

**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 – 2024

**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

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

Миненко Екатерина Павловна

Морфология, динамика и физические модели корональных ярких
точек на Солнце 21

Minenko Ekaterina Pavlovna

Morphology, dynamics and physical models of coronal bright points on
the Sun 39

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 43

**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 – 2024

Fizika-matematika fanlari bo'yicha 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 2024-yil “__” _____ soat ____ dagi 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 (_____ 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 2024-yil “__” _____ kuni tarqatildi.
(2024-yil “__” _____ dagi __ - 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 zamonaviy kosmik kuzatuvlarning rivojlanishi bilan tobora kichik masshtabli shakllanishlarni o'rganishga katta e'tibor qaratilmoqda. Koronal yorqin nuqtalarning (KYN) fizik xususiyatlarini aniqlash, ularning dinamikasi va evolyutsiyasini o'rganish, shuningdek, Quyosh magnitizmi bilan bog'liq qonuniyatlarni o'rganish, ularni aniqlash uchun yangi usullar va yondashuvlarni ishlab chiqishni talab qiladi hamda quyosh shamoli paydo bo'lishi va korona qizishi masalalarini hal qilish muammosini keltirib chiqardi. Bu muammoni hal qilishda Xalqaro Astronomik Ittifoqi (XAI): «Yangi avlod kuzatuv ma'lumotlari astrofizika va plazma fizikasi bo'yicha fundamental savollarga javob beradigan nazariy modellarni ishlab chiqishni rag'batlantirish, masalan, Quyosh va magnit faollik sikllarining kelib chiqishi, erupsiya jarayonlari mexanizmlari, magnit qayta birlashish jarayonlari, xromosfera va koronaning qizishi, energiyali zarralarning tezlanishi va tarqalishi, shuningdek, Quyosh hodisalarining Yerga va Quyosh-Yer kosmik muhitiga salbiy ta'sirini o'rganish»¹ vazifalarini belgilab berdi. Ushbu vazifalarni hal qilishda turli masshtabli magnit maydonlar bilan bog'liq ravishda koronal yorqin nuqtalarning nozik tuzilishi, evolyutsiyasi, lokalizatsiyasi va taqsimotini o'rganish lozim bo'lib, bu Quyosh atmosferasida asosiy fizik jarayonlarning qanday ishlashini kuzatishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Jahonda bugungi kunda ushbu yo'nalishdagi tadqiqotlarga ustuvor ahamiyat berilmoqda. Bu esa KYN va magnit bipolyarlarning (MB) kuzatilgan ma'lumotlarini har tomonlama statistik tahlil qilish, ularning evolyutsiyasi jihatlarini o'rganish, va kuzatuvlar bilan mos keladigan nazariy modellarni yaratishni talab qiladi. Ushbu dolzarb masalalarni hal qilish 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 tsikllari va uning ta'sirlarini yaxshiroq tushunishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Respublikamizda quyosh fizikasi sohasidagi fundamental tadqiqotlarga, xususan, Quyosh atmosferasidagi kichik o'lchamli tuzilmalarning yupqa qatlamlarini o'rganishga katta e'tibor berilmoqda. "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi"²da² belgilangan vazifalarni amalga oshirish maqsadida, quyosh kuzatuvlari bo'yicha ma'lumotlarni to'plash, xususan, kichik o'lchamdagi nuqtaviy manbalarning xossalari va xususiyatlarini har tomonlama o'rganish zarurati tug'ildi. 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.

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

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

Rentgen va ultrabinafsha diapazonlarida kuzatilgan kompakt tuzilmalar ustida ishlash akademik Sh.A. Egamberdiev tomonidan 80-yillarning boshlarida boshlangan, keyinchalik esa professor I.S. Sattarov jamoasi tomonidan davom ettirilgan. Bu boradagi tadqiqotlar yuqori xalqaro miqyosda olib borilmoqda, bu esa uni AQSh, Xitoy, Rossiya, Yevropa Ittifoqi davlatlari va boshqa astronomik markazlar bilan hamkorlikda olib borish imkonini beradi. Yuqoridagi sabablarni inobatga olgan holda, tadqiqot mavzusi ancha qiziqarli va dolzarb bo'lib, bu nafaqat uni o'rganishning ilmiy ahamiyati va o'rni, balki ushbu yo'nalishda keyingi tadqiqotlar zarurligini ham ta'kidlaydi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026-yillarda Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-son farmoni, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 19-martdagi PP-5032-sonli "Fizika sohasida ta'lim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida" hamda ushbu sohada qabul qilingan boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda berilgan vazifalari amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalar rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot ishi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining: "Ilm-fani 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi 29.10.2020-yilda chiqarilgan PF-6097-sonli farmonining 3-bob "Ilm-fanni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari"da keitirilgan bandlari - "uchinchisi, yuqori malakali ilmiy va muhandis kadrlar tayyorlash hamda ularni ilmiy faoliyatga yo'naltirish" va "beshinchisi, ilm-fan taraqqiyotiga ko'maklashadigan zamonaviy axborot muhitini shakllantirish" ustuvor yo'nalishlariga 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. Ushbu ilmiy guruhlardan tashqari, Astronomiya institutida bir qator ilmiy guruhlar (O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Sh.A.Egamberdiev, I.Sattarov, N.Karachik, Ch.Sherdanov) KYNlar tadqiqoti sohasida ilmiy izlanishlar olib bormoqdalar.

