

**ASTRONOMIYA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

ASTRONOMIYA INSTITUTI

MINENKO YEKATERINA PAVLOVNA

**QUYOSHDAGI KORONAL YORQIN NUQTALARNING
MORFOLOGIYASI, DINAMIKASI VA FIZIKAVIY MODELLARI**

01.03.01 – Astronomiya

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

**Fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
физико-математическим наукам УДК: 523.98**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on
physical-mathematical sciences**

Minenko Yekaterina Pavlovna

Quyoshdagi koronal yorqin nuqtalarning morfologiyasi, dinamikasi va fizikaviy modellari..... 3

Миненко Екатерина Павловна

Морфология, динамика и физические модели корональных ярких точек на Солнце 20

Minenko Ekaterina Pavlovna

Morphology, dynamics and physical models of coronal bright points on the Sun 37

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 41

**ASTRONOMIYA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

ASTRONOMIYA INSTITUTI

MINENKO YEKATERINA PAVLOVNA

**QUYOSHDAGI KORONAL YORQIN NUQTALARINING
MORFOLOGIYASI, DINAMIKASI VA FIZIKAVIY MODELLARI**

01.03.01 – Astronomiya

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

Fizika-matematika fanlari bo'ycha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2020.4.PhD/FM58 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiyasi O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya institutida bajarilgan.
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (www.astrin.uz) va «Ziyonet» axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Egamberdiyev Shuxrat Abdumannapovich,
fizika-matematika fanlari doktori, akademik

Rasmiy opponentlar:

Xolikov Shukirjon Sodikovich,
fizika-matematika fanlari doktori

Gaynullina Evelina Rabinovna,
fizika-matematika fanlari nomzodi,
katta ilmiy xodim

Yetakvhi tashkilot:

V.G. Fesenkov nomidagi Astrofizika instituti,
Qozog'iston

Dissertatsiya himoyasi Astronomiya instituti huzuridagi PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil "21 fevral" soat 11:00 da majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100052, Toshkent shahri, Astronomiya ko'chasi, Astronomiya instituti. Tel.: (+99871) 235-81-02, faks: (+99871) 234-48-67, e-mail: info@astrin.uz).

Dissertatsiya bilan Astronomiya institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (012025 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100052 Toshkent shahri, Astronomiya ko'chasi, 33-uy, O'zR FA AI. Tel.: (+99871) 235-81-02).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil "4" fevral kuni tarqatildi.
(2025-yil "4" fevral daqiqa - raqamli reestr bayonnomasi).



D.Sh. Fazilova,
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, o'rinbosari, f.-m.f.d., professor

I.A. Ibragimov,
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy kotibi, f.-m.f.n., katta ilmiy xodim

A.B. Abdikamalov,
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash huzuridagi ilmiy seminar raisi, f.-m.f.d., katta ilmiy xodim

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda Quyoshdagi kichik masshtabli shakllanishlarni o‘rganishda yuqori sifatli kosmik kuzatuvlar va zamonaviy ma’lumotlar tahlilini qo‘llash yetakchi o‘rinlardan birini egallamoqda. Dunyo miqyosida «Quyoshdagi magnit faollik sikllarining kelib chiqishi, erupsiya jarayonlari, magnit qayta birlashish jarayonlari, xromosfera va koronaning qizishi, energiyali zarralarning tezlanishi va tarqalishi, shuningdek, Quyosh hodisalarining Yerga va Quyosh-Yer kosmik muhitiga salbiy ta’siri»¹ Quyosh shamoli paydo bo‘lishi va koronal qizishi masalalarini amaliyotga joriy etishni taqozo etadi. Shu jihatdan zamonaviy modellashtirish usullari va to‘lqinlar tahlilidan foydalanish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda bugungi kunda koronal yorqin nuqtalarning (KYN) va magnit bipolyarlarning (MB) kuzatilgan ma’lumotlarini har tomonlama statistik tahlil qilish va ularning evolyutsiyasini o‘rganish, kuzatuvlar bilan mos keladigan nazariy modellarni ishlab chiqishga yo‘naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Quyosh va Quyosh-Yer aloqalarining kosmik tadqiqotlari, Quyosh atmosferasidagi nostatsionar jarayonlarni, materiya xususiyatlarini, Quyosh atmosferasining dinamikasi va tuzilishini, sayyoralararo magnit maydonini modellashtirishni, shuningdek, Quyosh faolligining geosamarador ko‘rinishlarini va kosmik ob-havoni prognozlash ustuvor yo‘nalishlardan hisoblanmoqda. Bu borada Quyosh atmosferasining o‘zgaruvchanligini o‘rganish uchun koronal va fotosferik magnit maydonlarni baholashga, ichki dinamika va magnit faollik o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlashga, Quyosh faolligi (QF) tsikllari va uning ta’sirlarini yaxshiroq asoslashga alohida e’tibor berilmoqda.

Respublikamizda Quyosh fizikasi sohasidagi fundamental tadqiqotlarga, xususan, Quyosh radiatsiyasining Yerga yaqin fazoga mumkin bo‘lgan halokatli ta’sirini bashorat qilish yuzasidan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayan natijalariga erishilmoqda. 2022-2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonni rivojlantirish strategiyasida² “...ekologiya va atrof-muhitni muhofaza qilish” va “Favqulodda vaziyatlardan ogohlantirish va oldini olishning samarali tizimini yaratish” bo‘yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, jumladan, Quyosh faolligini kuzatish, shuningdek, Quyosh magnitlanishi bilan bog‘liq uzoq muddatli naqshlarni o‘rganish, turli masshtabli magnit maydonlar bilan bog‘liq ravishda koronal yorqin nuqtalarning nozik tuzilishi, evolyutsiyasi, lokalizatsiyasi va taqsimotini o‘rganish, yangi avlod kuzatuv ma’lumotlari astrofizika va plazma fizikasi bo‘yicha fundamental savollarga javob beradigan nazariy modellarni ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “2022–2026-yillarda Yangi O‘zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60-

¹IUA Strategic Plan 2020-2030. https://www.iau.org/static/administration/about/strategic_plan/strategicplan-2020-2030.pdf

²O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “2022-2026-yillarda Yangi O‘zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60-son farmoni.

sonli Farmoni, shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 19-martdagi “Fizika sohasida ta’lim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-5032-sonli Qarori, 2025-yil 13-yanvardagi “Kosmik faoliyat to‘g‘risida”gi O‘RQ-1017-sonli Qonuni hamda mazkur sohaga oid boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalar rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarini rivojlantirishning – II. “Energetika, energiya va resurs tejamlorligi” ustuvor yo‘nalishiga mos keladi.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Dunyoning yetakchi olimlari, masalan, amerikalik (L.Golub, A.S.Kruger, K.L.Xarvi, S.F.Martin, D.V.Longkop, S.K.Kankelborg, E.N.Parker, S.V. Makintosh, J.L.Nelson, A.A.Pevtsov, M.S.Madjarska, G.S.Vajari, R. Habbal, G.L. Withbroe, N.R Sheeley, D. Moses, A.F. Timothy va boshqalar), xitoylik (Ch. Mou, Z. Huang, Q.M. Zhang, P.F. Chen, T.J. Vang, C. Lu, X. Tian, M. Wan, P.X. Gao. va boshqalar), ingliz olimlari (C.E. Parnell, B. Ramsey, E. Vervichte, X. Morgan va boshqalar), yapon olimlari (X. Xara, K. Nakakubo-Morimoto va boshqalar), eron (N. Alipur, X. Safari, D. E. Innes va boshqalar), Rossiyalik olimlar (A. N. Jukov, B. Filippov, A. G. Tlatov, V. I. Abramenko, A. S. Ulyanov, va boshqalar), nemis olimlari (D.A.Myuller, V.X.Xanstin, X.Piter va boshqalar) tomonidan turli to‘lqin uzunligi diapazonlarida KYN bo‘yicha katta hajmdagi kuzatuv ma‘lumotlari olindi, kichik o‘lchamli tuzilmalarning eksperimental va nazariy tadqiqotlari, ularning fizik va fazoviy xususiyatlarini o‘rganish amalga oshirildi, ularning paydo bo‘lishining fizik modellari taklif qilindi, KYN va quyosh faolligining boshqa ko‘rinishlari o‘rtasidagi munosabatlarning statistik tahlili amalga oshirildi. O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Astronomiya instituti Toshkent Astronomiya Observatoriyasi (TAO)ning butun faoliyati davomida Quyosh kuzatuv natijasida to‘plangan ma‘lumotlarining boy arxiviga ega bo‘libgina qolmay, balki o‘n yildan ortiq vaqt davomida KYNni o‘rganishni ham qo‘llab-quvvatlab kelmoqda. Rentgen va ultrabinafsha diapazonlarida kuzatilgan kompakt tuzilmalar ustida ishlash akademik Sh.A. Egamberdiev tomonidan 80-yillarning boshlarida boshlangan, keyinchalik esa professor I.S. Sattorov jamoasi tomonidan davom ettirilgan. Xromosfera panjarasining yacheykalariga nisbatan yorqin nuqtalarning lokalizatsiyasi aniqlandi, KYNni kuzatish asosida tojning differensial aylanishi va KYNning quyosh faolliги aylanishi bilan bog‘liqligi bo‘yicha ikki turdagi KYN tasnifi taklif qilindi.

KYNlar bo‘yicha tadqiqotlar yarim asrdan ko‘proq vaqtdan beri davom etayotganiga qaramay, ushbu ob‘ektlar fizikasi bilan bog‘liq ko‘plab savollar ochiqlikicha qolmoqda, shu jumladan: ko‘rinish effekti KYN va quyosh dog‘lari sonlari orasidagi kuzatiladigan antikorrelyatsiya uchun javob beradigan yagona omilmi; nima uchun barcha bipollar KYN ga mos kelmaydi va qaysi o‘ziga xos MBlar KYN shaklida paydo bo‘ladi; nima uchun KYNning umumiy soni tsiklga bog‘liq holda o‘zgaradi, lekin MBlar va boshqalar soni o‘zgarmaydi. KYN va MB

o'rtasidagi bog'liqlik mexanizmlarining ko'plab modellari mavjudligiga qaramasdan, ularning barchasi kuzatuv natijalari bilan bir qator kamchiliklar va nomuvofiqliklarga ega.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya institutining F.6-14 "Quyoshdagi magnit maydonlarning rivojlanish dinamikasi va topologiyasini o'rganish", (2014-2015); EF-FA-F006 "Quyosh tojining kichik miqyosdagi shakllanishi va yirik magnit maydonlari o'rtasidagi bog'liqlikni o'rganish" (2016-2017), VA-FA-F-2-009 "Quyosh faolligi: toj yorqin nuqtalarining tuzilishi va evolyutsiyasi, mahalliy magnit maydonlar bilan bog'lanish mexanizmi" (2017-2020) ilmiy loyihalari doirasida amalga oshirildi.

Tadqiqotning maqsadi KYNlarning asosiy parametrlaridan, yupqa qatlamli tuzilmalari va evolyutsiyasi, uzoq davrli o'zgarishlar va kenglik-uzunlik bo'yicha taqsimotini tahlili, shuningdek, turli masshtabdagi magnit maydonlari bilan bog'liqligini batafsil o'rganishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

Quyosh dog'lari (KYN va MB) asosiy parametrlari (geografik koordinatalar, pikseldagi maydon, o'rtacha va maksimal intensivlik, fon intensivligi, katta o'qning ekvatorga nisbatan burilish burchagi, burchak xatosi va boshqalar) bo'yicha 3 milliondan ortiq ma'lumotlarni o'z ichiga olgan noyob ma'lumotlar banki yaratilgan;

magnitogrammalarda MBning asosiy parametrlarini avtomatlashtirilgan aniqlash va ularni o'lchash metodikasi kichik maydon va teng qiymatdagi oqimga ega tuzilmalarni ajratish muammosini hal qilishga imkon beruvchi hamda ularning yo'nalishi, qutblar orasidagi minimal masofa va disk markaziga nisbatan joylashuvini hisobga olgan holda ishlab chiqilgan;

birinchi marta yirik masshtabdagi magnit maydonlariga nisbatan Quyosh faolligining ikkita sikliga doir bir jinsli ma'lumotlarga asoslanib, KYN va MBlarning taqsimoti masalalari, shuningdek, Quyosh faolligi siklini aniqroq bashorat qilish uchun "yorqin" KYNlardan foydalanish mumkinligi aniqlangan;

ikki turdagi KYN ning unipolar magnit maydon koronal teshik sharoitidagi evolyutsiyasi batafsil tahlilidan MB va II tip KYNlarning magnit oqimining o'rtacha qiymati $1-5 \times 10^{20}$ Mks atrofida, I tip KYN bilan bog'langan MBlarniki esa $1-5 \times 10^{19}$ Mks ekanligi aniqlangan;

birinchi marta MB va ikki turdagi KYNlarning turli kengliklardagi veyvlet tahlili aniqlangan, KYN va MB (20 va 30 Gauss) ning barcha holatlari uchun 11-yillik davr topilib, bu Quyosh faolligi sikli bilan bog'liqligini ko'rsatagan;

KYNni shakllantirishda magnit quvurining asosiy parametrlari magnit maydondagi plazmaning statsionar silindrsimon-simmetrik holatlariga asoslangan analitik model doirasida termodinamika va magnit gidrodinamika tenglamalariga bo'ysunuvchi zarralarning ma'lum xususiyatlari bilan hisoblangan.

Tadqiqot obyekti Quyosh atmosferasi bo‘lib, uni o‘rganish Quyosh ichidagi fizik jarayonlarni, ularning magnit maydon va quyosh faolligi bilan bog‘liqligini tushunishga yordam beradi.

Tadqiqot predmeti - fotosfera, xromosfera, toj va oraliq mintaqalar (SOLIS, SOHO, SDO) filtrlarida, raqamli tasvirlar va magnetogrammlar yordamida o‘rganilgan KYN va ular bilan yaqindan bog‘liq bo‘lgan kichik masshtabli MBlar hisoblanadi.

Tadqiqot usullari. Ushbu ishda kuzatuv ma‘lumotlarini statistik tahlil qilish uchun korrelyatsion tahlil, tanlov usuli, asosiy komponentlar tahlili va tasniflash, Morle 6-darajali funktsiyasi bo‘yicha to‘lqinli o‘zgarish shaklida chastota-vaqti tahlili, shuningdek, magnit maydon tuzilmalarini 3-D modellashtirish (MPOLE, PFSS), Quyosh va magnetogrammlarni raqamli tasvirlar ko‘rinishida katta hajmdagi ma‘lumotlarni avtomatlashtirilgan qayta ishlash uchun maxsus usullar - filtrlash, segmentatsiya va boshqa usullar qo‘llanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

Quyosh dog‘lari (KYN va MB) asosiy parametrlari (geografik koordinatalar, pikseldagi maydon, o‘rtacha va maksimal intensivlik, fon intensivligi, katta o‘qning ekvatorga nisbatan burilish burchagi, burchak xatosi va boshqalar) bo‘yicha 3 milliondan ortiq ma‘lumotlarni o‘z ichiga olgan noyob ma‘lumotlar banki yaratildi. Ushbu ma‘lumotlar bankida uchta kosmik va yer observatoriyalari (SOLIS, SOHO, SDO) tomonidan chorak asrdan ortiq davomida (1996–2023 yillar oralig‘ida) to‘plangan uzluksiz va zich ma‘lumotlar to‘plamlari qo‘llanilgan;

magnetogrammlarda MBning asosiy parametrlarini avtomatlashtirilgan aniqlash va ularni o‘lchash metodikasi ishlab chiqildi. Qarama-qarshi qutblikdagi oqimlarni tanlashda aniqlash xatolarini bartaraf etish uchun magnit oqim qiymatining modul bo‘yicha farqi cheklov sifatida joriy etildi va ikki bosqichli tanlov usuli yordamida haqiqatan eng yaqin qutbliliklarni tekshirish amalga oshirildi. Bu esa bipolyar magnit tuzilmalarni aniqlash aniqligini 30% ga oshirdi;

birinchi marta yirik masshtabdagi magnit maydonlariga nisbatan Quyosh faolligining ikkita sikliga doir bir jinsli ma‘lumotlarga asoslanib, KYN va MBlarning taqsimoti masalalari, shuningdek, Quyosh faolligi siklini aniqroq bashorat qilish uchun “yorqin” KYNlardan foydalanish mumkinligi aniqlangan;

18 ta KYN ning unipolar magnit maydon koronal teshik sharoitidagi evolyutsiyasi batafsil ko‘rib chiqildi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, barcha holatlar magnit qo‘shilishning standart modeli doirasida tushuntirilishi mumkin emas. Ikki xil KYN turi har xil yo‘nalishda rivojlanadi: “xira” KYNlar MB paydo bo‘lishi bilan bog‘liq bo‘lsa, “yorqin” KYNlar esa magnit oqimlarning annigilyatsiyasi (yo‘qolishi) bilan bog‘liqdir.

birinchi marta MB va ikki turdagi KYNlarning turli kengliklardagi veyvlet tahlili aniqlangan, KYN va MB (20 va 30 Gauss) ning barcha holatlari uchun 11-yillik davr topilib, bu Quyosh faolligi sikli bilan bog‘liqligini ko‘rsatagan;

KYNni shakllantirishda magnit quvurining asosiy parametrlari magnit maydondagi plazmaning statsionar silindrsimon-simmetrik holatlariga asoslangan

analitik model doirasida termodinamika va magnit gidrodinamika tenglamalariga bo'ysunuvchi zarralarning ma'lum xususiyatlari bilan hisoblangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari Quyosh tojining tarkibiy tuzilmalari va alohida xarakteristikalariga tegishli bo'lgan yangi faktlar olindi va katta statistic materiallar asosida ilgari olingan ma'lumotlar tekshirildi. Olingan natijalar, chaqnash mexanizmlari haqidagi savollarni hal qilishga yaqinlashish va quyosh tojining shakllanishida nuqtaviy tranzientlarning roli va ularning Quyoshdagi, xususan, toj magnit maydonidagi magnit jarayonlari bilan bog'liqligini aniqlash uchun asos bo'lib xizmat qilishi mumkin. Olingan natijalardan quyosh faolligining mavjud nazariy modellarini sinash va yangi nazariy modellarini qurish uchun ham foydalanish mumkin. KYN va MBlar bo'yicha chorak asrdan ortiq (1996 - 2023 yillar) vaqt mobaynida doimiy va uzluksiz kuzatuvlar natijasida ishlab chiqilgan metodlar va qayta ishlangan ma'lumotlar to'plamlaridan Quyosh dinamikasini keyingi tadqiqotlarida foydalanish mumkin.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi dissertatsiya natijalari va xulosalari katta hajmdagi kuzatuv ma'lumotlarini qayta ishlashga zamonaviy tahlil usullarini qo'llash asosida olinganligi bilan asoslanadi. Qo'shimcha ishonchlilik olingan ma'lumotlarning boshqa tadqiqotchilarning xulosalari bilan mos kelishi, shuningdek, KYNning hisoblangan parametrlari va xususiyatlarining kuzatishlar bilan yaxshi muvofiqligi bilan ta'minlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqotning ilmiy ahamiyati KYN evolyutsiyasi, lokalizatsiya, o'rtacha oylik sonining tsiklik o'zgarishlari, uzoq davrli o'zgarishlarning chastota-vaqt tahlili, KYN va MB o'rtasidagi o'zaro ta'sirlar tuzilishi modellashtirish natijalari Quyosh faolligini bashorat qilishda muhim ahamiyatga ega va boshqa shunga o'xshash ilmiy tadqiqotlarda qo'llanilishi mumkinligi bilan izohlanadi.

