \approx 5.8$. Таким образом, дисперсия диаметров солнечных пятен в 24-м цикле является типичной для большинства солнечных циклов.

Ключевые слова: Солнце, солнечная активность, солнечные пятна, интегральное распределение диаметров солнечных пятен, статистические особенности 24-го цикла.

V. Efimenko, PhD,
V. Lozitsky, DrSci
Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv

STATISTICAL PECULIARITIES OF 24th CYCLE OF SOLAR ACTIVITY

Current 24th cycle of solar activity is anomalous if following aspects: 1) it had non-monotonous phase of grown, and on different times of this phase it demonstrated peculiarities of both middle and weak cycle, 2) peak of cycle was two-top, and second top was higher than first on about 15 units of averages Wolf's number (in old classification) that is maximum value for all previous cycles, and 3) temporal interval between first and second maximums of cycle was 26 months that is second value from all 24 cycles. As to index of integral distribution of sunspot diameters, it was found earlier that this index α , in the average, equals about 6.0 for 7 previous cycles, in diameter range 50–90 Mm. New statistical analysis based on data for 2010–2015 allows to conclude that for 24th cycle $\alpha \approx 5.8$. Thus, dispersion of diameters of sunspots in 24th cycle is typical for majority of solar cycles.

Key words: Sun, solar activity, sunspots, integral distribution for diameters of sunspots, statistical peculiarities of 24th cycle.

В. Єфіменко, канд. фіз.-мат. наук

Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка

АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА У 2015 р.

Подано інформацію про роботу Астрономічної обсерваторії за 2015 рік. Висвітлено найважливіші події у житті обсерваторії та результати наукових досліджень.

Інформація про роботу Астрономічної обсерваторії за 2014 рр. була подана у Віснику Київського університету [1]. Тут висвітлено результати наукових досліджень та найважливіші події у житті обсерваторії за 2015 рік.

У 2015 р. обсерваторія відзначила 170 річницю з часу заснування. Головним заходом стала наукова конференція присвячена цій даті. Важливою подією року став конкурс наукових тем на 2016–2018 рр. Астрономічна обсерваторія подала на конкурс три фундаментальні наукові теми: "Фундаментальна фізика та моделі високоенергетичних астрофізичних явищ", науковий керівник Жданов В.І.; "Космічні чинники земних катаклізмів. Спостереження, аналіз, інформатизація", науковий керівник Чурюмов К.І.; "Закономірності та аномалії сонячної активності та їх застосування для прогнозування космічної погоди", науковий керівник Криводубський В.Н. Результати конкурсу наукових тем були оголошені на початку 2016 року. Необхідну кількість балів набрали дві перші теми, які отримали фінансування на 2016–2018 рр.

Структура та склад. На початок 2015 р. в штаті Астрономічної обсерваторії працювало 56 осіб, з них співробітників, які беруть участь у виконанні НДР – 32, у тому числі докторів – 6, кандидатів наук – 16; інженерно-технічних працівників – 9, у тому числі кандидатів наук – 3; обслуговуючий персонал – 23; музей – 1. В науковій роботі брали участь викладачі, аспіранти та студенти кафедри астрономії та фізики космосу фізичного факультету.

У 2015 році структура обсерваторії не змінювалась – на кінець 2015 р. до її складу входили сектор астрометрії та малих тіл сонячної системи (зав. сектору канд. фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник Клецонок В.В.), відділ астрофізики (зав. відділу доктор фіз.-мат. наук, професор Жданов В.І.), сектор сонячної активності та сонячно-земних зв'язків (зав. сектору кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник Пішкало М.І.), а також 2 спостережні станції (с. Лісники Києво-Святошинського р-ну і с. Пилиповичі Бородянського р-ну Київської області).

Обсяг бюджетного фінансування у 2015 р. склав 3122.0 тис. грн., договірної – 200.0 тис. грн.

За результатами роботи працівниками обсерваторії у 2015 р. опубліковано 2 монографії, 1 навчальний посібник, 52 наукові статті, з них 12 у закордонних виданнях, проведено 2 наукові конференції, зроблено 71 доповідь на 10 конференціях.

У 2015 р. кандидатські дисертації захистили співробітники обсерваторії Пономаренко В.О. "Спектральні особливості вибраних комет сімейства Юпітера та довгоперіодичних комет зі зворотним рухом" (н.к. Чурюмов К.І.), Слюсар В.М. "Мікролінування віддалених джерел в багаточастинкових гравітаційно-лінзових системах: статистика кривих блиску" (н.к. Жданов В.І.) і аспірант Василенко А.А. "Особливості спектрів рентгенівського випромінювання активних ядер галактик в діапазоні енергій 0.5–250 keV" (н.к. Жданов В.І.).

Тематика наукових досліджень. Впродовж року виконувались бюджетні теми "Характеристики розподілу матерії у Всесвіті та властивості об'єктів", науковий керівник Жданов В.І., докт. фіз.-мат. наук, професор, зав. відділом (об'єм фінансування 1.303 тис. грн.), "Магнітна активність Сонця і сонячно-земні зв'язки у новому 24 циклі", науковий керівник Лоцицький В.Г., докт. фіз.-мат. наук, ст.н.с. (787.0 тис. грн.), "Фізичні та кінематичні характеристики малих тіл сонячної системи", науковий керівник Чурюмов К.І., докт. фіз.-мат. наук, член-кор. НАН України (1032.0 тис. грн.). Договірна тема "Темна енергія та темна матерія в астрофізичних об'єктах та космології" з Державним фондом фундаментальних досліджень, науковий керівник Парновський С.Л., докт. фіз.-мат. наук, професор, пров.н.с. (200.0 тис. грн.).

Результати наукових досліджень.

Астрометрія та малі тіла сонячної системи. На основі спільних з ГАО НАН України спостережень на астрометричному комплексі МАК складено каталог положень і зоряних величин зір в V полосі екваторіальної зони КМАС2.0, який нараховує 1 млн. 750 тис. зірок до 17 зоряної величини в системі Tucho-Hipparcos та забезпечує середню щільність близько 1400 зірок на квадратний градус (Клецонок В.В., Буромский М.І.). Створено каталог ліній мультиплетів заліза метеорів, із зазначенням термів, енергетичних рівнів і довжин хвиль ліній та побудовано діаграми Гротріана, які наочно пояснюють переходи, що супроводжують випромінювання в тому чи іншому мультиплеті. На основі цього каталогу вдосконалені методи обробки спектральних спостережень метеорів (Чурюмов К.І. з співавторами). Розроблено методи оптимізації ефективності телевізійних спостережень метеорів: статистичний метод уточнення визначення швидкості метеора за двома пунктами спостережень з використанням методу Монте-