xromosfera panjarasining yacheykalariga nisbatan yorqin nuqtalarning lokalizatsiyasi aniqlandi, KYNni kuzatish asosida tojning differensial aylanishi va KYNning quyosh faolligi 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 ochiqlicha 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:

astronomik ma'lumotlarni qayta ishlash muhitida Quyoshning katta hajmdagi raqamli tasvirlari va magnitogrammalarini (SDO, SOHO, SOLIS) avtomatlashtirilgan, yuqori tezlikda va standartlashtirilgan qayta ishlovlar uchun ixtisoslashtirilgan IDL astronomik dasturlar paketlarini (skriptlarni) ishlab chiqish. KYN va MBni, ularning integral parametrlarini qayd etishning avtomatik usulini ishlab chiqish;

KYN - MB juftligi evolyutsiyani, shu jumladan koronal teshik (KT) sharoitida o'rganish;

KYN va MB ning uzoq muddatli kenglik-vaqt o'zgarishlarining tahlili (veyvlet tahlil);

Quyosh siklining fazasiga bog'liq holda KYN va MBning o'rtacha oylik sonining vaqt-fazo taqsimotini, siklik o'zgarishlarini va yirik masshtabdagi magnit maydonlar (YMMM) bilan bog'lanishini o'rganish;

magnit maydondagi plazmaning statsionar silindrsimon simmetrik holatlari asosida KYNning analitik modeli doirasida magnit naychaning asosiy parametrlarini hisoblash.

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 magnitogrammalar yordamida o'rganilgan KYN va ular bilan yaqindan bog'liq bo'lgan kichik masshtabli MBlar hisoblanadi.

Tadqiqot usullari. Ushbu ishda quyidagi usullar qo'llanilgan: kuzatilgan ma'lumotlarni statistik tahlil qilish, Morle funktsiyasi bo'yicha veyvlet almashtirishlar, modellashtirish, Quyoshning raqamli tasvirlari va magnitogrammalar ko'rinishidagi katta hajmdagi ma'lumotlarni onlayn qayta ishlashning maxsus usullari.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

KYN va MB kuzatuvlari bo'yicha keng qamrovli ma'lumotlar banki yaratildi, unda chorak asrdan ko'proq vaqt davomida olingan (1996 yildan 2023 yilgacha), uzluksiz va zich ma'lumotlar to'plamlaridan foydalanilgan (SOLIS, SOHO, SDO);

birinchi marta yirik masshtabdagi magnit maydonlariga nisbatan Quyosh faolligining ikkita tsikliga doir bir jinsli ma'lumotlarga asoslanib, KYN va MBlarning taqsimoti masalalari batafsil o'rganilgan;

Koronal teshiklar sharoitida KYN-MB juftligining evolyutsiyasi batafsil ko'rib chiqilgan;

birinchi marta MB va turli kengliklardagi ikki turdagi KYTlarning veyvlet tahlili o'tkazilgan;

magnit trubaning asosiy parametrlari magnit maydondagi plazmaning statsionar silindrsimon-simmetrik holatlariga asoslangan analitik model doirasida baholangan.

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. Qo'shimcha ishonchlik, 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. Ishning ilmiy ahamiyati, birinchi navbatda, ishning atmosferaning turli qatlamlarini qoplab oluvchi bir nechta kosmik (SOHO, SDO) va yer (SOLIS) observatoriyalardan olingan katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish asosida amalga oshirilganligi bilan belgilanadi. Bundan tashqari, ikki turdagi KYN va MBlardagi uzoqdavrlı variatsiyalarning o'rtacha oylik tsiklik o'zgarishlari va chastota-vaqt tahlili, lokalizatsiyasi, evolyutsiysi natijalari birinchi marta topildi. Ushbu natijalar nafaqat KYN-MB juftligidagi bog'lanish strukturasini modellashirish sifatini yaxshilaydi, balki quyosh faolligini tushuntirish uchun ham muhimdir.

Dissertatsiyaning amaliy ahamiyati shundan iboratki, uni amalga oshirish jarayonida ishlab chiqilgan raqamli tasvirni qayta ishlash va tahlil qilish usullari nuqtaviy manbadan olingan tasvir sifatini oshirish talab qilinadigan boshqa sohalarda ham qo'llanilishi mumkin.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. KYN-MB juftligi evolyutsiyasini tadqiqoti natijalari va Quyosh dinamikasi observatoriyasi (SDO/AIA) tasvirlari bo'yicha ishlab chiqilgan identifikatsiya va kuzatuv metodlari bir qator xorijiy mualliflarning ishlarida qo'llanilgan (xorijiy ilmiy jurnaldagi havolalar, Astronomy&Astrophysics, Volume 587, id.A29, 2016¹; Astronomy&Astrophysics, Volume 678, id.A184, 2023²) bunda, 1) quyosh aylanish tezligi profilini o'lchash va ≈ 6 oy davomida SDO/AIA ma'lumotlari asosida meridional oqimlarni o'rganish; 2) 346 KYNning statistik xususiyatlari va ularning AIA asbobining EUV kanallarida ko'rinishini o'rganish, KYN aylanish tezligining turli profillarini fotosferaning differentsial aylanishiga bog'liqlikni aniqlash uchun sinab ko'rish, Master's Thesis „Vom-Blatt-Dolmetschen als translatorische Hybridform: Strategien von DolmetscherInnen und ÜbersetzerInnen im Vergleich“ Julia Viktoria Klug, Vienna 2016, <https://phaidra.univie.ac.at/detail/o:1328258.pdf>.