Dissertatsiyaning amaliy ahamiyati uni bajarish jarayonida ishlab chiqilgan raqamli tasvirlarni qayta ishlash va ularni tahlil qilish usullari aniq manbalarni identifikatsiya qilish sifatini oshirish talab etiladigan boshqa sohalarda ham qo'llanilishi mumkinligi, shuningdek, 25 yildan ortiq davr mobaynidagi KYN va MB asosiy parametrlari banki yaratilganligi Quyoshdagi yorqin nuqtalar va boshqa tuzilmalarning kelgusi tadqiqotlari uchun foydalanilishi mumkinligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Quyoshdagi koronal yorqin nuqtalarning morfologiyasi va dinamikasini o'rganish, shuningdek kuzatuvlar orqali fizikaviy modellashtirish bo'yicha olingan natijalar asosida ishlab chiqilgan identifikatsiya va kuzatuv metodlari bir qator xorijiy mualliflarning ishlarida qo'llanilgan. Buni Web of Sciences, SCOPUS ma'lumotlar bazida va Google Scholar ro'xatiga kiritilgan quyidagi xalqaro jurnallardagi nashrlarimizga havolalar tasdiqlaydi:

SDO ma'lumotlariga ko'ra KYN evolyutsiyasini o'rganish natijalari asosida tayyorlangan - What SDO tells us about structure and evolution of coronal bright points // *Astronomische Nachrichten*. 2014, Volume 10, pp.1037-1042.

maqolamizga (I. Kraus, Ph.-A. Bourdin, J. Zender va boshq. Astronomy & Astrophysics 2025, I Kraus, PA Bourdin, J Zender, M Bergmann va boshq. Astronomy & Astrophysics 2023, D Sudar, SH Saar, I Skokić, IP Beljan va boshq. Astronomy & Astrophysics 2016, Master's Thesis J. V. Klug, Vienna 2016) - 5ta iqtibos keltirilgan;

KYN va MBning evolyutsiyasi va statistik parametrlarini o'rganish natijalari asosida tayyorlangan - Investigation of the evolution of coronal bright points and magnetic field topology // Astronomy Letters, 2014. Volume 40, Issue 8, pp. 510-518. maqolamizga - 3 ta iqtibos keltirilgan;

Xorijiy mualliflar nashrlarida ilmiy ishlarimizda iqtibos keltirilgan ishlar soni -12 dan ortiqni tashkil etadi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 20 ta ortiq xalqaro va respublika ilmiy-amaliy konferensiyalarida, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya instituti seminarlarida ma'lum qilindi va muhokama qilindi.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi doirasida jami 45 ta ilmiy ish nasr qilingan, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 20 ta maqola, ularning 6tasi xalqaro ilmiy jurnallarda chop etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 139 betni tashkil etgan.

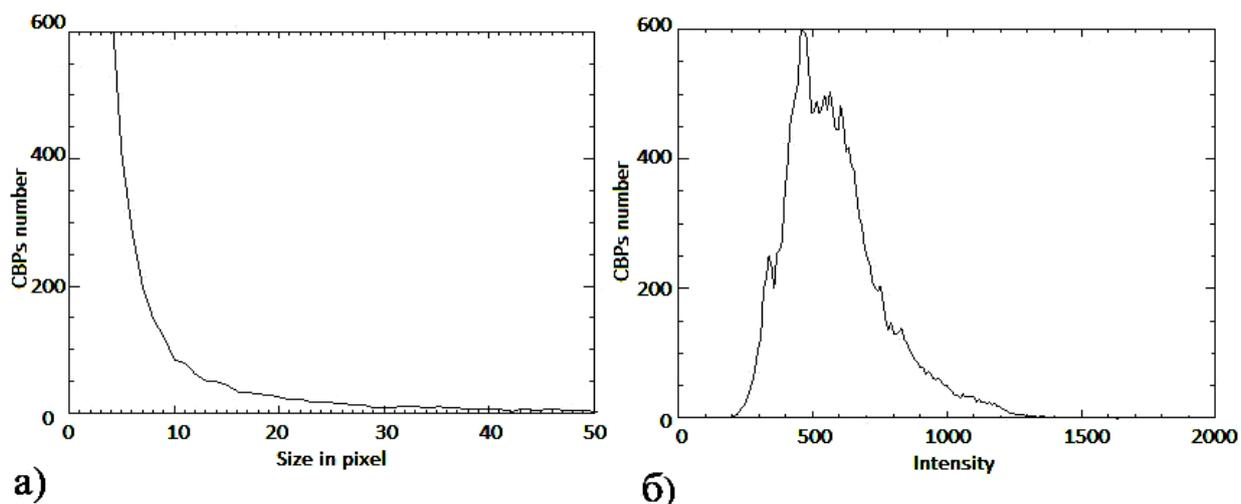
DISSERTASINING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida ishning dolzarbligi asoslab berilgan, tadqiqot maqsadi, unga erishish uchun aniq vazifalar va ularni hal etish metodlari, tadqiqot obyekti va predmeti shakllantirilgan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, ilmiy yangilik va amaliy natijalar bayon etilgan, ishning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan, himoyaga olib chiqilayotgan asosiy qoidalar, natijalarning aprobatsiyasi keltirilgan. Dissertatsiyaning umumiy tavsifi uning qisqacha mazmunini ko'rsatgan holda berilgan. Quyoshning magnit maydonini, xususan KYN va MB ni astronomik tadqiq etishning ahamiyati ko'rsatilgan.

Dissertatsiyaning "**Quyosh atmosferasidagi tranzit hosilalarning tuzilishi va dinamikasi**" deb nomlangan I bobining 1.1-paragrafida Quyoshdagi magnit jarayonlari va ularning Quyosh faolligi namoyon bo'lish qonuniyatlari hamda tranzit hodisalarning paydo bo'lishi bilan bog'liqligi ko'rib chiqilgan. Koronal yorqin nuqtalar (KYN) magnitli fotosfera tuzilmalari va efemer sohalar bilan taqqoslash bo'yicha tadqiqotlar tahlil qilingan. 1.2-paragrafda KYNning mavjud nazariy modellari tahlil etilgan, ko'rib chiqilgan modellarning afzalliklari va kamchiliklari solishtirilgan, tadqiqot vazifalari asoslab berilgan. 1.3-paragrafda

Quyoshdagi tranzit tuzilmalar dinamikasini o‘rganishda foydalaniladigan asosiy kosmik va yerdagi observatoriyalarning ro‘yxati keltirilgan. 1.4-paragrafda ma’lumotlarni kompleks qayta ishlash va tahlil qilish haqida ma’lumotlar berilgan, raqamli tasvirlar va magnetogrammalarni dasturiy qayta ishlash usullarining mazmuni yoritilgan.

Dissertatsiyaning II bobi **“Quyosh tojidagi yorqin nuqtalarning paydo bo‘lishi bilan bog‘liq kichik miqyosdagi magnet maydonlarning evolyutsiyasi va topologiyasi”** deb nomlangan bo‘lib, u to‘rtta paragrafdan iborat. 2.1-paragrafda magnetli qayta ulanish modeli doirasida KYN - MB juftligining asosiy xususiyatlari va rivojlanishi tahlil qilingan. Amalda barcha kuzatiladigan KYNlarni magnet qayta ulanishning standart modeli doirasida tushuntirish mumkin emasligi aniqlangan. Quyosh tuzilmalarining, shu jumladan KYNning asosiy xususiyatlari ularning eng yuqori intensivligi va o‘lchamidir. KYN va MB o‘lchamlari piksellarda ifodalangan, bunda 1 piksel taxminan 0,6 yoy sekundiga teng. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, KYN soni o‘lcham ortishi bilan eksponensial tarzda kamayadi (1-rasm, a). Aniqlangan barcha KYNlarning asosiy qismi 10 pikseldan oshmaydigan, ya’ni taxminan 6 yoy sekundlik o‘lchamga ega bo‘lgan yetarlicha kichik tuzilmalarga tegishli ekanligi ma’lum bo‘ldi. Aniqlangan barcha KYNlarning ko‘pchiligi o‘rtacha yashash vaqti bir soatdan kam bo‘lgan kichik o‘lchamli tuzilmalardan iborat.

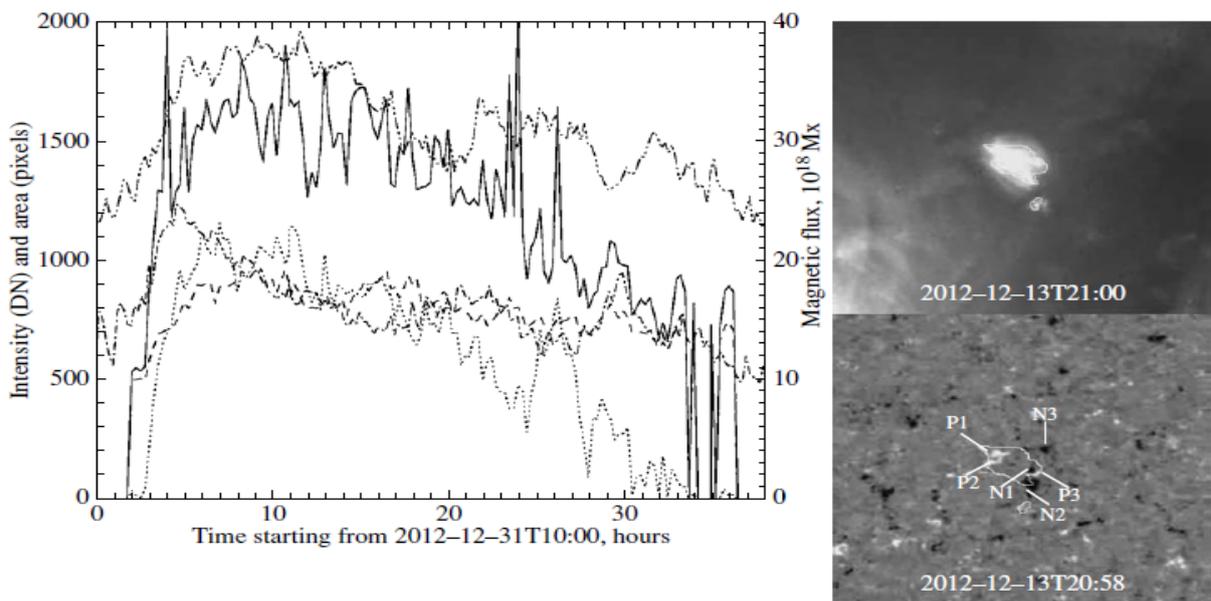


1-rasm. Sonning taqsimlanish grafiklari: a) KYNning o‘lcham bo‘yicha (piksellarda); b) KYNning intensivlik qiymati bo‘yicha.

Aniqlanishicha, aksariyat KYNlar 300 dan 800 DN gacha bo‘lgan yetarlicha tor diapazondagi intensivlikka (tasvirning har bir pikseli ma’lumotlari raqamli sonlarda - Data Number) ega bo‘lib, maksimumi 480 ga teng (1-rasm, b). Yuqori intensivlik sohasida taqsimot eksponensial ravishda kamayadi. KYNlarning umumiy soni bunday taqsimoti ikki turdagi KYNning xatti-harakatini tavsiflaydi, bunda “xira” KYNlar (intensivligi 400 DN dan kam bo‘lgan) “yorqin” KYNlardan (intensivligi 450-480 DN dan ortiq bo‘lgan) ko‘proq. Ushbu taqsimot KYNlarni intensivligi bo‘yicha ikki turga ajratish metodikamizning to‘g‘riligini tasdiqlaydi.

Magnit qutblanishlarning paydo bo'lishi va yo'qolishiga qarab, turli xil KYN turlari, morfologiyadagi variatsiyalardan tashqari, vaqt o'tishi bilan turlicha rivojlanadi. "Xira" KYNlar uchun yangi kichik miqyosdagi magnit tuzilmalarning paydo bo'lishi bilan bog'liqlik xosdir. "Yorqin" KYNlar esa magnit oqimlarining yo'qolishi bilan bog'liq bo'lib, bu fotosferada magnit oqimlarining yo'qolishi sifatida namoyon bo'ladi.

2.2-paragrafda tojdagi tanlangan o'nta KYN va ularga mos keladigan MBlarning fotosferadagi evolyutsiyasi, yupqa qatlam tuzilishi, statistik va fizik xususiyatlarini o'rganish natijalari keltirilgan. Ba'zi hollarda KYN rivojlanishi an'anaviy "magnit oqimlari yo'qolishi" manzarasiga mos kelmasligi mumkin. 2-rasmning o'ng tomonida magnit maydon kuch chiziqlarining fotosfera sirti bilan kesishish tabiati to'liq aniq bo'lmagan KYN misoli tasvirlangan. Bu holda KYN bir nechta halqalardan iborat bo'lishi mumkin. Taxminlarga ko'ra, P1-N1 va P2-N2 oqimlari kattaroq halqani, N1-P3 esa kichikroq halqani hosil qiladi, ammo magnit kuch chiziqlarining taqsimoti murakkabroq tuzilishga ega bo'lishi mumkin. KYNning rivojlanishi ushbu "o'zaro ta'sir"ning yakuniy natijasini beradi, odatda talqin qilinganidek emas, balki ikki qutb o'rtasidagi magnit o'zaro ta'sirlarning boshlanishi tojda KYNning paydo bo'lishiga olib keladi. Tadqiqotda (K. Yoshimuraning 2012) magnitli qayta ulanishdan tashqari energiya ajralishining boshqa mexanizmlari mavjud bo'lishi mumkinligi ta'kidlangan.



2-rasm. Chap tomonda oqimning manfiy (tire-ko'p nuqta-tire) va musbat (tire-nuqta) qiymatlarining o'zgarish egri chiziqlari, punktir bilan KYNning piksellardagi maydoni (nuqta), maksimal intensivligi (tutash chiziq) va DN da olingan KYN №1 ning o'rtacha intensivligi (punktir-tire) ajratilgan. O'ng tomonda oq rang bilan KYN konturi (yuqoridan o'ng tomonda) va unga mos magnetogramma fragmenti belgilangan.