SOLIS/VSM va SDO/HMI magnitogrammlarida MBlarni avtomatik toppish dasturi va yangi metodlarini o'z ichiga oluvchi natijalardan, shuningdek, KMMLariga nisbatan tanlangan MBlarning lokalizatsiyasi va oriyentatsiyasi, evolyutsiyasi, plazmali muhitdagi magnit trubkasi muvozanatini tasvirlovchi analitik model, xromosfera va fotosferadagi MBlar sonining kenglik-vaqt taqsimotidan, Davlat ilmiy-texnikaviy dasturi doirasidagi qo'llab-quvvatlash fondining F.6-14-sonli “Quyoshdagi magnit maydonlarning rivojlanish topologiyasi va dinamikasini o'rganish” (O'zR FA 2014-2015) fundamental tadqiqoti masalalarini yechishda muvafaqiyatli foydalanilgan. Birinchi marta Quyoshning 11 yillik tsikli davomida ikki turdagi KYN o'rtasidagi farqlarni, shuningdek koronal teshiklardagi KYN va MB evolyutsiyasi tadqiqoti asosida olingan natijalar EF-FA-F006 “Quyosh tojining kichik masshtabli shakllanishlari va yirik magnit maydonlari o'rtasidagi bog'liqlikni o'rganish” (O'zR FA, 2015-2017)” grantining asosi bo'ldi. Tanlangan KYNlarning oriyentatsiyasi va

evolyutsiyasini o'rganish natijalaridan, ikki turdagi KYNlarning kenglik taqsimoti, shuningdek tahlil usullari va statsionar plazmadagi magnit trubkaning ishlab chiqilgan analitik modeli Davlat ilmiy-texnikaviy dasturi doirasidagi VA-FA-F-2-009 "Quyosh faolligi: toj yorqin nuqtalarining tuzilishi va evolyutsiyasi, magnit maydonlar bilan bog'lanish mexanizmi" (2017–2020) fundamental tadqiqotini amalga oshirishda foydalanildi.

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.

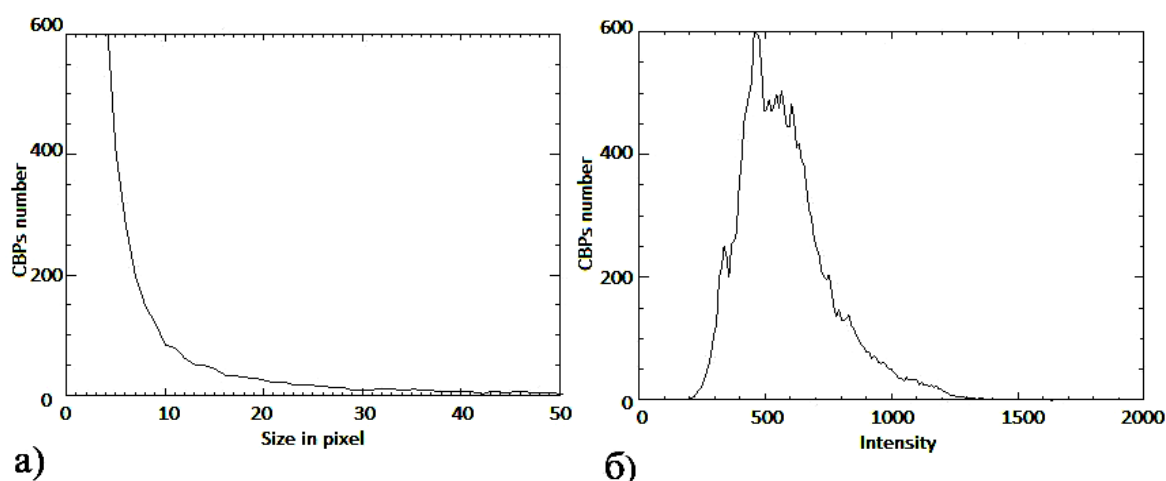
Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 137 betni tashkil etgan.

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 observatoriylarning 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.

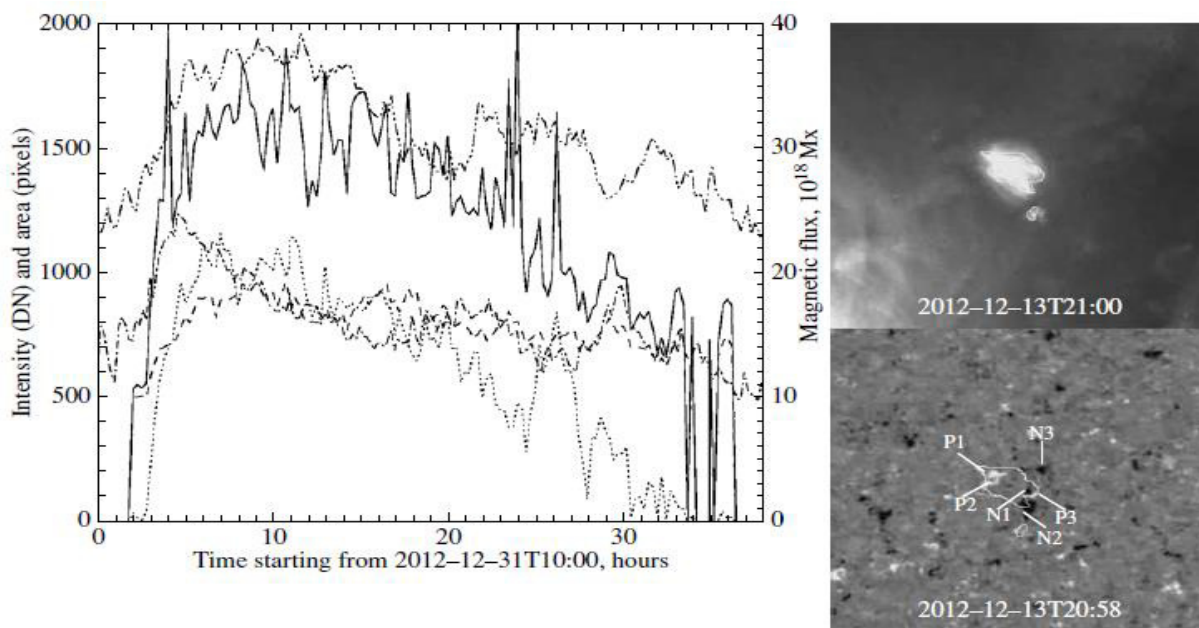
Dissertatsiyaning II bobi **“Quyosh tojidagi yorqin nuqtalarning paydo bo‘lishi bilan bog‘liq kichik miqyosdagi magnit maydonlarning evolyutsiyasi va topologiyasi”** deb nomlangan bo‘lib, u to‘rtta paragrafdan iborat. 2.1-paragrafda magnitli qayta ulanish modeli doirasida KYN - MB juftligining asosiy xususiyatlari va rivojlanishi tahlil qilingan. Amalda barcha kuzatiladigan KYNlarni magnit 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 KYAT 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.



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, maksimal intensivligi (tutash chiziq) va DN da olingan KYN №1 ning o'rtacha intensivligi (punktir) ajratilgan. O'ng tomonda oq rang bilan KYN konturi (yuqoridan o'ng tomonda) va unga mos magnetogramma fragmenti belgilangan.

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.

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

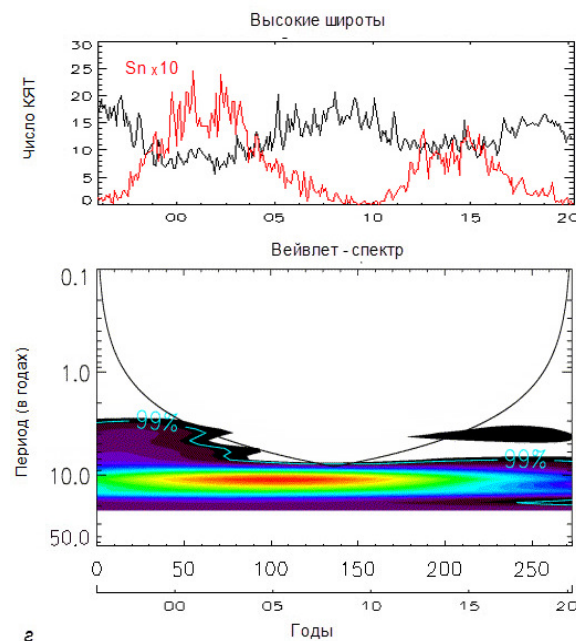
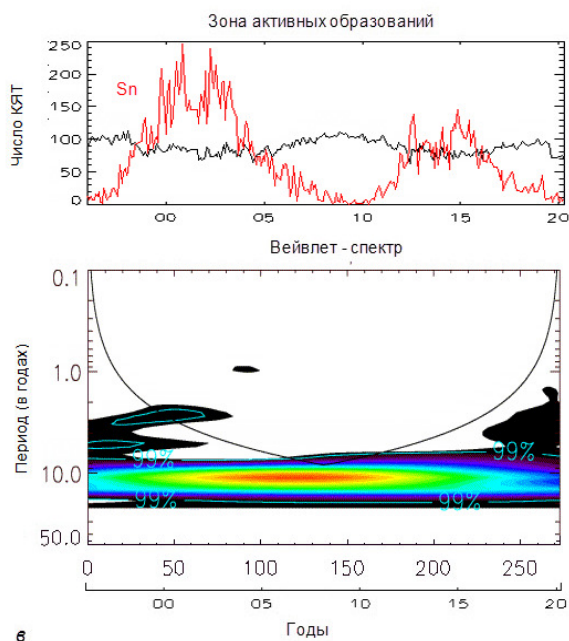
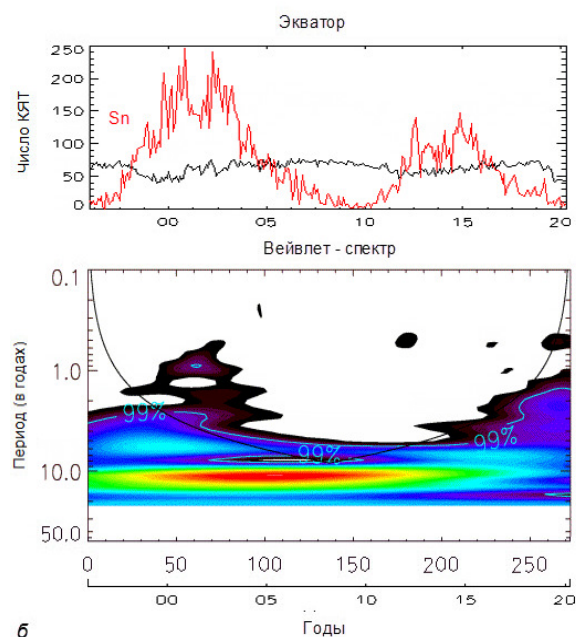
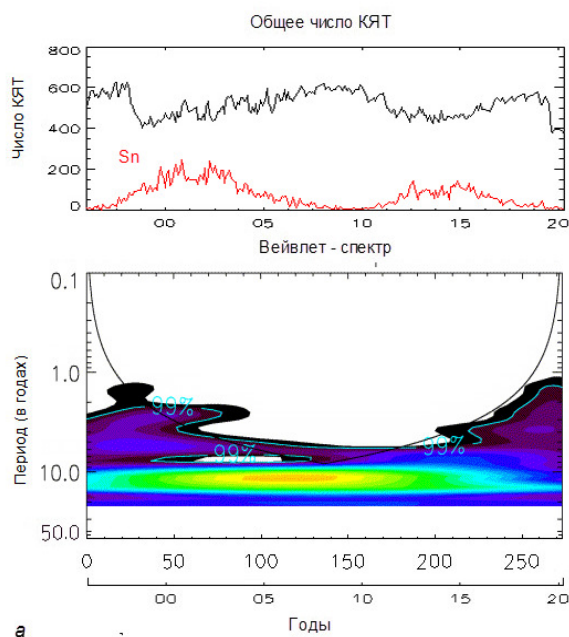
daqiqadan ko'p bo'lmagan yashash vaqti bilan kichik "elementar" KYNlar paydo bo'ldi va yo'qoldi.