Biz, shuningdek, ikki qutblik orasidagi soha ustida paydo bo'lishi mumkin bo'lgan KYN misolini ko'rib chiqdik. Bunda qutbliklardan biri oqimlarning yo'q qilinishiga jalb etilishi mumkin. Shu munosabat bilan qayta ulanish KYNning

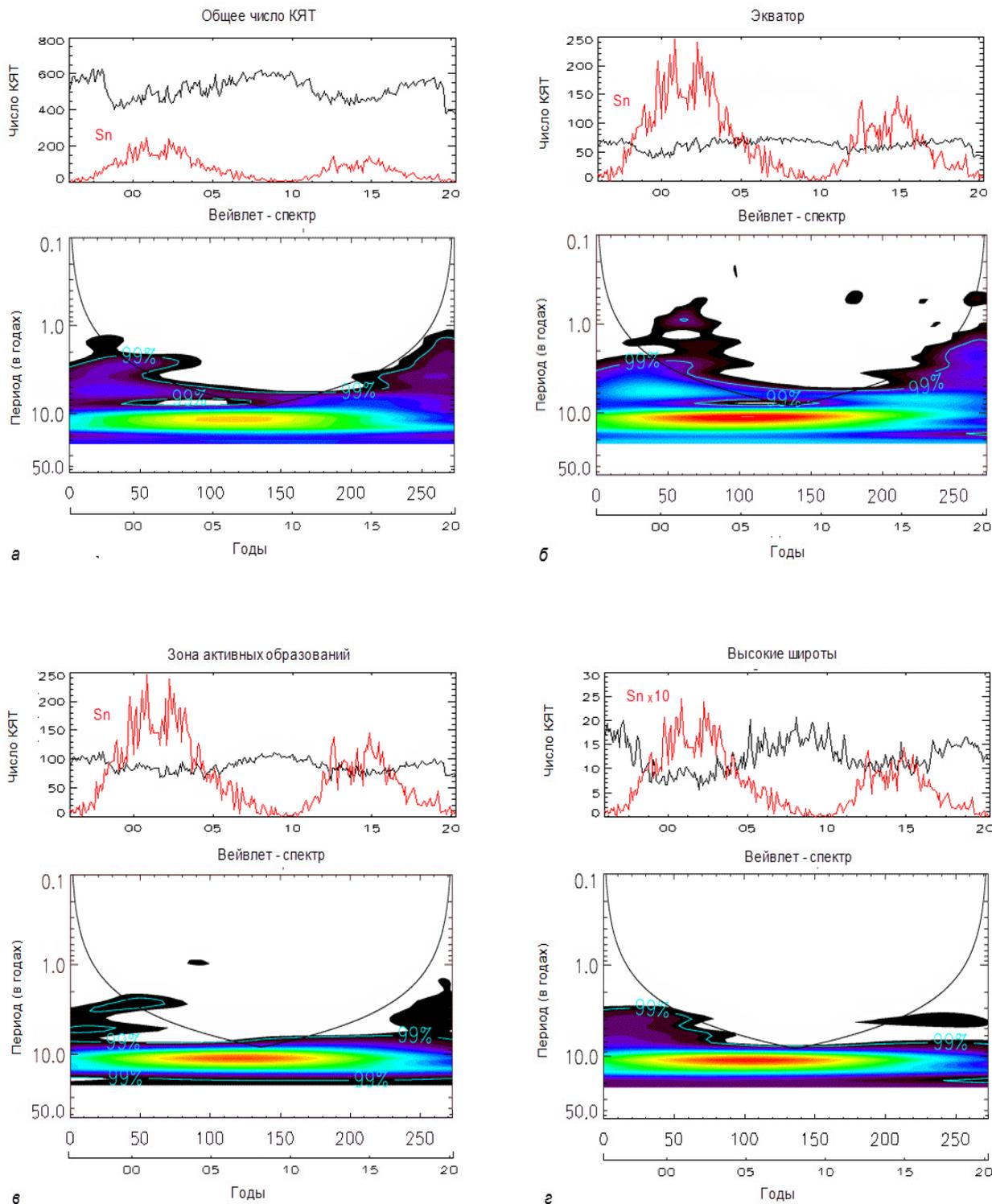
shakllanish jarayonida boshlanadi va boshqa omillar bilan belgilanishi mumkin deb taxmin qilish mumkin. Katta miqyosdagi magnit maydon KYNning oriyentatsiyasi va joylashishiga ta'sir qilishi mumkinligi haqidagi g'oya oldingi tadqiqotda taklif qilingan (Nelson va boshq., 2000). Kuzatuvlarning butun davri davomida har bir aniqlangan yorqin nuqta uchun cheklangan soha doirasida ikki daqiqadan ko'p bo'lmagan yashash vaqti bilan kichik "elementar" KYNlar paydo bo'ldi va yo'qoldi.

2.3-§ da yakkalangan ekvatorial KT sharoitida KYNning ikki turi evolyutsiyasi ko'rib chiqiladi. Ekvatorial KT ichida MB bilan bog'liq KYNlarning paydo bo'lishi va evolyutsiyasining 18 ta holati ko'rib chiqilgan. KYNning tanlangan holatlari ekvator va ekvatorial sohani (6 ta nuqta), faol sohalar zonasini qamrab oladi (shimoliy yarimsharda faqat 5 ta, janubiy yarimsharda esa 7 ta nuqta topilgan). Har bir KYN uchun quyosh tojida KYN paydo bo'lishining mumkin bo'lgan mexanizmi sifatida qutblarning konvergentsiyasi, ajralishi, qo'shilishi va annigilyatsiyasi kabi evolyutsion rivojlanishining asosiy parametrlari o'rganilgan. MB uchun ikkala qutblilikning yig'indi yuzasining o'zgarishi ko'rib chiqildi va ikkala qutblilikning har bir oqimining harakati (markaz koordinatalari bo'yicha) bo'yicha natijalar olindi. Shuningdek, ijobiy va salbiy oqimlar qiymatlarining o'zgarishi ko'rib chiqilgan. Ko'pchilik hollarda (18 tadan 10 tasi) qutbliliklardan biri "barqaror" markazni hosil qiladi, bu markaz bitta qutblilik yoki bitta qutblilikning bir-biriga yaqin sochilgan mayda oqimlari guruhi bo'lishi mumkin. Ko'rib chiqilgan barcha KYNlarning yettitasida "barqaror" markaz manfiy qutblanishdir, ya'ni ko'rib chiqilgan KTda dominant qutblanishdir, to'rtta holatda u musbat, yana to'rtta holatda qutblanishlar o'rtasida o'tish kuzatiladi. Uchta holatda "barqaror" markaz aniqlanmadi.

18 ta holatdan 9 tasida KYNning paydo bo'lishi qutblanishlarning yaqinlashuvi bilan bog'liq (ulardan faqat to'rttasida qutblanishlarning yaqinlashuvi va annigilyatsiyasi jarayoni sodir bo'ladi), 6 ta holatda yangi qutblanishning paydo bo'lish jarayoni kuzatiladi. Faqat ikki holdagina manfiy qutblanish paydo bo'ladi. 6 holatda yetakchi qutblilik buziladi va KYN so'nadi.

Ko'rib chiqilgan holatlarda barcha kuzatilgan KYNlarning 17 foizi I turga, 83 foizi esa II turga mansub. Aniqlanishicha, KTdagi har bir KYN turi uchun evolyutsion rivojlanish jarayoni turlicha kechadi. Faol Quyoshning "yorqin" KYNlari uchun magnit oqimlarining yo'q bo'lish jarayoni xos bo'lib, u fotosferada magnit oqimlarining yo'qolishi sifatida namoyon bo'ladi. "Xira" KYNlar esa oqimlarning ko'tarilishi natijasida hosil bo'ladi. "Yorqin" KYNlarning maksimal intensivligi "xira" KYNlarnikidan yuqori. Bu farq fotosferadagi MB kuchlanganlik qiymati bilan bevosita bog'liq bo'lishi mumkin. Kuzatilayotgan "yorqin" II tipdagi KYNlarning MB magnit oqimlarining o'rtacha qiymati $1-5 \times 10^{20}$ Mks atrofida, "xira" I tipdagi KYNlar bilan bog'liq MB holatida esa qiymatlar bir daraja past – $1-5 \times 10^{19}$ Mks ekanligi aniqlandi. MB umumiy maydonining qiymatlarida ham farq kuzatiladi. I tipdagi KYN bilan bog'liq MB uchun 8 burchak sekundli yuqori chegara xos bo'lsa, II tipdagi KYNda esa bu qiymat 12 burchak sekunddan oshishi mumkin.

2.4-paragrafda QF siklining fazasiga bog‘liq holda ikkala turdagi KYN va MB sonlarining o‘zgarishida veyvlet-tahlil asosida vaqt va fazoviy qonuniyatlarni aniqlash natijalari ko‘rib chiqilgan.



3-рasm. KYN sonining o‘zgarishi (yuqorida) va turli kengliklarda KYN sonining vaqt profili uchun tegishli veyvlet-spektri (pastda): a – barcha kengliklardagi yig‘indi; b – ekvatorial mintaqa; v – faol hosilalar mintaqasi; g – yuqori kengliklar. Yuqoridagi grafiklarda qizil rangda Sn quyosh dog‘lari xalqaro sonlarining o‘rtacha oylik qiymatlari o‘zgarishi ko‘rsatilgan.

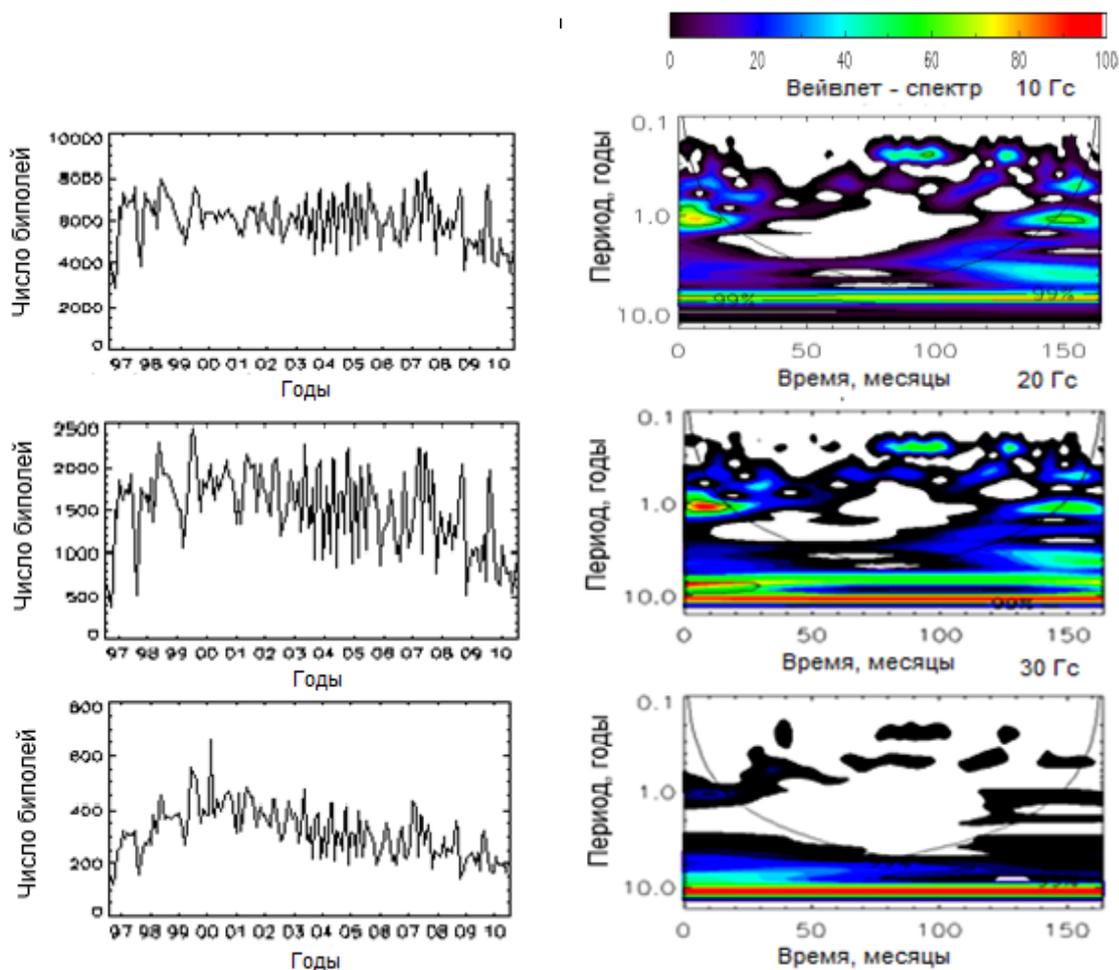
KYN soni turli kengliklarda har xil o'zgarishi aniqlandi. Ta'kidlanishicha, barcha kengliklar bo'yicha o'rtacha oylik KYN sonining o'zgarish egri chizig'i 23 va 24 siklning kechishi bilan aniq moslikni ko'rsatmaydi (3-rasm, a ga qarang). Korrelyatsiya koeffitsiyentining qiymati manfiy (-0.55) bo'lib, bu KYN soni va quyosh dog'lari soni o'rtasida teskari bog'liqlik mavjudligini ko'rsatadi. Ekvator (3-rasm, b) va faol hosilalar mintaqasi (3-rasm, v) uchun KYN sonining o'zgarishi egri chiziqlari QF jarayoni bilan mos kelmaydi, past darajadagi bog'liqlikni (-0.37 va -0.54) namoyon etadi. Yuqori kengliklarda KYN sonining o'zgarishi (3-rasm, g) ko'rib chiqilayotgan quyosh sikllarining kechishiga nisbatan qarama-qarshi fazada rivojlanib, manfiy korrelyatsiya koeffitsiyentiga ega ($r = -0.75$). Ushbu natija KYNning ikki turi mavjudligini tasdiqlaydi.

Ko'rib chiqilgan barcha holatlarda veyvlet tahlili aniq ifodalangan o'n bir yillik bog'liqlikni aniqladi. Ekvatorida uchta davr yaqqol ajralib turadi: taxminan 11 yil, 12,5 yil va 22 yil. KYNning II tipi yuqori korrelyatsiya koeffitsiyentiga ega ekanligi ($r = 0,86$), birinchi tipi esa ("xira") QF sikli bilan teskari korrelyatsion manzarani ko'rsatadi ($r = - 0,87$). Bu bog'liqlik bir qator ishlarimizda 23-dan 24-siklgacha kuzatilgan I.1, I.3, I.8. I turdagi KYNlar butun quyosh diski bo'ylab, ikkinchisi esa asosan faol hosilalar zonasida kuzatiladi. Xuddi shu tendensiyani har bir KYN turi uchun turli kengliklardagi korrelyatsiya koeffitsiyentlari bo'yicha kuzatish mumkin. KYN sonining vaqtinchalik profilining veyvlet spektrlari barcha ko'rib chiqilayotgan holatlarda 11 yillik davriylikni ko'rsatdi. II tip KYN uchun 22 yillik sikl yaqqol namoyon bo'ladi. Ehtimol, aynan "yorqin" KYNlar uzoqroq siklik bog'liqliklarning shakllanishiga asosiy hissa qo'shgan bo'lishi mumkin. "Yorqin" KYN holatida yuqori kengliklar uchun uchta davr yaqqol ifodalangan: 11, 12,5 va 22 yil. S_n bo'yicha 23-siklning davomiyligi 12,7 yil, 24-siklniki esa 11,5 yilni tashkil etadi. MB sonining QF sikliga bog'liqligini aniqlash uchun S_n va MB sonining (≤ 30 arcsec) o'zgarishini 10, 20 va 30 Gauss kuchlanganlik darajasi bilan taqqoslash o'tkazildi.

Sikl davomida MB sonining o'zgarishini tahlil qilish natijalari shuni ko'rsatdiki, umuman olganda, fotosfera MBlarining o'rtacha oylik soni 23-dan 24-quyosh sikli boshlangunga qadar doimiy bo'lib qoladi (4-rasm, chapdan). MB (10 va 20 Gs) va S_n sonining o'zgarish korrelyatsiya koeffitsiyentlarining qiymatlari ahamiyatsiz (10 Gs - 0,099, 20 Gs - 0,36). Boshqa tomondan, MB soni 30 Gs va S_n o'zgarganda korrelyatsion bog'liqlik kuzatiladi (korrelyatsiya koeffitsiyenti 0,59). Ehtimol, 30 Gs va undan yuqori MBlar quyosh dog'lari sikli bilan ijobiy korrelyatsiyaga ega bo'lgan efemer sohalarga o'xshaydi va MBning ikki turi mavjudligini ko'rsatadi.

Kuchlanganligi 10 Gs bo'lgan MB o'rtacha oylik sonining vaqt bo'yicha o'zgarishini o'rganish uchun veyvlet-spektrdan foydalanish 7 yil atrofidagi kuchsiz davrni ko'rsatdi (4-rasmning o'ng tomoniga qarang). Bu davr 23-siklning o'rtasiga kelib asta-sekin so'nib boradi va siklning oxiriga kelib yana kuchayadi. 24-siklda 7-yillik davr aniqroq namoyon bo'lib, siklning o'rtasiga kelib asta-sekin kuchayib boradi. Shuningdek, davomiyligi 1 yil bo'lgan ikkita kvazidavriy oraliq kuzatiladi (birinchisi 23-siklda, ikkinchisi, kamroq ifodalangan holda 24-siklda). Bundan

tashqari, quyosh faolligi yuqori bo'lgan davrlarda Volf sonlari va quyosh doimiysining veyvlet-spektrlarida yillik davr qayd etilganligi taqdiqotlarda (Kononovich va hammuallif., 2006, Willson va boshq., 1999) ko'rsatilgan.

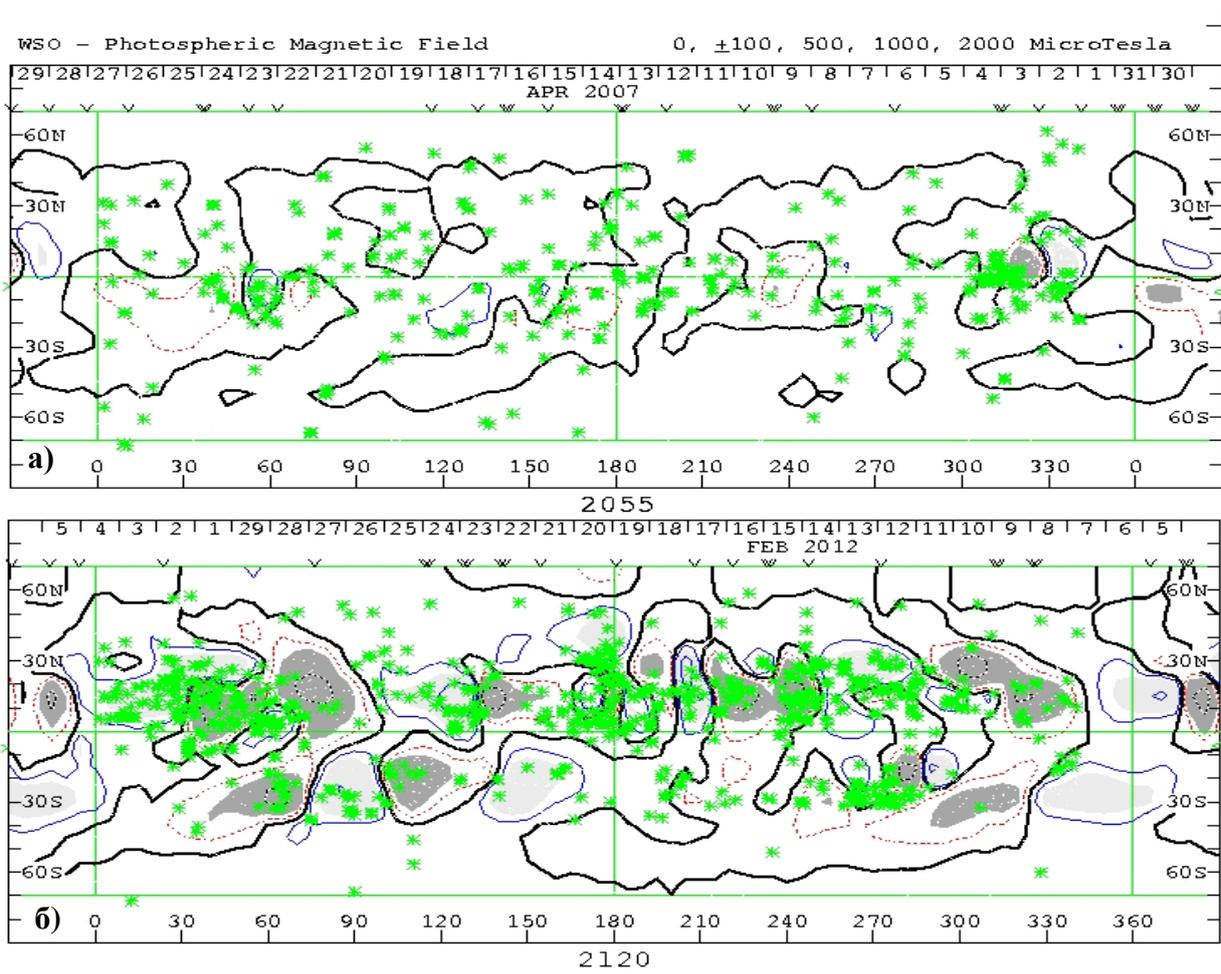


4-rasm. Chap tomonda turli kuchlanishli MB o'rtacha oylik sonining o'zgarish grafiklari, o'ng tomonda tegishli veyvlet spektrlari keltirilgan.

Kuchlanish darajasi 20 Gs bo'lgan veyvlet-spektr holatida uchta davr aniq ajralib turadi: taxminan 1 yil, 7 yil va 11 yil. 30 Gs kuchlanganlikdagi MB o'rtacha oylik sonining vaqtinchalik profili veyvlet-spektri 11 yillik davrni yaqqol ko'rsatadi.

III bobning **“Kichik masshtabli hosilalarning katta miqyosdagi magnit maydoni bilan bog'liqligi”** deb nomlangan 3.1-paragrafida KYNlarning yo'nalishi, rivojlanishi va joylashuvi bilan bog'liq ikki turdagi KYN va MB ning fotosferada taqsimlanishini o'rganish natijalari ko'rib chiqilgan. Maksimal quyosh faolligining cho'qqisi yaqinida “xira” KYN bilan bog'liq MB (10-20 Gs) larning ko'pchiligi, xuddi xira KYNlar singari, ekvator bo'ylab yo'nalishni afzal ko'radi. “Yorqin” KYN bilan bog'liq MB (30 Gs va undan yuqori) yo'nalishining tartibsizligi esa yuqori. Ikki turdagi MB va KYN o'qlarining yo'nalishi Xeyl (I.6) qonuniga bo'ysunmasligi aniqlangan.

Asosan “yorqin” KYNlar quyruq qutblilikda, “xira” KYNlar esa YMMM yetakchi qutblilikda joylashgan. QF minimumi yaqinida “xira” KYNlar quyosh diskining barcha kengliklarida bir tekis kuzatiladi, ammo sikl maksimumiga yaqinlashganda, manzara biroz o‘zgaradi, ya’ni bu turdagi KYNlar quyruq qutblilikdan tashqari butun disk bo‘ylab tarqalgan. II tipdagi KYNlar faqat quyruq qutbliligida emas, balki QF minimumida qutblanishning ajralish chizig‘i yaqinida ham katta foizda joylashadi (5-rasm, a ga qarang). QF maksimumida ancha tartibsiz manzara kuzatiladi va II tipdagi KYNlarning joylashuvi ikkala qutbiylikka ham ta’sir qilsa-da, “yorqin” KYNlarning aksariyati ekvatorial mintaqada kuzatiladi (5-rasm, b). Shunday qilib, II turdagi “yorqin” KYNlar kengliklar bo‘yicha ikki komponentli taqsimlanishni ko‘rsatadi: biri - 60° gacha bir tekis, ikkinchisi esa faol soha yoki dog‘lanish markazining kengliklarida ($\leq \pm 30^\circ$), bu quyosh sikli faolligiga qarab o‘zgaradi.



5-rasm. II tipdagi KYNlarning fazoviy taqsimoti (“yorqin”): a) Quyosh siklining minimal QF da; b) maksimal QF da.

Kuchlanganligi 30 Gs bo‘lgan MB bir xil taqsimlanishni ko‘rsatadi. MB (10 va 20 Gs) deyarli barcha kengliklarda bir tekis taqsimlangan. Bu past kuchlanishli “xira” KYN va MB larning fon magnet maydoni bilan, kuchlanganligi 30 Gs va undan yuqori bo‘lgan “yorqin” KYN va MB larning esa Quyoshning faol sohalari

bilan bog‘liqligi natijasi bo‘lishi mumkin. Tadqiqotda (Golub va boshqalar, 1975) KYN taqsimotining past kenglikdagi komponenti quyosh dog‘lari faolligi bilan bog‘liqligi aniqlangan, bu KYN II turida yaqqol kuzatiladi. Quyosh sikli faolligini yanada aniqroq bashorat qilish maqsadida aynan II turdagi “yorqin” KYNlardan foydalanish mumkinligi ko‘rsatilgan.

3.2 va 3.3-paragraflarda fotosfera va xromosfera MBlari sonining siklik o‘zgarishining quyosh faolligi sikli fazasiga bog‘liqligi o‘rganilgan, shuningdek, ularning kenglik taqsimoti masalalari ko‘rib chiqilgan. Kuchlanganlik darajasi yuqori (10 Gs dan yuqori) bo‘lgan fotosfera bipollari uchun kuchlanganlik oshishi bilan taqsimotning kengroq profilga ega bo‘lishi aniqlangan. Fotosfera bipollarining kenglik profili QF minimumiga o‘tishi bilan torayadi, bu kuchsiz va kuchli magnitli bipollar uchun kuzatiladi, xromosfera bipollari uchun esa bunday bog‘liqlik ko‘rinmaydi. Ammo xromosferadagi kuchsiz bipollar (10 Gs) uchun aynan 2007-2008-yillarda ikki cho‘qqili profilga biroz ustunlik beriladi, bu QF minimumiga mos keladi. Xromosfera MBlarining kenglik taqsimoti kuchlanganlikning o‘zgarishi bilan turli xil xususiyatga ega, shuningdek, kuchli MB (30 Gs va undan yuqori) uchun asimmetriya xosdir.

Dissertatsiyaning IV bobi **“Plazmaning statsionar silindrik-simmetrik holatlari”** deb nomlangan bo‘lib, unda ikki komponentli to‘qnashuvsiz va elektroneytral plazmaning o‘z magnit maydonidagi muvozanat holatlari plazma muhitidagi magnit trubka mavjudligining muqobil modelini analitik hal etish masalasi ko‘rib chiqilgan. Termodinamika va magnit gidrodinamika tenglamalariga bo‘ysunuvchi zarralarning ma’lum xususiyatlari bilan belgilangan ikki komponentli plazmaning silindrik-simmetrik muvozanat holati sifatida tavsiflangan magnit trubkaning sifat jihatdan takomillashtirilgan analitik modeli (I.15) magnit trubkaning asosiy parametrlarini baholash imkonini beradi. Model kuchli ideallashtirilib, magnit trubkani o‘rab turgan plazmaning bir jinsli va harakatsiz bo‘lishi sharti bilan cheklangan bo‘lishiga qaramay, tanlangan parametrlarda trubka radiusi $2,06 \times 10^6$ m ga teng bo‘ldi. Agar KYNning o‘rtacha kuzatiladigan o‘lchamini 10^8 km² deb olsak, o‘rtacha radius taxminan 4×10^4 km yoki 4×10^6 m bo‘lishi kerak. Boshqa tomondan, birinchi yaqinlashishda tok qatlamlarining o‘zaro ta’siri natijasida KYN hosil bo‘lishining fenomenologik modeli doirasida energiya ajralishi va yashash vaqti ham baholandi. Bu taxminan $1,5 \times 10^{26}$ erg bo‘lib, yashash vaqti 1 soatdan 10 soatgacha ekanligi aniqlandi (I.14, I.17).

XULOSA

Kuzatilgan xususiyatlar, KYN morfologiyasi, Quyosh sikli va Quyosh atmosferasidagi boshqa tuzilmalar bilan bog‘liqligini tushuntirishdan tashqari, olingan natijalar atmosferaning turli qatlamlarida modellashtirish va muvofiqlashtirilgan kuzatuvlarni birlashtirgan keyingi tadqiqotlar uchun yo‘l ochadi. Dissertatsiya tadqiqoti doirasida qo‘yilgan vazifalarga muvofiq quyidagi asosiy natijalar olindi:

1. Quyoshning katta hajmdagi raqamli tasvirlari va magnetogrammalarini avtomatlashtirilgan, tezkor va standartlashtirilgan tarzda qayta ishlash uchun hodisaning fizik mohiyati va natijalarning matematik aniqligi bo'yicha qo'yilgan talablarga javob beradigan maxsus astronomik dasturlar (IDL) paketlari ishlab chiqildi.

2. KYN-MB juftligining evolyutsiyasi va asosiy parametrlarini o'rganish quyidagilarni ko'rsatdi: KYN sonining intensivlik bo'yicha taqsimlanishi yuqori intensivliklar sohasida eksponensial ravishda kamayadi (ikki turga bo'linishini tasdiqlaydi), KYN soni esa o'lcham ortishi bilan eksponensial ravishda kamayadi (asosiy qismi "elementar" KYNlar). MBlarning aksariyati 30 dan 60 pikselgacha o'lchamga ega; ikki turdagi KYNlar turlicha rivojlanadi ("xira" KYNlar MB paydo bo'lishi bilan bog'liq, "yorqin" KYNlar esa magnit oqimlarining yo'q bo'lishi bilan xarakterlanadi); maksimal intensivlik cho'qqilari elementar KYNlarning chaqnashini ko'rsatadi; KYNlar uchun magnit qayta ulanishning aniq tabiatini aniqlash juda murakkab ekanligi va YMMM ta'sirini hisobga olish zarurligi aniqlandi.

3. KT sharoitida ikki turdagi KYNlarning evolyutsiyasini o'rganish natijasida quyidagilar ma'lum bo'ldi: barcha kuzatilgan KYNlarning 17 foizi I turga, 83 foizi esa II turga mansub; "yorqin" KYNlarning intensivligi "xira" KYNlarnikidan yuqori; KYNlarning paydo bo'lish holatlarining yarmi qutblarning yaqinlashuvi bilan bog'liq, 6 ta holat esa yangi qutblilikning paydo bo'lishi bilan; barqaror qutblilik (18 tadan 10 tasi) ikkinchi qutblilikdan kuchliroq va KTning "ustun" qutbliligi bilan mos keladi.

4. KYN va MB (KTda)ning ikki turiga bog'liqligi aniqlandi: MB va II tip KYNlarning magnit oqimining o'rtacha qiymati $1-5 \times 10^{20}$ Mks atrofida, I tip KYN bilan bog'langan MBlarniki esa $1-5 \times 10^{19}$ Mks oralig'ida; I tip KYN bilan bog'langan MBlarning maydoni 8 burchak sekundidan oshmaydi, II tip KYN holatida esa bu qiymat 12 burchak sekundidan oshishi mumkin.

5. QFning ikki sikli davomida ikki turdagi KYN va MB sonining veyvlet-o'zgartirilishi barcha holatlarda o'n bir yillik davriylikni ko'rsatdi. KYN sonining (barcha kengliklar bo'yicha umumiy) va MB (10 Gs) o'zgarishi 23 va 24 sikllarda S_n o'zgarishi bilan bog'liq bo'lmasada, II turdagi KYN sonining vaqt profili veyvlet-spektrlarida 22 yillik sikl aniq namoyon bo'ldi. MB holatida esa veyvlet-spektrlar 20 va 30 Gauss kuchlanganlikdagi MB uchun yaqqol ifodalangan o'n bir yillik davriylikni ko'rsatdi. MB holatida esa veyvlet spektrlari 20 va 30 Gauss kuchlanishli MB uchun aniq ifodalangan o'n bir yillik davriylikni ko'rsatdi.

6. Asosan "yorqin" KYNlar orqa qismdagi qutbli YMMMda, "xira" KYNlar esa yetakchi qutbli YMMMda joylashgan bo'ladi. II turdagi KYNlar kengliklar bo'yicha ikki komponentli taqsimotni ko'rsatadi: biri - 60° gacha bir xil, ikkinchisi esa faol soha yoki dog'lanish markazi kengliklarida ($\leq \pm 30^\circ$) bo'lib, bu quyosh sikli faolligiga qarab o'zgaradi. Kuchlanishi past bo'lgan "xira" KYN va MBlar fon magnit maydoni bilan, kuchlanganligi 30 Gs va undan yuqori bo'lgan "yorqin" KYN va MBlar esa faol sohalar bilan bog'liqligi ko'rsatib berildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АН РУЗ

МИНЕНКО ЕКАТЕРИНА ПАВЛОВНА

**МОРФОЛОГИЯ, ДИНАМИКА И ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
КОРОНАЛЬНЫХ ЯРКИХ ТОЧЕК НА СОЛНЦЕ**

01.03.01 – Астрономия

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) физико-математических наук зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером B2020.4.PhD/FM58.

Диссертация выполнена в Астрономическом институте Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.astrin.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: Эгамбердиев Шухрат Абдуманнапович,
доктор физико-математических наук, профессор,
академик Академии наук Республики Узбекистан

Официальные оппоненты: Халиков Шукурджон Содикович,
доктор физико-математических наук
Гайнуллина Эвелина Рабиновна,
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Ведущая организация: Астрофизический институт
им. В. Г. Фесенкова (АФИФ)

Защита диссертации состоится «21» февраля 2025 г. в 11⁰⁰ часов на заседании Научного совета PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 при Астрономическом институте, по адресу: 100052, г. Ташкент, Астрономическая 33, Астрономический институт; тел.: (+99871) 235-81-02, факс: (+99871) 234-48-67, e-mail: info@astrin.uz.

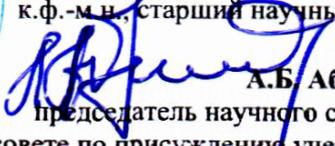
С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Астрономического института (регистрационный номер 01-2025), по адресу: 100052, г. Ташкент, Астрономическая 33, Астрономический институт; тел.: (+99871) 235-81-02.

Автореферат диссертации разослан «17» февраля 2025 года
(реестр протокола рассылки № 01-2025 от «17» февраля 2025 года).