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 $1-5 \times 10^{20}$ Mx atrofida, "xira" I tipdagi KYNlar bilan bog'liq MB holatida esa qiymatlar bir daraja past – $1-5 \times 10^{19}$ Mx 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 mintaq; 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.

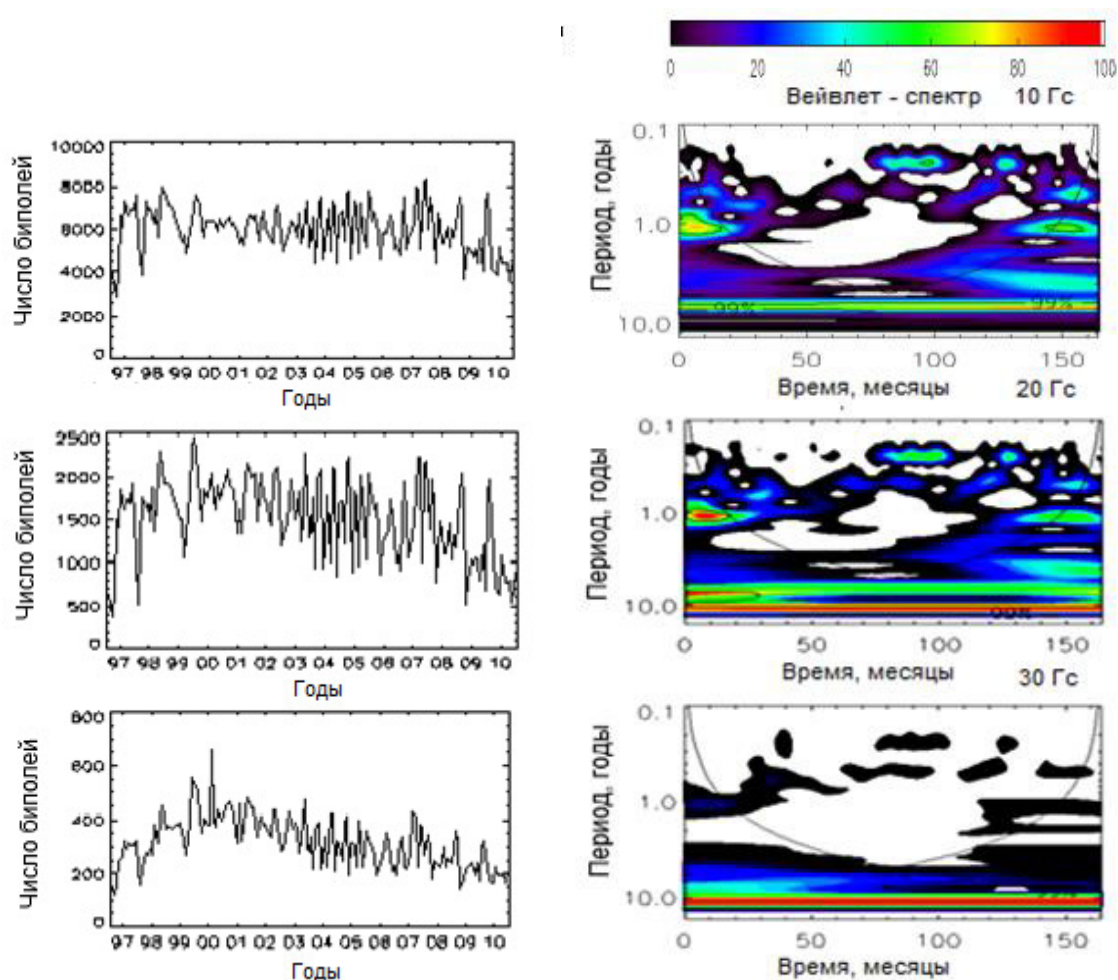
KYN soni turli kengliklarda har xil o'zgarishi aniqlandi. Ta'kidlanishicha, barcha kengliklar bo'yicha o'rtacha oylik KYN sonining o'zgarish egri chizig'i 23 va 24 siklning kechishi bilan aniq moslikni ko'rsatmaydi (3-rasm, a ga qarang). Korrelyatsiya koeffitsiyentining qiymati manfiy (-0.55) bo'lib, 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. Ekvatorda 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 tendensiyaning 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 taqqidiotlarda (Kononovich va hammuallif., 2006, Willson va boshq., 1999) ko'rsatilgan.



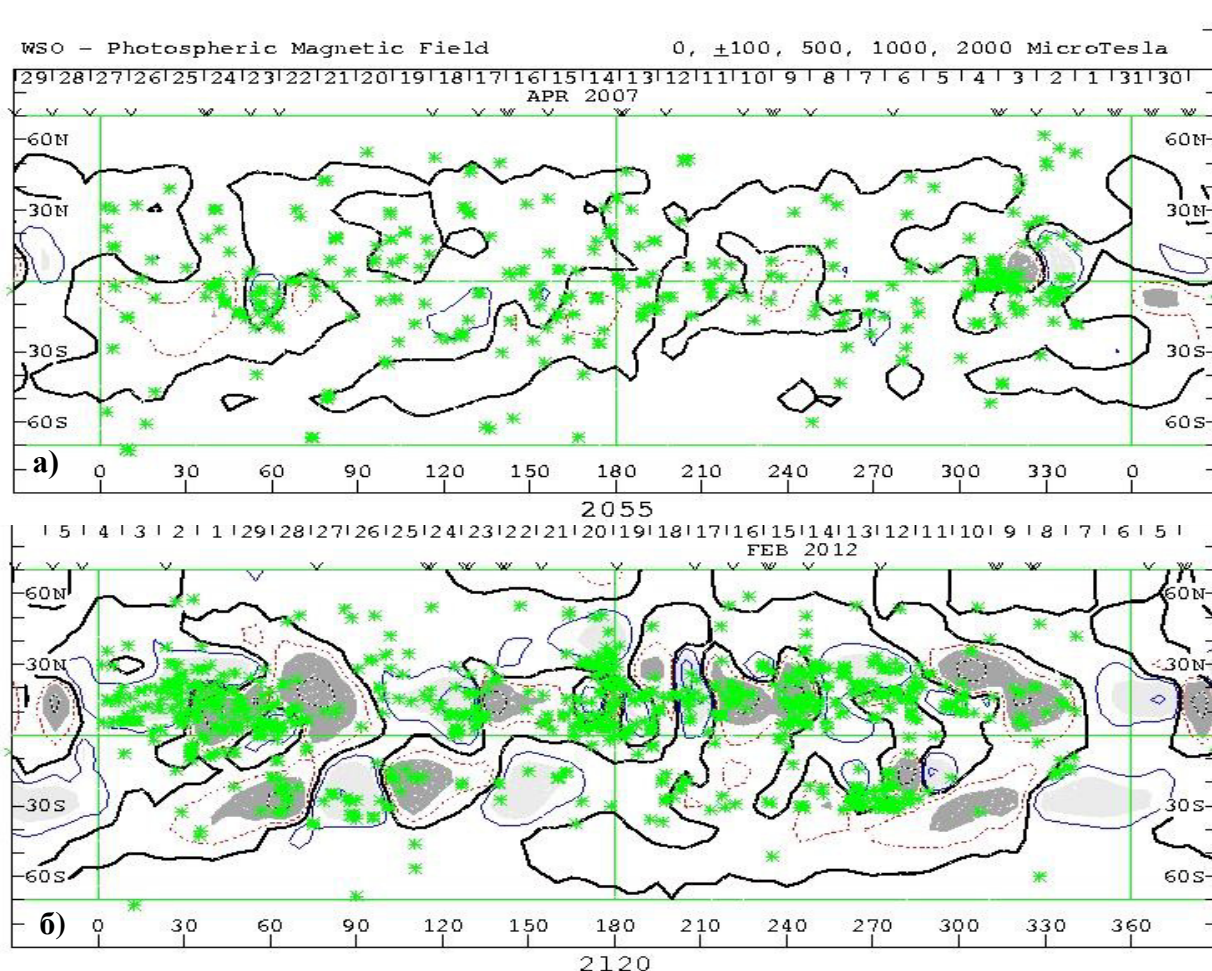
4-rasm. Chap tomonda turli kuchlanishli MB oʻrtacha oylik sonining oʻzgarish grafiklari, oʻng tomonda tegishli veyvlet spektrlari keltirilgan.

Kuchlanish darajasi 20 Gs boʻlgan veyvlet-spektr holatida uchta davr aniq ajralib turadi: taxminan 1 yil, 7 yil va 11 yil. 30 Gs kuchlanganlikdagi MB oʻrtacha oylik sonining vaqtinchalik profili veyvlet-spektri 11 yillik davrni yaqqol koʻrsatadi.

III bobning **“Kichik masshtabli hosilalarning katta miqyosdagi magnit maydoni bilan bogʻliqligi”** deb nomlangan 3.1-paragrafida KYNlarning yoʻnalishi, rivojlanishi va joylashuvi bilan bogʻliq ikki turdagi KYN va MB ning fotosferada taqsimlanishini oʻrganish natijalari koʻrib chiqilgan. Maksimal quyosh faolligining choʻqqisi yaqinida “xira” KYN bilan bogʻliq MB (10-20 Gs) larning koʻpchiligi, xuddi xira KYNlar singari, ekvator boʻylab yoʻnalishni afzal koʻradi. “Yorqin” KYN bilan bogʻliq MB (30 Gs va undan yuqori) yoʻnalishining tartibsizligi esa yuqori. Ikki turdagi MB va KYN oʻqlarining yoʻnalishi Xeyl (I.6) qonuniga boʻysunmasligi 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 oʻzgaradi, yaʼni bu turdagi KYNlar quyruq qutblilikdan tashqari butun disk boʻylab tarqalgan. II tipdagi KYNlar faqat quyruq qutbliligida emas, balki QF minimumida qutblanishning ajralish chizigʻi 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 magnit 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:

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 KMP 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 qutblikning 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 $1-5 \times 10^{20}$ Mx atrofida, I tip KYN bilan bog'langan MBlarniki esa $1-5 \times 10^{19}$ Mx 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 Sn 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.