Д.Ш. Фазилова,
Заместитель председателя
Научного совета по присуждению
ученой степени, д.ф.-м.н., профессор


И.А. Ибрагимов,
ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученой степени,
к.ф.-м.н., старший научный сотрудник


А.Б. Абдикамалов,
председатель научного семинара при
Научном совете по присуждению ученой степени,
д.ф.-м.н., старший научный сотрудник

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире использование высококачественных космических наблюдений и современных методов анализа данных при изучении мелкомасштабных образований на Солнце занимает одно из ведущих мест. Во всем мире вопросы «происхождения циклов магнитной активности на Солнце, процессов извержения, процессов магнитного пересоединения, механизмов нагрева хромосферы и короны, ускорения и рассеивания энергичных частиц, а также негативного воздействия, которое солнечные возмущения могут оказывать на Землю и солнечно-земную космическую среду»¹ требуют внедрения, как и решение на практике вопросов возникновения солнечного ветра и нагрева короны. В этом плане важно использование современных методов моделирования и вейвлет-анализа.

На сегодняшний день в мире проводятся научно-исследовательские работы, направленные на комплексный статистический анализ наблюдаемых данных по КЯТ и магнитным биполям (МБ), изучение аспектов их эволюции, а также разработку теоретических моделей, согласующихся с наблюдениями. Космические исследования Солнца и солнечно-земных связей охватывая исследование нестационарных процессов в атмосфере Солнца, свойств материи, динамики и структуры атмосферы Солнца, моделирования межпланетного магнитного поля, а также изучение геоэффективных проявлений солнечной активности и прогнозирования космической погоды считается приоритетным направлением. В этом отношении особое внимание уделяется оценке коронального и фотосферного магнитных полей для изучения изменчивости солнечной атмосферы, обоснованию взаимосвязи между внутренней динамикой и магнитной активностью, а также лучшего понимания цикличности солнечной активности (СА) и ее эффектов.

В нашей Республике большое внимание уделяется фундаментальным исследованиям в области физики Солнца, в частности, реализуются комплексные меры и достигаются определенные результаты в целях прогнозирования возможного разрушительного воздействия солнечной радиации на околоземное пространство. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы² определены важные задачи по «...защите экологии и охране окружающей среды» и «Созданию эффективной системы предупреждения и предотвращения чрезвычайных ситуаций». При решении этих задач большое значение приобретает мониторинг солнечной активности, а также изучение долговременных закономерностей солнечного магнетизма, тонкой структуры, эволюции, локализации и распределения корональных ярких точек по отношению к магнитным полям различных

¹IUA Strategic Plan 2020-2030. https://www.iau.org/static/administration/about/strategic_plan/strategicplan-2020-2030.pdf

²O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026-yillarda Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-son farmoni.

масштабов с использованием наблюдательных данных нового поколения в астрофизике и разработке теоретических моделей, отвечающих на фундаментальные вопросы физики плазмы.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, определенных в Постановлении Президента Республики Узбекистан за № УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», а также в Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-5032 «О мерах по повышению качества образования и совершенствованию научных исследований в области физики» от 19 марта 2021 года, в Законе Республики Узбекистан, от № ЗРУ-1017 «О космической деятельности» от 13 января 2025 года и других нормативно - правовых документах, связанных с данной деятельностью.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Данное диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и техники в Республике Узбекистан: II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Ведущими учеными мира, например, американскими (L. Golub, A.S. Krieger, K.L. Harvey, S.F. Martin, D.W. Longcope, C.C. Kankelborg, E.N. Parker, S.W. McIntosh, J.L. Nelson, A.A. Pevtsov, M.S. Madjarska, G.S. Vaiana, Sh.R. Habbal, G.L. Withbroe, N.R. Sheeley, D. Moses, A.F. Timothy и др.), китайскими (Ch. Mou, Z. Huang, Q.M. Zhang, P.F. Chen, T.J. Wang, C. Lu, H. Tian, M. Wan, P.X. Gao и др.), английскими (C.E. Parnell, B. Ramsey, E. Verwichte, H. Morgan и др.), японскими (H. Hara, K. Nakakubo-Morimoto и др.), иранскими (N. Alipour, H. Safari, D.E. Innes и др.), российскими (А.Н. Жуков, Б. Филиппов, А.Г. Тлатов, В.И. Абраменко, А. С. Ульянов и др.), немецкими (D.A. Muller, V.H. Hansteen, H. Peter, и др.) получен большой объем наблюдательных данных КЯТ в различных диапазонах длин волн, выполнены экспериментальные и теоретические исследования мелкомасштабных структур, их физических и пространственных характеристик, предложены физические модели их возникновения, выполнен статистический анализ связи КЯТ с другими проявлениями активности Солнца. Астрономический институт АН РУз. не только обладает богатейшим архивом данных по наблюдению Солнца, накопленным за все время существования Ташкентской астрономической обсерватории (ТАО), но и не одно десятилетие поддерживает изучение мелкомасштабных корональных структур, получивших название КЯТ. Работы по наблюдаемым в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах компактным образованиям были начаты академиком Ш.А. Эгамбердиевым еще в начале 80-х, а позже продолжены коллективом под руководством профессора И.С. Саттарова. Была найдена локализация ярких точек относительно ячеек хромосферной сетки, предложена классификация КЯТ двух типов, на основе отслеживания КЯТ исследовано дифференциальное вращение короны, связь КЯТ с циклом СА.

Несмотря на то, что исследования КЯТ ведутся уже более полувека, много вопросов, связанных с физикой этих объектов, остаются открытыми: является ли эффект видимости единственным фактором, ответственным за наблюдаемую антикорреляцию чисел КЯТ и солнечных пятен; почему не всем биполям соответствуют КЯТ, и какие именно МБ проявляются в виде КЯТ; почему общее число КЯТ меняется с циклом, а число МБ нет и многие другие. Несмотря на наличие большого количества моделей механизма связи КЯТ и МБ, все они имеют ряд недочетов и несовпадений с результатами наблюдений.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов Астрономического института АН РУз: Ф.6-14 «Исследование топологии и динамики развития магнитных полей на Солнце» (2014-2015); ЕФ-ФА-Ф006 «Исследование связи мелкомасштабных образований солнечной короны с крупномасштабными магнитными полями» (2016–2017); ВА-ФА-Ф-2-009 «Солнечная активность: структура и эволюция корональных ярких точек, механизм связи с локальными магнитными полями» (2017–2020).

Целью исследования является детальное изучение основных параметров, тонкой структуры и эволюции КЯТ, анализ долгопериодических вариаций и долготно–широтного распределения, а также взаимосвязь с магнитными полями различных масштабов.

Задачи исследования:

разработка специализированных пакетов астрономических программ (скриптов) в среде работы с астрономическими данными IDL для автоматизированной, скоростной и стандартизированной обработки большого объема цифровых изображений и магнитограмм Солнца (SDO, SOHO, SOLIS). Разработка автоматического метода регистрации КЯТ и МБ, их интегральных параметров;

изучение эволюции пары КЯТ - МБ, в том числе и в условиях корональной дыры (КД);

частотно–временной анализ долгопериодических вариаций КЯТ и МБ (вейвлет-анализ);

исследование пространственно-временного распределения и циклического изменения среднемесячного числа КЯТ и МБ в зависимости от фазы цикла СА, связь с крупномасштабным магнитным полем (КМП);

подсчет основных параметров магнитной трубки в рамках аналитической модели КЯТ в рамках аналитической модели КЯТ на основе стационарных цилиндрически – симметричных состояний плазмы в магнитном поле.

Объектом исследования является солнечная атмосфера, изучение которой поможет в понимании физических процессов внутри Солнца, их связи с магнитным полем и СА.

Предметом исследования являются КЯТ и тесно связанные с ними мелкомасштабные МБ, изучаемые с помощью цифровых снимков и магнитограмм в фильтрах фотосферы, хромосферы, короны и переходной области (SOLIS, SOHO, SDO).

Методы исследования. В данной работе были использованы следующие методы статистического анализа наблюдаемых данных: корреляционный анализ, выборочный метод, анализ главных компонент и классификация, частотный-временной анализ в виде вейвлет-преобразования по функции Морле 6-го порядка, а также 3-D моделирование структур магнитного поля (MPOLE, PFSS), специализированные методы автоматизированной обработки больших объемов данных в виде цифровых изображений Солнца и магнитограмм (фильтрация, сегментация и т.д.).

Научная новизна исследования заключается в следующем:

создан уникальный банк данных основных параметров (гелиографические координаты, площадь в пикселях, средняя и максимальная интенсивность, интенсивность фона, угол наклона большой оси к экватору, ошибка угла и т.д.) более 3 миллионов КЯТ и МБ;

разработана методика автоматизированного нахождения и определения основных параметров МБ на магнитограммах, которая позволила решить проблему выделения структуры с малой площадью и равнозначным значением потока учитывая их ориентацию, минимальное расстояние между полюсами и положение от центра диска;

впервые детально изучены вопросы распределения КЯТ и МБ по однородным данным за два полных цикла СА относительно КМП. Найдено, что в целях более точного прогнозирования цикла СА могут быть использованы именно «яркие» КЯТ;

детальное исследование эволюции двух типов КЯТ в условиях униполярного магнитного поля корональной дыры показало, что среднее значение магнитного потока МБ и КЯТ II типа порядка $1-5 \times 10^{20}$ Мкс, а МБ связанных с КЯТ I типа – от $1-5 \times 10^{19}$ Мкс;

впервые проведен вейвлет – анализ МБ и двух типов КЯТ для различных широт. Обнаружен 11-летний период для всех случаев КЯТ и МБ (20 и 30 Гаусс), что показывает ярко выраженную связь с циклом СА;

выполнена оценка основных параметров магнитной трубки, формирующей КЯТ в рамках аналитической модели на основе стационарных цилиндрически – симметричных состояний двухкомпонентной плазмы в магнитном поле, свойства которой заданы известными свойствами частиц, подчиняющихся общеизвестным уравнениям термодинамики и магнитной гидродинамики.

Практические результаты исследования заключаются в следующем: на большом статистическом материале проверены ранее известные и получены новые факты, касающиеся структурных образований солнечной короны и их отдельных характеристик. Полученные результаты могут служить основой для приближения к решению вопросов о механизме

свечения и определения роли точечных транзиентов в формировании солнечной короны и их связи с магнитными процессами на Солнце, в частности в корональном магнитном поле. Полученные результаты также могут быть использованы при проверке существующих и при построении новых теоретических моделей солнечной активности. Разработанные методы и обработанные массивы данных по КЯТ и МБ за более чем двадцатипятилетний период (1996 – 2023 гг.) непрерывных и плотных рядов наблюдений, могут быть использованы для дальнейших исследований динамики Солнца.

Достоверность результатов исследования обосновывается тем, что результаты и выводы диссертации получены на основе применения современных методов анализа большого объема наблюдательных данных. Дополнительную достоверность обеспечивают совпадение полученных данных с выводами других исследователей.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость работы объясняется тем, что результаты полученные в ходе исследования эволюции, локализации, циклических изменений среднемесячного числа, частотно-временного анализа долгопериодических вариаций и моделирования структуры взаимодействий между КЯТ и МБ имеют важное значение для прогнозирования солнечной активности и могут быть использованы в других подобных научных исследованиях.

Практическая значимость диссертации объясняется тем, что разработанные в процессе ее выполнения методы обработки цифровых изображений и их анализа могут быть использованы в других направлениях, где требуется повышение качества идентификации точечных источников. Также, созданный банк данных основных параметров КЯТ и МБ за период более 25 лет может быть использован для дальнейших исследований ярких точек и других образований на Солнце.

Внедрение результатов исследования. Результаты исследований эволюции пары КЯТ-МБ и разработанная методика идентификации и отслеживания на изображениях Обсерватории солнечной динамики (SDO/AIA) были использованы в работах ряда зарубежных авторов, что подтверждают ссылки в международных журналах, включенных в базу данных Web of Sciences, SCOPUS и перечислены в Google Scholar:

Статья, опубликованная на основе результатов исследования эволюции КЯТ по данным SDO: What SDO tells us about structure and evolution of coronal bright points // *Astronomische Nachrichten*. 2014, Volume 10, pp.1037-1042. (I. Kraus, Ph.-A. Bourdin, J. Zender и др. *Astronomy & Astrophysics* 2025, I Kraus, PA Bourdin, J Zender, M Bergmann и др. *Astronomy & Astrophysics* 2023, D Sudar, SH Saar, I Skokić, IP Beljan и др. *Astronomy & Astrophysics* 2016, Master's Thesis J. V. Klug, Vienna 2016) - 5 цитирований;

Статья, опубликованная на основе результатов исследования эволюции, статистических свойств КЯТ и МБ: *Investigation of the evolution of coronal*

bright points and magnetic field topology // Astronomy Letters, 2014. Volume 40, Issue 8, pp. 510-518. - 3 цитирования;

Общее количество ссылок на результаты, полученные в рамках данной диссертации в публикациях зарубежных авторов, составляет более 12.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на более 20 международных и республиканских научно-практических конференциях, а также семинарах Астрономического института АН РУз.

Публикации результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 45 научных работ, в том числе 20 научных статей в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации, из них 6 в международных научных журналах.

Структура и объем и диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 139 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В **введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель исследования, конкретные задачи для её достижения и методы их решения, объекты и предмет исследования, указано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты, раскрыты теоретическая и практическая значимость работы, представлены сведения по внедрению результатов исследования в практику, приводятся основные положения, выносимые на защиту, апробация результатов. Дается общая характеристика диссертации с указанием её краткого содержания. Показана роль астрономических исследований магнитного поля Солнца, в частности КЯТ и МБ.

В Главе I «**Структура и динамика транзитных образований в солнечной атмосфере**» в § 1.1 рассматриваются магнитные процессы на Солнце и их связь с закономерностью проявления СА и возникновением транзитных явлений. Проанализированы работы по сопоставлению КЯТ с магнитными фотосферными структурами и эфемерными областями. В § 1.2 анализируются существующие теоретические модели КЯТ, проведено сравнение преимуществ и недостатков рассмотренных моделей, обоснована постановка задач исследования. В § 1.3 приводится перечень основных космических и наземных обсерваторий, данные с которых используются при изучении процессов динамики транзитных образований на Солнце. В § 1.4 приведена информация о комплексной обработке и анализе данных, рассматривается содержание методов программной обработки цифровых снимков и магнитограмм.

Глава II «Эволюция и топология мелкомасштабных магнитных полей связанных с возникновением ярких точек в солнечной короне» состоит из четырех параграфов. В § 2.1 рассмотрены основные характеристики и эволюция пары КЯТ - МБ в рамках модели магнитного пересоединения. Показано, что в реальности, не все наблюдаемые КЯТ могут быть объяснены в рамках стандартной модели магнитного пересоединения. Основными характеристиками солнечных образований, в том числе и КЯТ, является их максимальная интенсивность и размер. Размер КЯТ и МБ приведен в пикселях, где 1 пиксель $\approx 0.6''$. Из рисунка видно, что число КЯТ уменьшается экспоненциально с увеличением размера (рис.1, а).

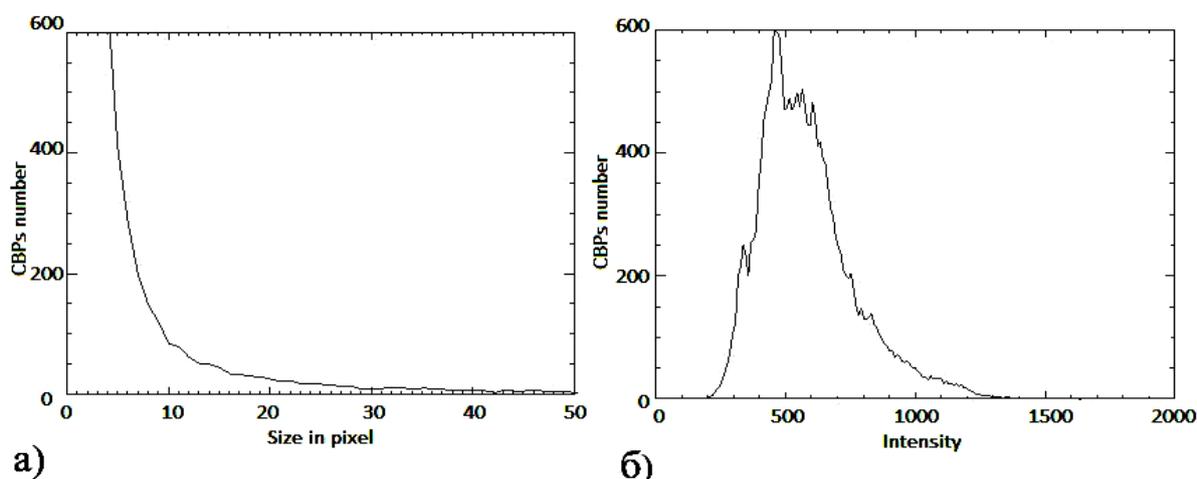


Рис. 1. Графики распределения числа: а) КЯТ по размеру (в пикселях); б) КЯТ по значению интенсивности.

Найдено, что основная часть всех найденных КЯТ относится к достаточно мелким образованиям размером не более 10 пикселей, т.е. около 6 секунд дуги. Большинство всех выявленных КЯТ представляют собой мелкомасштабные структуры со средним временем жизни менее часа.