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 – 2024

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 «Ziynet» (www.ziynet.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 «__» _____ 2024 г. в ____ 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 _____), по адресу: 100052, г.Ташкент, Астрономическая 33, Астрономический институт; тел.: (+99871) 235-81-02.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2024 года
(реестр протокола рассылки № _____ от «__» _____ 2024 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, с развитием современных космических наблюдений, изучению всё более мелкомасштабных образований уделяется большое внимание. Выявление физических свойств корональных ярких точек (КЯТ), изучение их динамики и эволюции, а также закономерностей связанных с магнетизмом Солнца, требует разработки новых методов и подходов при их идентификации, а также представляет большой интерес в рамках решения вопросов возникновения солнечного ветра и нагрева короны. Международный Астрономический Союз (МАС) определяя задачи подчеркнул, что «Новое поколение наблюдательных данных будет стимулировать разработку теоретических моделей, которые будут давать ответы на фундаментальные вопросы астрофизики и физики плазмы, такие как происхождение циклов солнечной и магнитной активности, механизма эруптивных процессов, процессов магнитного пересоединения, механизмов нагрева хромосферы и короны, ускорения и распространения энергических частиц, а также потенциально катастрофического воздействия, которое солнечные возмущения могут оказывать на солнечно-земную космическую среду».¹ При решении этих задач важно изучить тонкую структуру, эволюцию, локализацию и распределение корональных ярких точек относительно магнитных полей различного масштаба, что открывает исключительные перспективы в наблюдении того, как фундаментальные физические процессы работают в солнечной атмосфере.

На сегодняшний день в мире отдается приоритет исследованиям в этом направлении, включая всесторонний статистический анализ наблюдаемых данных по КЯТ и магнитным биполям (МБ), аспекты их эволюции, что требует построения теоретических моделей согласующихся с наблюдениями. Решение этих актуальных задач, может позволить оценить корональное и фотосферное магнитное поле для изучения изменчивости солнечной атмосферы, установить взаимосвязь между внутренней динамикой и магнитной активностью, лучше понять периодичность солнечной активности (СА) и ее эффекты.

В Республике большое внимание уделяется фундаментальным исследованиям в области физики Солнца, в частности, изучению тонкой структуры мелкомасштабных образований в солнечной атмосфере. В целях реализации задач, определенных в «Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»² возникла необходимость решения вопроса накопления данных по наблюдениям Солнца, в частности всестороннее исследование свойств и характеристик мелкомасштабных точечных объектов.

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

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

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. Исследования в этой области ведутся на высоком международном уровне, что позволяет проводить их совместно с астрономическими центрами США, Китая, России, стран ЕС и другими. С учетом вышеизложенных причин тема исследования представляется достаточно интересной и актуальной, что не только подчёркивает научную ценность и важность её изучения, но и необходимость дальнейших исследований в этом направлении.

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 и других нормативно - правовых документах, связанных с данной деятельностью.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Данная научно-исследовательская работа соответствует положениям Указа Президента Республики Узбекистан, от 29.10.2020 г. № УП-6097 «Об утверждении концепции развития науки до 2030 года», пункты, приведенные в главе 3 «Приоритетные направления развития науки»: - «в-третьих, Подготовка высококвалифицированных научных и инженерных кадров и их ориентация на научную деятельность» и «пятое, Формирование современной информативной среды, способствующей развитию науки».

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. Кроме того, ряд научных групп в Астрономическом институте (АИ АН РУз., Ш.А. Эгамбердиев, И. Саттаров, Н. Карачик, Ч. Шерданов) проводили исследования КЯТ в течение ряда лет, 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: статистический анализ наблюдаемых данных, вейвлет преобразование по функции Морле, моделирование, специализированные методы поточной обработки больших объемов данных в виде цифровых изображений Солнца и магнитограмм.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

создан уникальный банк данных наблюдений КЯТ и МБ, в которой используются непрерывные и плотные массивы данных с космических и наземных обсерваторий (SOLIS, SOHO, SDO) более чем за четверть века (с 1996 по 2023 гг.);

впервые детально изучены вопросы распределения КЯТ и МБ по однородным данным за два полных цикла СА относительно КМП;

подробно рассмотрена эволюция пары КЯТ – МБ в условиях КД;

впервые проведен вейвлет – анализ МБ и двух типов КЯТ для различных широт;

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

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 определяется, прежде всего, тем, что работа выполнена на основе анализа большого объема данных полученные с нескольких обсерваторий космического (SOHO, SDO) и наземного базирования (SOLIS), охватывает различные слои атмосферы (фотосфера, хромосфера, корона). Кроме того, результаты по эволюции, локализации, циклическому изменению среднемесячного числа и частотно – временному анализу долгопериодических вариаций двух типов КЯТ и МБ получены впервые. Эти результаты не только позволяют повысить качество моделирования структуры связи в паре КЯТ – МБ, но также имеют важное значение для понимания солнечной активности.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что разработанные в процессе ее выполнения методы обработки цифровых изображений и их анализа могут быть использованы и в других направлениях, где требуется повышение качества изображений точечных источников.

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 (ссылки в зарубежном научном журнале *Astronomy&Astrophysics*, Volume 587, id.A29, 2016¹; *Astronomy&Astrophysics*, Volume 678, id.A184, 2023²) при: 1) получении профиля скорости вращения Солнца и исследовании меридиональных потоков на основе данных SDO/AIA за ≈ 6 месяцев; 2) изучении статистических свойств 346 КЯТ и их видимости в EUV-каналах инструмента AIA, тестировании различных профилей скорости вращения КЯТ для выяснения зависимости с дифференциальным вращением фотосферы, а также в Master's Thesis „Vom-Blatt-Dolmetschen als translatorische Hybridform: Strategien von DolmetscherInnen und ÜbersetzerInnen im Vergleich“ Julia Viktoria Klug, Vienna 2016, <https://phaidra.univie.ac.at/detail/o:1328258.pdf>.