Показано, что большинство КЯТ имеют интенсивность в достаточно узком диапазоне от 300 до 800 DN (данные каждого пикселя изображения в цифровых числах - Data Number) с максимумом в 480 (рис.1, б). В области высоких интенсивностей распределение убывает экспоненциально. Подобное распределение общего количества КЯТ описывает поведение двух типов КЯТ, где «тусклых» КЯТ (интенсивность которых менее 400 DN) больше, чем «ярких» КЯТ (интенсивностью более 450-480 DN). Данное распределение подтверждает правильность применяемой нами методики разделения КЯТ на два типа по значению их интенсивности. В зависимости от появления и аннигиляции магнитных полярностей различные типы КЯТ, кроме вариаций в морфологии, эволюционируют по-разному со временем. Для «тусклых» КЯТ характерна связь с возникновением новых мелкомасштабных магнитных структур. В случае «ярких» КЯТ - характерна ассоциация с аннигиляцией магнитных потоков, которая проявляется как исчезновение магнитных потоков в фотосфере.

В § 2.2 приведены результаты исследования эволюции, тонкой структуры, статистических и физических свойств избранных десяти КЯТ в короне, а также соответствующих им МБ в фотосфере.

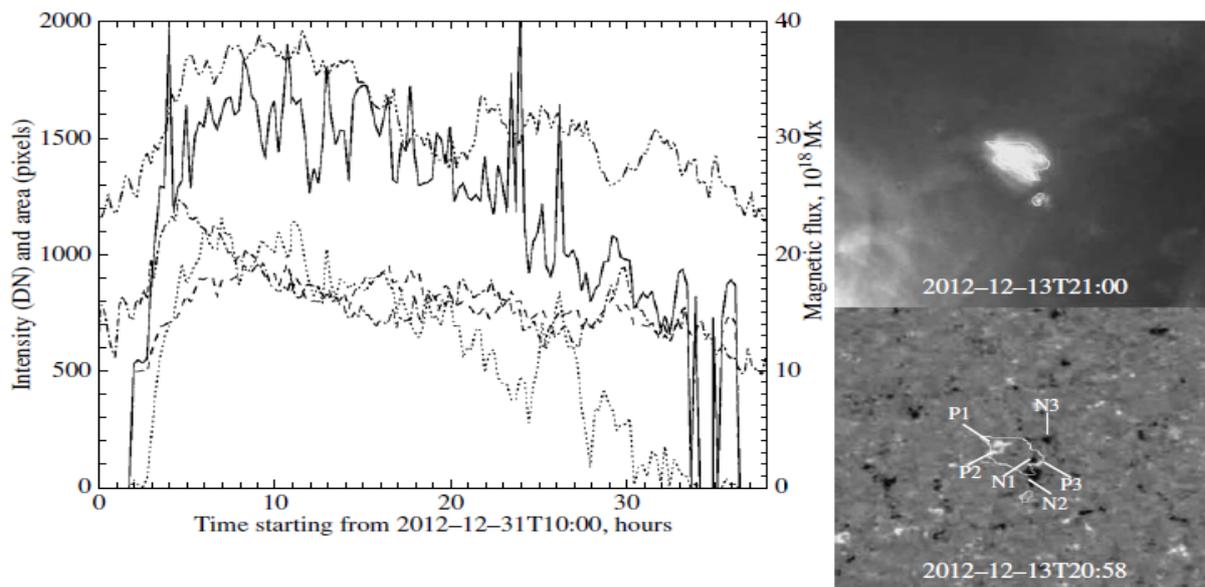


Рис. 2. Слева кривые изменения значения отрицательного (тире-многоточие-тире) и положительного (точка-тире) потока, пунктиром выделена площадь КЯТ в пикселях (точки), максимальная интенсивность (сплошная линия) и средняя интенсивность КЯТ №1 (пунктир - тире), взятая в DN. Справа белым обозначен контур КЯТ (сверху справа) и соответствующей ей фрагмент магнитограммы.

В некоторых случаях развитие КЯТ может не укладываться в традиционную картину «аннигиляции магнитных потоков». На рис. 2 справа изображен пример КЯТ, природа пересечения силовых линий магнитного поля с поверхностью фотосферы которой не до конца ясна. Скорее всего, в этом случае КЯТ состоит из нескольких петель. Предположительно потоки P1- N1 и P2- N2 создают более крупную петлю, N1-P3 поменьше, но возможно распределение магнитных силовых линий имеет более сложную структуру. Развитие КЯТ дает конечный момент этого «взаимодействия», а не как обычно интерпретируется, что начало магнитных взаимодействий между двумя полюсами дает появление КЯТ в короне. В работе (K. Yoshimura, 2012) указывается на возможность присутствия некоторых других механизмов выделения энергии, кроме магнитного пересоединения.

Мы также рассмотрели пример КЯТ, которые могут возникнуть над областью между двумя полярностями, где одна полярность может быть вовлечена в аннигиляцию потоков. В связи с этим можно предположить, что пересоединение берет начало в процессе формирования самой КЯТ и может определяться другими факторами. Идея того, что крупномасштабное магнитное поле может влиять на ориентацию и расположение КЯТ, была предложена ранее в работе (Nelson, et. al, 2000). На протяжении всего периода наблюдений для каждой обнаруженной яркой точки, в пределах

ограниченной области вспыхивали и исчезали мелкие, со временем жизни не более двух минут, «элементарные» КЯТ.

В § 2.3 рассматривается эволюция двух типов КЯТ в условиях изолированной экваториальной КД. Рассмотрено 18 случаев возникновения и эволюции КЯТ, связанных с МБ внутри экваториальной КД. Отобранные случаи КЯТ охватывают экватор и экваториальную область (6 точек), зону активных областей (в северном полушарии найдено только 5, а в южном – 7 точек). Для каждой КЯТ исследованы такие основные параметры эволюционного развития как: конвергенция, расщепление, слияние и аннигиляция полярностей, как возможный механизм возникновения КЯТ в солнечной короне. Для МБ рассмотрены изменение суммарной площади обеих полярностей и получены результаты по движению (по координатам центра) каждого потока обеих полярностей. Также рассмотрено изменение значений позитивного и негативного потоков. В большинстве случаев (10 из 18) одна из полярностей образует «стабильный» центр, который может быть одной полярностью или группой близко рассеянных мелких потоков одной полярности. Из всех рассмотренных КЯТ в семи случаях «стабильный» центр – это отрицательная полярность, т.е. доминирующая полярность в рассмотренной КД, в четырех случаях она положительная, ещё в четырех случаях наблюдается переключение между полярностями. В трёх случаях определить «стабильный» центр не удалось.

В 9 из 18 случаев возникновения КЯТ связаны со сближением полярностей (из них только в четырех идет процесс сближения и аннигиляции полярностей), в 6 случаях наблюдается процесс появления новой полярности. Только в двух случаях появляется отрицательная полярность. В 6 случаях разрушается лидирующая полярность и КЯТ гаснет.

Из рассмотренных случаев 17% всех наблюдаемых КЯТ относятся к I, а 83% - к II типу. Установлено, что процесс эволюционного развития для каждого типа КЯТ в КД различен. В случае «ярких» КЯТ активного Солнца - характерен процесс аннигиляции магнитных потоков, который проявляется как исчезновение магнитных потоков в фотосфере, «тусклые» КЯТ формируются при всплытии потоков. Максимальная интенсивность «ярких» КЯТ выше, чем «тусклых». Это различие может быть напрямую связано со значением напряженности МБ в фотосфере. Найдено, что среднее значение магнитных потоков МБ наблюдаемых «ярких» КЯТ II типа порядка $1-5 \times 10^{20}$ Мкс, в случае же МБ ассоциируемых с «тусклыми» КЯТ I типа, значения на порядок ниже – от $1-5 \times 10^{19}$ Мкс. Наблюдается различие в значениях суммарной площади МБ. Для МБ, связанных с КЯТ I типа, характерна верхняя граница в 8 угловых секунд дуги, а в случае КЯТ II типа значение может превышать 12 угловых секунд.

В § 2.4 рассмотрены результаты поиска, на основе вейвлет-анализа, временных и пространственных закономерностей в вариации числа КЯТ обоих типов и МБ, в зависимости от фазы цикла СА.

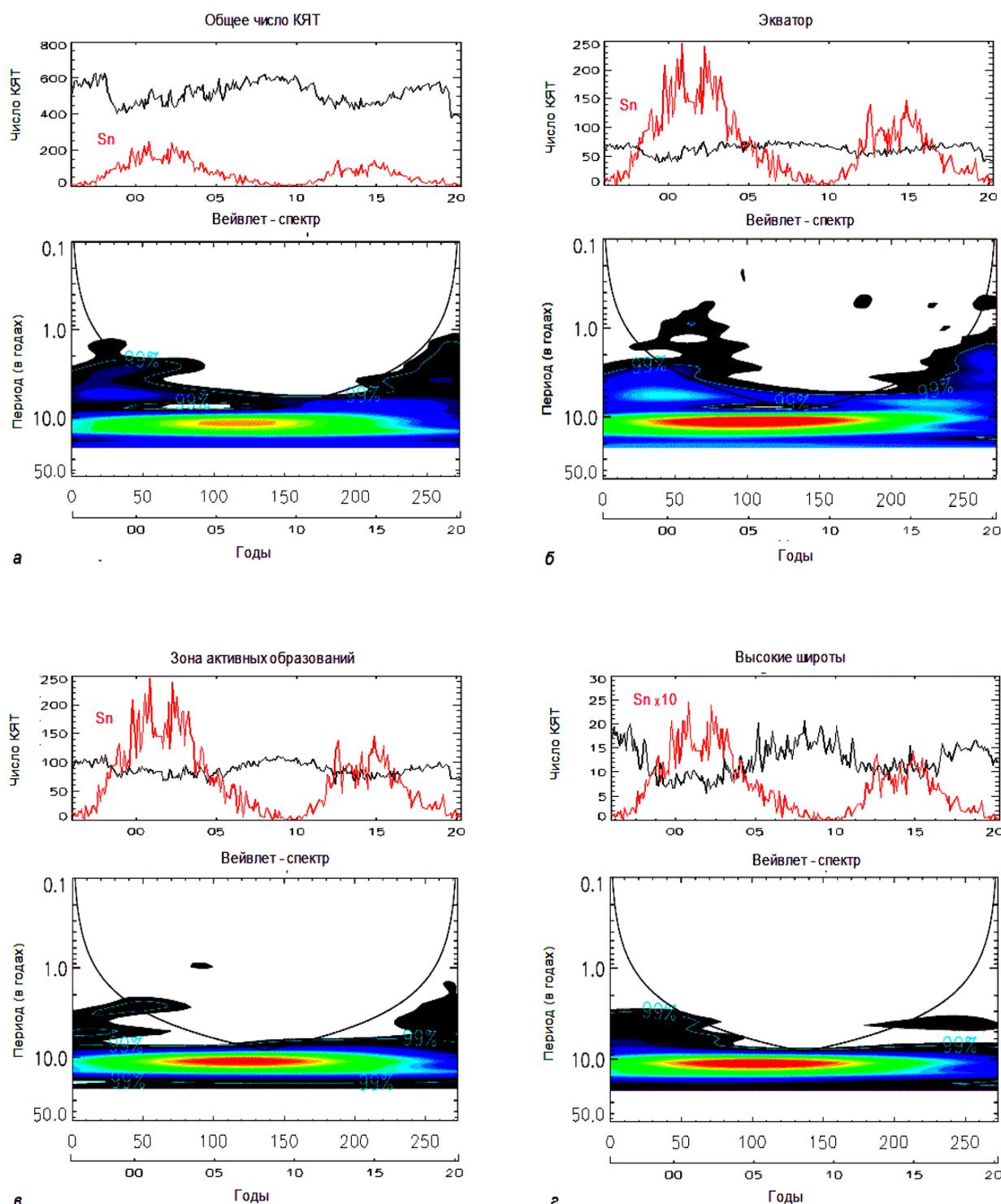


Рис. 3. Изменения числа КЯТ (сверху) и соответствующий вейвлет – спектр временного профиля числа КЯТ (внизу) на различных широтах: а – суммарно на всех широтах; б – экваториальная зона; в – зона активных образований; г – высокие широты. На верхних графиках красным цветом выделено изменение среднемесячных значений международных чисел солнечных пятен S_n .

Найдено, что число КЯТ на разных широтах меняется по-разному. Отмечается, что кривая изменения среднемесячного числа КЯТ суммарно по всем широтам не показывает явного соответствия с течением 23 и 24 циклов (см. рис. 3, а). Значение коэффициента корреляции отрицательно (- 0.55), что показывает отрицательную корреляционную зависимость числа КЯТ и числа

солнечных пятен. Для экватора (рис. 3, б) и зоны активных образований (рис. 3, в) кривые изменения числа КЯТ плохо согласуются с течением СА, показывают низкую зависимость (-0.37 и -0.54). Изменение числа КЯТ на высоких широтах (рис. 3, г) явно развивается в противофазе с течением рассматриваемых солнечных циклов, имея отрицательный коэффициент корреляции ($r = -0.75$). Данный результат служит подтверждением наличия двух типов КЯТ.

Во всех рассмотренных случаях вейвлет анализ выявил ярко выраженную одиннадцатилетнюю зависимость. На экваторе явно выделяются три периода: порядка 11 лет, 12.5 и 22 года. Показано, что II тип КЯТ имеет высокий коэффициент корреляции ($r = 0.86$), а первый тип («тусклые») показывает антикорреляционную картину с циклом СА ($r = -0.87$). Эта зависимость отслежена с 23 по 24 цикл в ряде наших работ I.1, I.3, I.8. КЯТ I типа наблюдаются по всему солнечному диску, второго – в основном, в зоне активных образований. Эта же тенденция может быть отслежена по коэффициентам корреляции на разных широтах для каждого типа КЯТ. Вейвлет – спектры временного профиля числа КЯТ во всех рассматриваемых случаях показали 11-летнюю периодичность. Для КЯТ II типа явно присутствует 22-летний цикл. Возможно именно «яркие» КЯТ вносят основной вклад в формирование более длительных циклических зависимостей. Для высоких широт в случае «ярких» КЯТ ярко выражены три периода: 11, 12.5 и 22 года. Продолжительность 23 цикла по S_n составляет 12.7 лет, а 24 – 11.5 лет. Для нахождения зависимости числа МБ с циклом СА проведено сравнение изменения S_n и числа МБ (≤ 30 arcsec) с уровнем напряженности 10, 20 и 30 Гаусс.

Результаты анализа изменения числа МБ с течением цикла показали, что в целом среднемесячное число фотосферных МБ остаётся постоянным с 23 до начала 24 солнечного цикла (рис. 4, слева). Значения коэффициентов корреляции изменения числа МБ (10 и 20 Гс) и S_n незначительны (10 Гс - 0.099, 20 Гс - 0.36). С другой стороны, наблюдается корреляционная зависимость в случае изменения числа МБ 30 Гс и S_n (коэффициент корреляции 0.59). Возможно, МБ 30 Гс и выше подобны эфемерным областям, имеющим положительную корреляцию с циклом солнечных пятен, и свидетельствуют о наличии двух типов МБ.

Применение вейвлет – спектра для изучения изменения среднемесячного числа МБ напряженностью 10 Гс по времени, показало слабовыраженный период порядка 7 лет (см. рис. 4, справа), который постепенно угасает к середине и вновь усиливается к концу 23 цикла. Более ярко выражен 7-летний период в 24 цикле, постепенно усиливаясь к середине цикла. Также наблюдается два квазипериодических интервала продолжительностью 1 год (первый в 23 цикле, второй, менее выраженный в начале 24). Также годовой период фиксируется на вейвлет-спектрах чисел Вольфа и солнечной постоянной в периоды повышенной солнечной активности в работах (Кононович и соавт., 2006; Willson et. al, 1999).

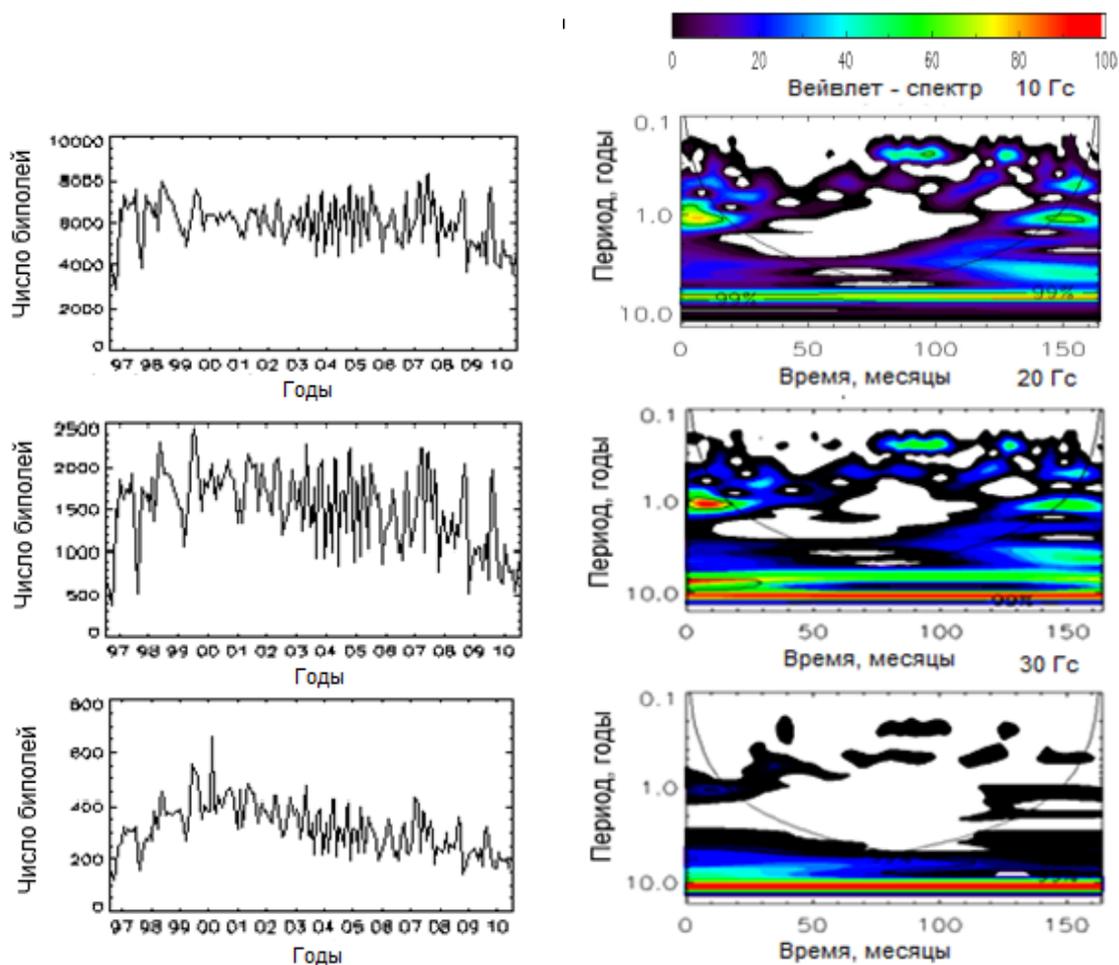


Рис. 4. Слева представлены графики изменения среднемесячного числа МБ различной напряженности, справа соответствующие вейвлет - спектры.

В случае вейвлет – спектра с уровнем напряженности 20 Гс явно выделяются три периода: порядка 1 года, 7 и 11 лет. Вейвлет – спектр временного профиля среднемесячного числа МБ напряженностью 30 Гс явно показывает 11-летний период.

В параграфе 3.1 Главы III «Связь мелкомасштабных образований с крупномасштабным магнитным полем», рассматриваются результаты изучения распределения КЯТ двух типов и МБ в фотосфере, затрагивающие ориентацию, эволюцию, локализацию КЯТ. Вблизи пика максимальной солнечной активности большинство МБ (10–20 Гс), ассоциирующихся с «тусклыми» КЯТ, как и последние, показывают предпочтение к ориентации вдоль экватора. Ориентация же МБ (30 Гс и выше), ассоциирующихся с «яркими» КЯТ, более случайна. Найдено, что ориентация осей МБ и КЯТ двух типов не подчиняется закону Хейла (I.6).

В основном «яркие» КЯТ располагаются на хвостовой полярности, в то время как «тусклые» КЯТ в КМП лидирующей полярности. Показано, что «тусклые» КЯТ вблизи минимума СА наблюдаются равномерно на всех широтах солнечного диска, но ближе к максимуму цикла, картина слегка изменяется, т.е. КЯТ этого типа уже представлены по всему диску за исключением хвостовой полярности. КЯТ II типа располагаются не только на

хвостовой полярности, но и наблюдается довольно большой процент, вблизи линии раздела полярности в минимуме СА (см. рис. 5, а). В максимуме СА наблюдается более хаотичная картина, и хоть локализация КЯТ II типа затрагивает обе полярности, но большинство «ярких» КЯТ наблюдается в экваториальной зоне (рис. 5, б). Таким образом, «яркие» КЯТ II типа показывают двухкомпонентное распределение по широтам, одно - равномерное до 60° , а другое на широтах активной области или центра пятнообразования ($\leq \pm 30^\circ$), которое изменяется в зависимости от активности солнечного цикла.

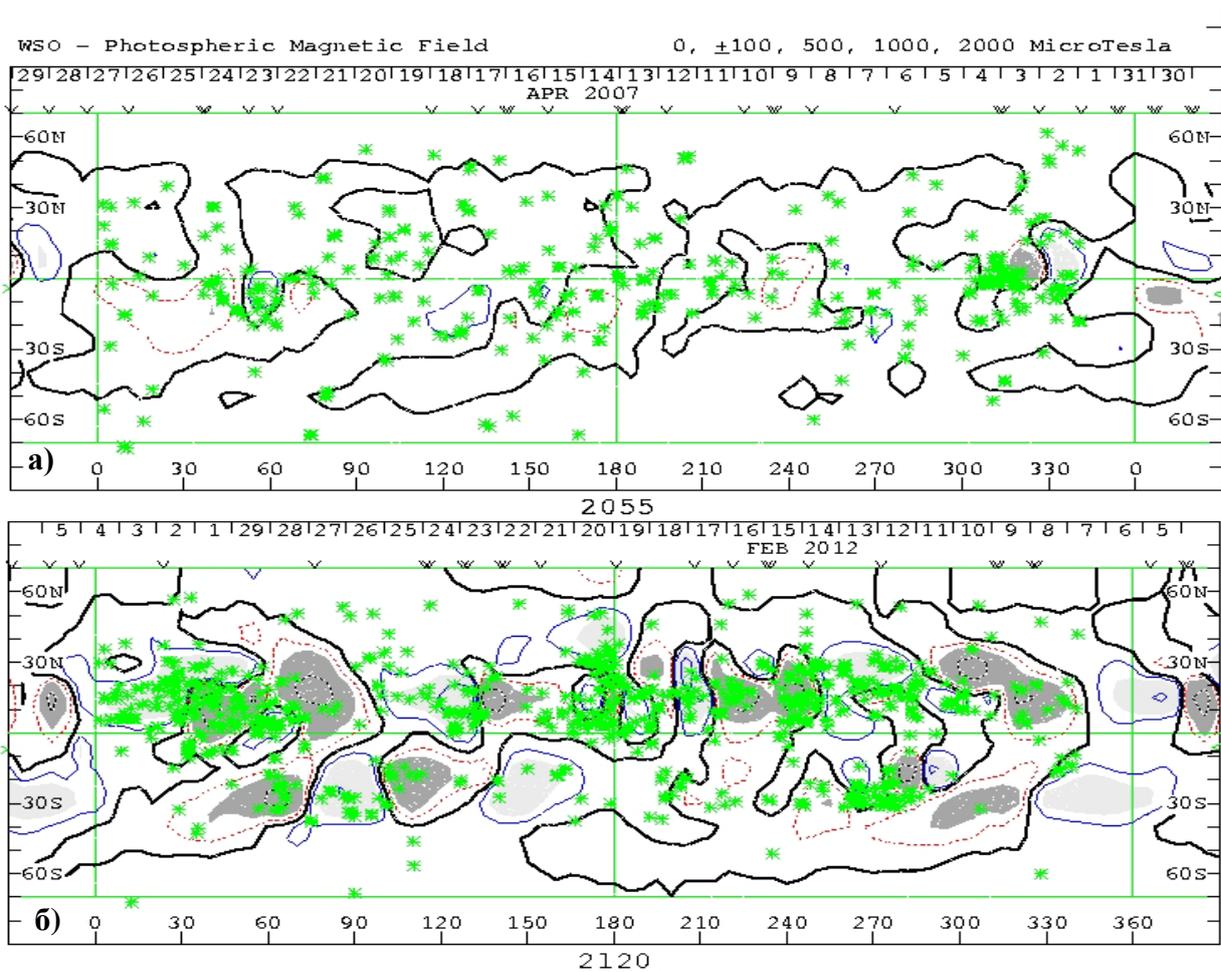


Рис. 5. Пространственное распределение КЯТ II типа («яркие»): а) в минимуме СА; б) в максимуме СА 23 солнечного цикла.

МБ напряженностью 30 Гс показывают идентичное распределение. МБ (10 и 20 Гс) распределены практически равномерно по всем широтам. Это может служить следствием того, что «тусклые» КЯТ и МБ меньшей напряженности связаны с фоновым магнитным полем, а «яркие» КЯТ и МБ с напряженностью 30 Гс и выше - с активными областями Солнца. В работе (Golub et al, 1975) найдено, что низкоширотная компонента распределения КЯТ связана с активностью солнечных пятен, что наглядно наблюдается в случае КЯТ II типа. Показано, что в целях более точного прогнозирования

активности солнечного цикла могут быть использованы именно «яркие» КЯТ II типа.

В параграфах 3.2 и 3.3 исследуется зависимость циклического изменения числа фотосферных и хромосферных МБ от фазы цикла солнечной активности, а также рассмотрены вопросы их широтного распределения. Найдено, что для фотосферных биполей с высоким значением уровня напряженности (выше 10 Гс) с повышением уровня распределение обнаруживает более широкий профиль. Широтный профиль фотосферных биполей сужается с переходом к минимуму СА, что наблюдается как для слабых, так и сильных магнитных биполей, а для хромосферных биполей не показывает подобной зависимости, но для слабых биполей (10 Гс) в хромосфере отмечается небольшое предпочтение к двугорбому профилю именно в 2007-2008 гг., что соответствует минимуму СА. Широтное распределение хромосферных МБ показывает разный характер с изменением напряженности, также характерна асимметрия для сильных МБ (30 Гс и выше).

В Главе IV «**Стационарные цилиндрически - симметричные состояния плазмы**» рассматриваются равновесные состояния двухкомпонентной бесстолкновительной и электрически нейтральной плазмы в собственном магнитном поле с целью аналитического решения альтернативной модели существования магнитной трубки в окружающей плазме. Качественно улучшенная аналитическая модель магнитной трубки, которая описывается как цилиндрически-симметричное равновесное состояние двухкомпонентной плазмы, свойства которой заданы известными свойствами частиц, подчиняющихся общеизвестным уравнениям термодинамики и магнитной гидродинамики (I.15) позволяет дать оценку основным параметрам магнитной трубки. Несмотря на то, что модель сильно идеализирована и ограничена условием того, что окружающая магнитную трубку плазма однородна и неподвижна, радиус трубки при выбранных параметрах оказался равным 2.06×10^6 м. Если принять средний наблюдаемый размер КЯТ порядка 10^8 км², средний радиус должен быть порядка 4×10^4 км или 4×10^6 м. С другой стороны, также была проведена оценка энерговыделения и времени жизни в рамках феноменологической модели образования КЯТ как результата взаимодействия токовых слоёв в первом приближении, что составило порядка 1.5×10^{26} эрг, время жизни от 1 до 10 часов (I.14, I.17).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Помимо объяснения наблюдаемых особенностей, морфологии КЯТ, связи с солнечным циклом и другими структурами в солнечной атмосфере, полученные результаты открывают путь для дальнейших исследований, сочетающих моделирование и скоординированные наблюдения в различных слоях атмосферы. Следуя поставленным задачам в рамках диссертационного исследования получены следующие основные результаты:

1. Выполнена разработка специализированных пакетов астрономических программ (IDL), отвечающих предъявляемым требованиям по физической сущности явления и математической точности результатов, для автоматизированной, скоростной и стандартизированной обработки большого объема цифровых изображений и магнитограмм Солнца.

2. Исследование эволюции и основных параметров пары КЯТ - МБ показало, что: распределение числа КЯТ по интенсивности убывает экспоненциально в области больших интенсивностей (подтверждение двух типов), а число КЯТ уменьшается экспоненциально с увеличением размера (основная часть - «элементарные» КЯТ). Размер большинства МБ от 30 до 60 пикселей; два типа КЯТ эволюционируют по-разному («тусклые» КЯТ связаны с возникновением МБ, а для «ярких» характерна ассоциация с аннигиляцией магнитных потоков); пики максимальной интенсивности показывают вспыхивание элементарных КЯТ; показано, что довольно сложно определить точную природу магнитного пересоединения для КЯТ и необходимо учитывать влияние КМП.

3. Изучение эволюции КЯТ двух типов в условии КД показало, что: 17% всех наблюдаемых КЯТ относятся к I, а 83% - к II типу; интенсивность «ярких» КЯТ выше, чем «тусклых»; половина случаев возникновения КЯТ связано со сближением полярностей, в б - появление новой полярности; стабильная полярность (10 из 18) сильнее второй полярности и совпадает с «доминирующей» полярностью КД.

4. Найдена зависимость двух типов КЯТ и МБ (в КД): среднее значение магнитного потока МБ и КЯТ II типа порядка $1-5 \times 10^{20}$ Мкс, а МБ связанных с КЯТ I типа – от $1-5 \times 10^{19}$ Мкс; площадь МБ связанных с КЯТ I типа, имеет верхнюю границу в 8 угловых секунд дуги, в случае КЯТ II типа значение может превышать 12 угловых секунд.

5. Вейвлет – преобразование числа КЯТ двух типов и МБ в течение двух циклов СА показало, что одиннадцатилетняя цикличность отмечается для всех случаев. Несмотря на то, что изменение числа КЯТ (суммарно по всем широтам) и МБ (10 Гс) не коррелирует с изменением S_n в 23 и 24 циклах. Также, на вейвлет – спектрах временного профиля числа КЯТ II типа явно присутствует 22-летний цикл. В случае же МБ вейвлет-спектры показали ярко выраженную одиннадцатилетнюю цикличность для МБ напряженностью 20 и 30 Гаусс.

6. В основном «яркие» КЯТ располагаются на КМП хвостовой полярности, «тусклые» КЯТ - на КМП лидирующей полярности. КЯТ II типа показывают двухкомпонентное распределение по широтам, одно - равномерное до 60° , а другое на широтах активной области или центра пятнообразования ($\leq \pm 30^\circ$), которое изменяется в зависимости от активности солнечного цикла. Показано, что «тусклые» КЯТ и МБ меньшей напряженности связаны с фоновым магнитным полем, а «яркие» КЯТ и МБ с напряженностью 30 Гс и выше - с активными областями.

**SCIENTIFIC COUNCIL Ph.D.02/30.12.2019.FM.15.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREES AT THE ASTRONOMICAL INSTITUTE**

ASTRONOMICAL INSTITUTE

MINENKO EKATERINA PAVLOVNA

**MORPHOLOGY, DYNAMICS AND PHYSICAL MODELS OF CORONAL
BRIGHT POINTS ON THE SUN**

01.03.01 – Astronomy

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON THE PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent– 2025

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number № B2020.4.PhD/FM58.

The dissertation was carried out at the Astronomical Institute.

The abstract of the dissertation was posted in three (Uzbek, Russian, English (resume)) languages on the website of Scientific Council (www.astrin.uz) and on the website of «Ziyonet» informational and educational portal (www.ziyonet.uz).

Supervisor:

Ehgamberdiev Shuhrat Abdumannapovich,
doctor of physical and mathematical sciences,
professor, academician of the Academy of Sciences of
the Republic of Uzbekistan

Official opponents:

Xolikov Shukirjon Sodikovich,
doctor of sciences in astronomy

Gaynullina Evelina Rabinovna,
doctor of philosophy in physics and mathematics

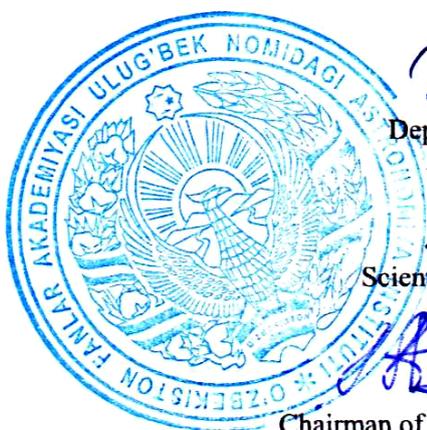
Leading organization:

Fesenkov Astrophysical Institute, Kazakhstan

The defense of the dissertation will be held on « 21 » february 2025 at 11⁰⁰ at the meeting of scientific council No. D.02/30.12.2019.FM.15.01 at the Astronomical Institute of Uzbekistan Academy of sciences (Astronomical Institute, 33 Astronomy st., 100052, Tashkent. Phone: (+99871) 235-81-02, fax: (+99871) 234-48-67, e-mail: info@astrin.uz).

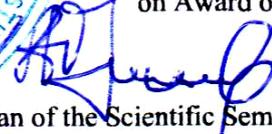
The doctoral (PhD) dissertation can be looked through the Information-Resource Center of Astronomical Institute (registered under No 01-2025). Address: Astronomical Institute, 33 Astronomy st., 100052, Tashkent, phone: (+99871) 235-81-02.

The abstract of dissertation was distributed on « 7 » february 2025.
(Registry record No. 01-2025 dated « 7 » february 2025).




D.Sh. Fazilova,
Deputy chairman of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., professor


I.A. Ibragimov,
Scientific Secretary of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
PhD. Ph-M.S.


A.B. Abdikamalov,
Chairman of the Scientific Seminar of the Scientific
Council on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S.

INTRODUCTION (Annotation of the PhD dissertation)

The aim of the research is a detailed study of the main parameters, fine structure and evolution of the CBPs, analysis of latitudinal-temporal analysis of long-periodic variations and longitude-latitude distribution, as well as the relationship with magnetic fields of various scales.

The tasks of the research:

Development of specialized astronomical software packages (scripts) in the IDL astronomical data environment for automated, high-speed and standardized processing of large volumes of digital images and magnetograms (SDO, SOHO, SOLIS). Development of an automatic method for identification CPPs and MBs, their integral parameters;

Study the results of the evolution of a CBP - MB pair, including under CH conditions;

Latitudinal-temporal analysis of long-periodic variations of the CBPs and MBs (wavelet analysis);

Study the spatio-temporal distribution and cyclic variations in the average monthly number of CBPs and MBs depending on the solar activity;

Calculation of the main parameters of the magnetic tube within the framework of the phenomenological-analytical model based on stationary cylindrically symmetric states of plasma in a magnetic field.

The object of the research is the solar atmosphere.

The subjects of the research are CBPs and closely related small-scale MBs, studied using solar images and magnetograms in the filters of the photosphere, chromosphere, corona and transition region (SOLIS, SOHO, SDO).

Methods of the research are: In this work, the following methods of statistical analysis of the observed data were used: correlation analysis, sampling method, principal component analysis and classification, frequency-time analysis in the form of a wavelet transform according to the Morlet function of the 6th order, as well as 3-D modeling of magnetic field structures (MPOLE, PFSS), specialized methods of automated processing of large volumes of data in the form of digital images of the Sun and magnetograms (filtering, segmentation, etc.)

The scientific novelty of the research is as follows:

a unique database of the main parameters (heliographic coordinates, area in pixels, average and maximum intensity, background, tilt, tilt error, etc.) of more than 3 million CBPs and MBs has been created;

a method for automated detection and determination of the main parameters of the MB on magnetograms was developed, which made it possible to solve the problem of identifying a structure with a small area and an equivalent flux value, taking into account their orientation, minimum distance between the polarities and position from the center of the disk;

for the first time the issues of CBPs and MBs distribution have been studied in detail based on homogeneous data for two full solar cycles with respect to the

large-scale magnetic field (LSMF), it was found that in order to more accurately predict the SA cycle, it is precisely the “bright” CBPs that can be used;

A detailed study of the evolution of two types of CBPs under the conditions of the unipolar magnetic field of the coronal hole showed, that the average value of the magnetic flux of MBs associated with the CBPs of II type is about $1-5 \times 10^{20}$ Mx, and that of MBs associated with the CBPs of type I from $1-5 \times 10^{19}$ Mx;

for the first time a wavelet analysis of MBs and CBPs two types on the different latitudes has been carried out. An 11-year period was found for all cases of CBPs and MBs (20 and 30 Gauss), which shows a strong connection with the SA cycle;

an assessment of the main parameters of the magnetic flux tube forming the CBP within the framework of an analytical model of cylindrically symmetric equilibria of two component plasma was carried out. In this case, the parameters of magnetic tube is determined by the properties of particles, obeying the well-known equations of thermodynamics and magnetohydrodynamics.

Implementation of the research results. The results of the studies of the evolution of the CBP-MB pair and the developed method of identification and tracking in the solar images (SDO/AIA) used in the works of a number of foreign authors, which confirmed by references in international journals included in the Web of Sciences, SCOPUS database and listed in Google Scholar:

What SDO tells us about structure and evolution of coronal bright points // *Astronomische Nachrichten*. 2014, Volume 10, pp.1037-1042. (I. Kraus, Ph.-A. Bourdin, J. Zender et al. *Astronomy & Astrophysics* 2025, I Kraus, PA Bourdin, J Zender, M Bergmann et al. *Astronomy & Astrophysics* 2023, D Sudar, SH Saar, I Skokić, IP Beljan et al. *Astronomy & Astrophysics* 2016, Master’s Thesis J. V. Klug, Vienna 2016) - Cited 5;

Investigation of the evolution of coronal bright points and magnetic field topology // *Astronomy Letters*, 2014. Volume 40, Issue 8, pp. 510-518. - Cited 3;

The total number of references to the results obtained within the framework of this dissertation in publications of foreign authors is more than 12.

Testing of the research results. The main results were reported and discussed at about 20 international and republican scientific and practical conferences.

Publication of the research results. The results obtained in frame of the PhD dissertation are presented in 45 works, of them 20 articles published in prestigious scientific journals recommended by Supreme attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of PhD thesis.

Volume and structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion and a list of references. The volume of the dissertation is 139 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; I part)

1. Sherdanov Ch.T., Minenko E.P., Sattarov I. and Tillaboev A.M. Two types of coronal bright points in the 24 cycle of solar activity // *Astrophysics and Space Science Proceedings*. – Netherlands: Springer, 2012. – Volume 30, - pp. 197-202 (№ 11. Springer).
2. Миненко Е.П., Шерданов Ч., Саттаров И. Пространственно – временное распределение магнитных биполей на магнитограммах хромосферы и фотосферы // *Узбекский Физический Журнал*. – Ташкент, 2013. - № 3-4. – С.128-137 (01.00.00; № 5).
3. Шерданов Ч.Т., Миненко Е.П., Саттаров И. Циклические изменения числа корональных ярких точек двух типов // *Доклады Академии наук Республики Узбекистан*. – Ташкент, 2013. – № 2. – С. 30-33 (01.00.00; № 7).
4. Minenko E.P., Karchik N.V., Sattarov I., Pevtsov A.A. Investigation of the evolution of coronal bright points and magnetic field topology // *Astronomy Letters*. – United States: Pleiades Publishing, Inc., 2014. – Volume 40, Issue 8, – pp. 510-518 (№ 1. Web of Science; IF = 1,432; № 3. Scopus; IF = 2,0 (2014)).
5. Karachik N. V., Minenko E.P., Sattarov I., Pevtsov A.A., Sherdanov Ch.T. What SDO tells us about structure and evolution of Coronal Bright Points // *Astronomische Nachrichten*. – Germany: Wiley-VCH Verlag, 2014, Volume 10, – pp.1037-1042. (№ 3. Scopus; IF = 0,922 (2014)).
6. Миненко Е.П., Саттаров И.С., Карачик Н.В., Шерданов Ч.Т. Ориентация корональных ярких точек и мелкомасштабных магнитных биполей // *Узбекский Физический Журнал*. – Ташкент, 2014. – № 3 (16). – С. 169-177 (01.00.00; № 5).
7. Туракулов З.Я., Миненко Е.П. Стационарные цилиндрически-симметричные состояния плазмы в магнитном поле // *Узбекский Физический Журнал*. – Ташкент, 2014. – № 4 (16). – С. 247-253 (01.00.00; № 5).
8. Шерданов Ч.Т., Тиллабоев А.М., Миненко Е.П., Саттаров И. Циклические изменения солнечной постоянной и числа корональных ярких точек двух типов // *Доклады Академии наук Республики Узбекистан*. – Ташкент, 2015. – № 2. – С. 30-33 (01.00.00; № 7).
9. Minenko E.P., Karachik N.V., Sattarov I., Sherdanov Ch.T., Tukhtaev B.J. Investigation of the main parameters and evolution of elementary coronal bright points // *Reports of the Academy of Sciences of Uzbekistan*. – Tashkent, 2015. – № 4. – pp. 29-31 (01.00.00; № 7).
10. Minenko E.P., Karchik N.V., Sattarov I. Main parameters and evolution of coronal bright points connected with magnetic bipolar structures in photosphere

- // *Astronomical and Astrophysical Transactions* (Journal of the Eurasian Astronomical Society). – UK: Cambridge Scientific Publishers Ltd., 2016, Volume 29, Issue 4, – pp. 557 – 566 (№ 3. Scopus; IF = 0,323).
11. Миненко Е.П., Саттаров И., Шерданов Ч.Т., Ильясов С.П. Мелкомасштабные магнитные биполи в 24 цикле солнечной активности // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2016. – № 1. – С. 35-37 (01.00.00; № 7).
 12. Миненко Е.П., Карачик Н.В. Свойства мелкомасштабных магнитных полей корональных ярких точек в корональных дырах // *Узбекский Физический Журнал*. – Ташкент, 2017. – Т.19 (№ 4). – С.189-198 (01.00.00; № 5).
 13. Karachik N.V., Berdalieva N.E., Minenko E.P. Maunder's Butterfly Diagram for coronal bright points // *Reports of the Academy of Sciences of Uzbekistan*. – Tashkent, 2018. – №3. pp. 48 - 50 (01.00.00; № 7).
 14. Ибрагимов И.А., Миненко Е.П. Процесс взаимодействия токовых систем как возможный механизм образования корональных ярких точек // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2019. – № 5. – С. 32-37 (01.00.00; № 7).
 15. Turakulov Z.Y., Karachik N.V., Minenko E.P. Calculation of the main parameters of a magnetic flux tube within the model of cylindrically-symmetric equilibria of two-component plasma // *Geomagnetism and Aeronomy*, – United States: Pleiades Publishing, Ltd., 2020, Volume 60, № 7, – pp. 811-815 (№ 1. Web of Science; IF = 0,701; № 3. Scopus; IF = 0,861 (2020)).
 16. Миненко Е.П., Эгамбердиев Ш.А., Ильясов С.П., Шерданов Ч.Т. Локализация корональных ярких точек относительно крупномасштабных магнитных полей // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2020. – № 1. – С. 37-41 (01.00.00; № 7).
 17. Ибрагимов И.А., Миненко Е.П., Оценка параметров токовой модели корональных ярких точек // *Узбекский Физический Журнал*. – Ташкент, 2020. – Т.22 (№ 2). – С.391-402 (01.00.00; № 5).
 18. Миненко Е.П., Ибрагимов И.А., Эгамбердиев Ш.А. Спектральный анализ широтно-временных вариаций корональных ярких точек // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2020. – № 5. – С. 20-25 (01.00.00; № 7).
 19. Minenko E.P., Ehgamberdiev Sh. A. Latitudinal-Temporal Analysis of Long-Periodic Variations of Coronal Bright Points // *Geomagnetism and Aeronomy* – United States: Pleiades Publishing, Ltd., 2021, Volume 61, №. 8, – pp.1128-1134 (№ 1. Web of Science; IF = 0,844; № 3. Scopus; IF = 1,3 (2021)).
 20. Миненко Е.П. Частотно - временной анализ мелкомасштабных магнитных биполей в 23 и 24 циклах // *Узбекский Физический Журнал*. - Ташкент, 2023. – Т.25 (№ 1). – С.26-32 (01.00.00; № 5).

II bo'lim (II часть; part II)

21. Minenko E.P., Sattarov I., Sherdanov Ch.T. Coronal Bright Points in conceptual stage the Solar cycle's 24 // in Abstract book of 3rd IAGA Symposium ("Heliospheric Physics during and after a deep solar minimum"), Luxor, Egypt -2011.
22. Миненко Е. Исследование свойств магнитных биполей, связанных с КЯТ на уровне хромосферы Солнца // Материалы докладов на конференции, НУУз. - Ташкент, 2012. - с. 60-64.
23. Миненко Е., Шерданов Ч., Саттаров И., Курбанова Ш. Исследование магнитных биполей на уровне хромосферы Солнца // Тезисы докладов на конференции "Астрономия в эпоху информационного взрыва: результаты и проблемы", (ГАИШ /AstrO). - Москва, 2012. - с. 13.
24. Sattarov I., Karachik, N.V., Sherdanov, C.T., Minenko E.P., Tillaboev A.M., "Evolution Coronal Bright Points in different regions of Solar Atmosphere" IAU Sym. 294 (e-abstract book).
25. Minenko, Ekaterina P.; Sattarov, Isroil; Karachik, Nina; Sherdonov Chori, Spatial distribution of small-scale magnetic bipoles in solar cycle 24 // Abstract Volume, XII-IAGASci. Assembly, Mérida Yucatán. - Mexico, 2013. - p.75.
26. Миненко Е.П., Саттаров И., Шерданов Ч. Т. Исследование пространственно – временного распределения магнитных биполей в течение 24 цикла солнечной активности // Всероссийская конференция по солнечно-земной физике, посвящённая 100-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН В.Е.Степанова 16 – 21 сентября 2013 (Иркутск), с. 43-44.
27. Миненко Е., Сатаров И. Возникновение и локализация мелкомасштабных биполярных магнитных полей, связанных с вспышками // Сборник тезисов докладов на международной конференции «Звездные атмосферы». - Санкт-Петербург, 2014. - с. 21-23.
28. Minenko Ekaterina P., Sattarov Isroil. Emergence of Small-Scale Magnetic Bipoles Associated with Micro-Flares // "Coupling and Dynamics of the Solar Atmosphere" (IUCAA), Pune, India /November 10-14, 2014, (e-abstract book) <http://www.iucaa.ernet.in:8080/jspui/handle/11007/2749>
29. Ekaterina P. Minenko. Development of an Automatic Procedure for Magnetic Bipoles Identification // Сборник тезисов докладов на конференции «Конференция молодых ученых - 2014», 2014, АН РУз., стр. 8-9.
30. Е.П. Миненко, Карачик Н.В., Шерданов Ч.Т., Саттаров И. Исследование эволюции и основных параметров корональных ярких точек и магнитных биполярных структур в фотосфере // Сборник тезисов докладов на международной научной конференции «Астрономия от ближнего космоса до космологических далей», Москва , 25–30 мая 2015, стр. 117-118.
31. Е.П. Миненко, И. Саттаров, Ч.Т. Шерданов. Мелкомасштабные магнитные поля на протяжении 23-24 циклов солнечной активности // Сборник тезисов докладов на международной научной конференции «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященную 70-летию юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории, Крым п.

Научный, 6 - 12 сентября 2015, e-book abstract; http://solar.craocrimea.ru/rus/archive/conf/2015/Conferences/abs_text.htm за № 49.

32. Карачик Н.В., Миненко Е.П., Ильясов С.П., Бердалиева Н.Е. Корональные Яркие Точки и крупномасштабное магнитное поле // 17-я международная солнечная конференция “Физика солнечной плазмы и активность Солнца”, 4 - 10 сентября 2016 г., КрАО, сборник тезисов, стр. 39.
33. Миненко Е.П., Шерданов Ч.Т., Карачик Н.В. Распределение биполярных магнитных структур в начале 24 солнечного цикла // 17-я международная солнечная конференция “Физика солнечной плазмы и активность Солнца”, 4 - 10 сентября 2016 г., КрАО, сборник тезисов, стр. 61.
34. Turakulov Z., Minenko E. «Cylindrically-symmetric equilibria of two-component plasma» // National Astronomy Meeting, 3-7 July 2017 in Hull, UK, Royal Astronomical Society, abstract book (2)
35. Миненко Е.П., Туракулов З.Я. Магнитная трубка в однородной бесстолкновительной плазме // РИАК-Х-2017 «Проблемы физики и роль одаренной молодежи в её развитии», 19-20 мая 2017, с.108-111
36. Миненко Е.П., Шерданов Ч.Т., Карачик Н.В., Ильясов С.П., Локализация и ориентация корональных ярких точек относительно крупномасштабных магнитных полей в 23-цикле // 22-я международная солнечная конференция Солнечная и солнечно-земная физика - 2019”, 7-11 октября 2019., ГАО РАН, Санкт-Петербург, стр. 122.
37. Туракулов З.Я., Миненко Е.П., Карачик Н.В. Расчет основных параметров магнитной трубки в рамках модели цилиндрически-симметричного равновесного состояния двухкомпонентной плазмы // 22-я международная солнечная конференция Солнечная и солнечно-земная физика - 2019”, 7-11 октября 2019., ГАО РАН, Санкт-Петербург, стр. 106.
38. Миненко Е.П., Долгопериодические нелинейные колебания двух типов корональных ярких точек // 22-я международная солнечная конференция Солнечная и солнечно-земная физика - 2019”, 7-11 октября 2019., ГАО РАН, Санкт-Петербург, стр. 70.
39. Ибрагимов И.А., Миненко Е.П. Оценка основных параметров корональных ярких точек в рамках модели взаимодействия индуцированных токовых систем // Труды XXIV Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца “Солнечная и солнечно-земная физика - 2020”, 2020, ISSN 0552-5829 , с.123-126.
40. Миненко Е.П., Эгамбердиев Ш.А. Широтно-временной анализ долгопериодических вариаций корональных ярких точек // Труды XXII Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца “Солнечная и солнечно-земная физика - 2020”, 2020, ISSN 0552-5829 , с.217-220.
41. Миненко Е.П. Исследование частотных спектров квазипериодических вариаций корональных ярких точек // XXIV конференция «Солнечная и

- солнечно-земная физика -2020», Санкт-Петербург, сборник тезисов, стр. 54
42. Миненко Е.П., Карачик Н.В. Эволюция корональных ярких точек в условиях корональной дыры // XXIV конференция «Солнечная и солнечно-земная физика -2020», Санкт-Петербург, стр. 55.
 43. Миненко Е. П. Частотно-временной анализ магнитных биполярных структур в течение 23 и 24 циклов солнечной активности // Труды XXV Всероссийской ежегодной конференции «Солнечная и солнечно-земная физика 2021», 4–8 октября 2021 г., ГАО РАН, Санкт-Петербург, 2021, стр. 58.
 44. Миненко Е. П. Широтно-временной анализ магнитных биполярных структур за период с 1996 по 2011 гг. // Всероссийская астрономическая конференция "Магнетизм и активность Солнца и звезд - 2022" (Крым-2022), <https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Minenko.pdf>.
 45. Миненко Е.П., Карачик Н.В. Долгопериодические колебания среднемесячного значения площади корональных ярких точек // Вестник молодых ученых, № 4(3), 2023, с.8-11.