Результаты, включающие в себя новый метод и составленные программы (IDL) автоматического нахождения МБ на магнитограммах SOLIS/VSM и SDO/HMI, а также исследование эволюции, локализации и ориентации избранных МБ относительно КМП, построения аналитической модели, описывающей равновесие магнитной трубки в окружающей плазме, широтно - временное распределение числа хромосферных и фотосферных МБ были успешно использованы при выполнении задач гранта в рамках

Государственной научно – технической программы фундаментальных исследований и соответствующему контракту Фонда поддержки № Ф.6-14 «Исследование топологии и динамики развития магнитных полей на Солнце» (АН РУз., 2014-2015). Впервые полученные результаты исследования различий между двумя типами КЯТ на протяжении 11-летнего цикла СА, а также эволюции КЯТ и МБ внутри КД стали основой гранта ЕФ-ФА-Ф006 «Исследование связи мелкомасштабных образований солнечной короны с крупномасштабными магнитными полями» (АН РУз, 2015–2017). Результаты исследования ориентации и эволюции избранных КЯТ, распределения по широтам двух типов КЯТ, а также методы анализа и разработанная аналитическая модель магнитной трубки в стационарной плазме, использованы при выполнении гранта в рамках Государственной научно – технической программы фундаментальных исследований ВА-ФА-Ф-2-009 «Солнечная активность: структура и эволюция корональных ярких точек, механизм связи с локальными магнитными полями» (2017–2020).

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 диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 137 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).

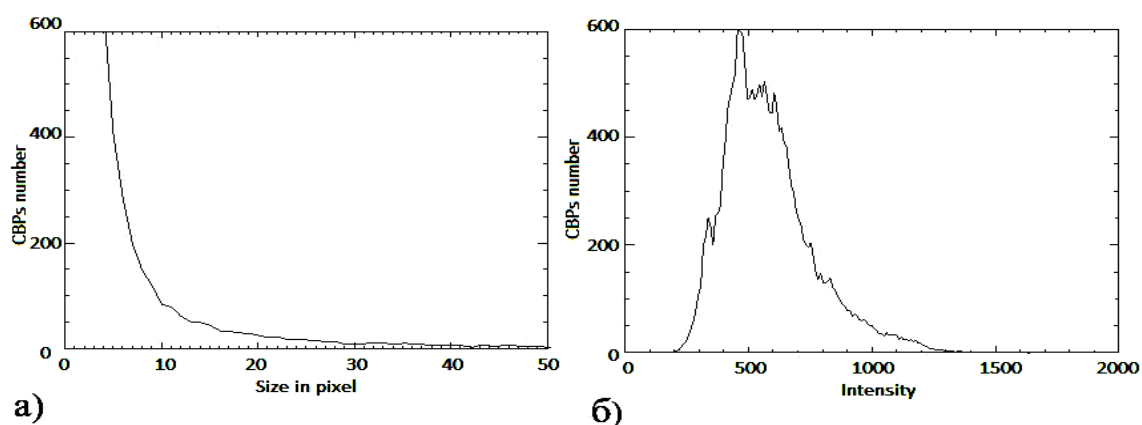


Рис. 1. Графики распределения числа: а) КЯТ по размеру (в пикселях); б) КЯТ по значению интенсивности.

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.

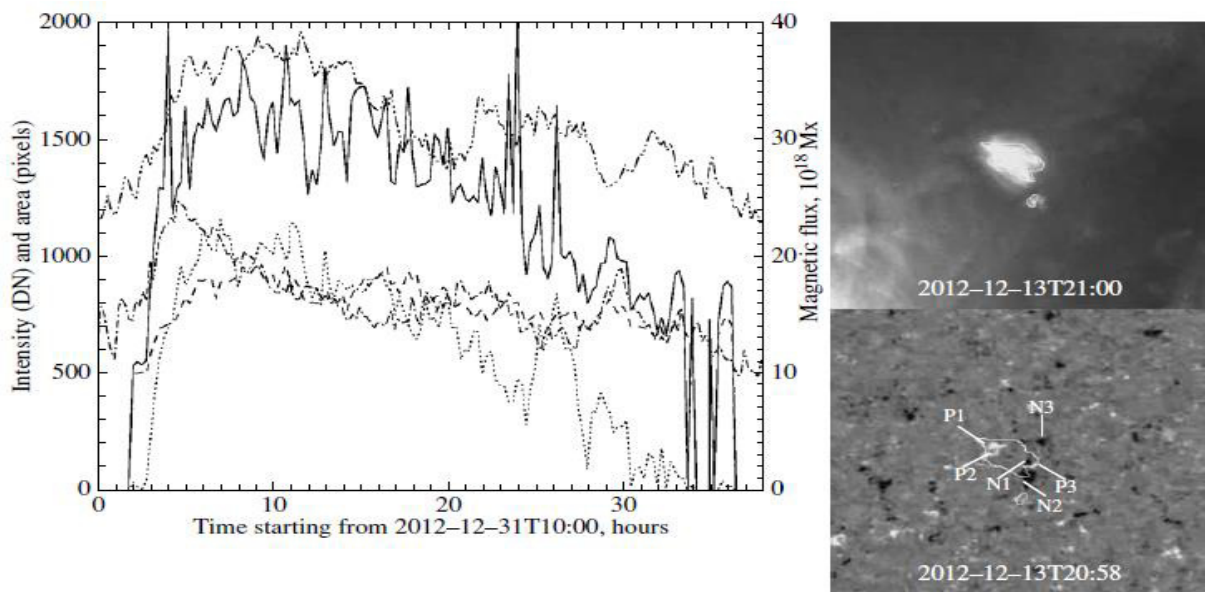


Рис. 2. Слева кривые изменения значения отрицательного (тире-многоточие-тире) и положительного (точка-тире) потока, пунктиром выделена площадь КЯТ в пикселях, максимальная интенсивность (сплошная линия) и средняя интенсивность КЯТ №1 (пунктир), взятая в DN. Справа белым обозначен контур КЯТ (сверху справа) 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 (К. 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 $1\text{--}5 \times 10^{19}$ 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.

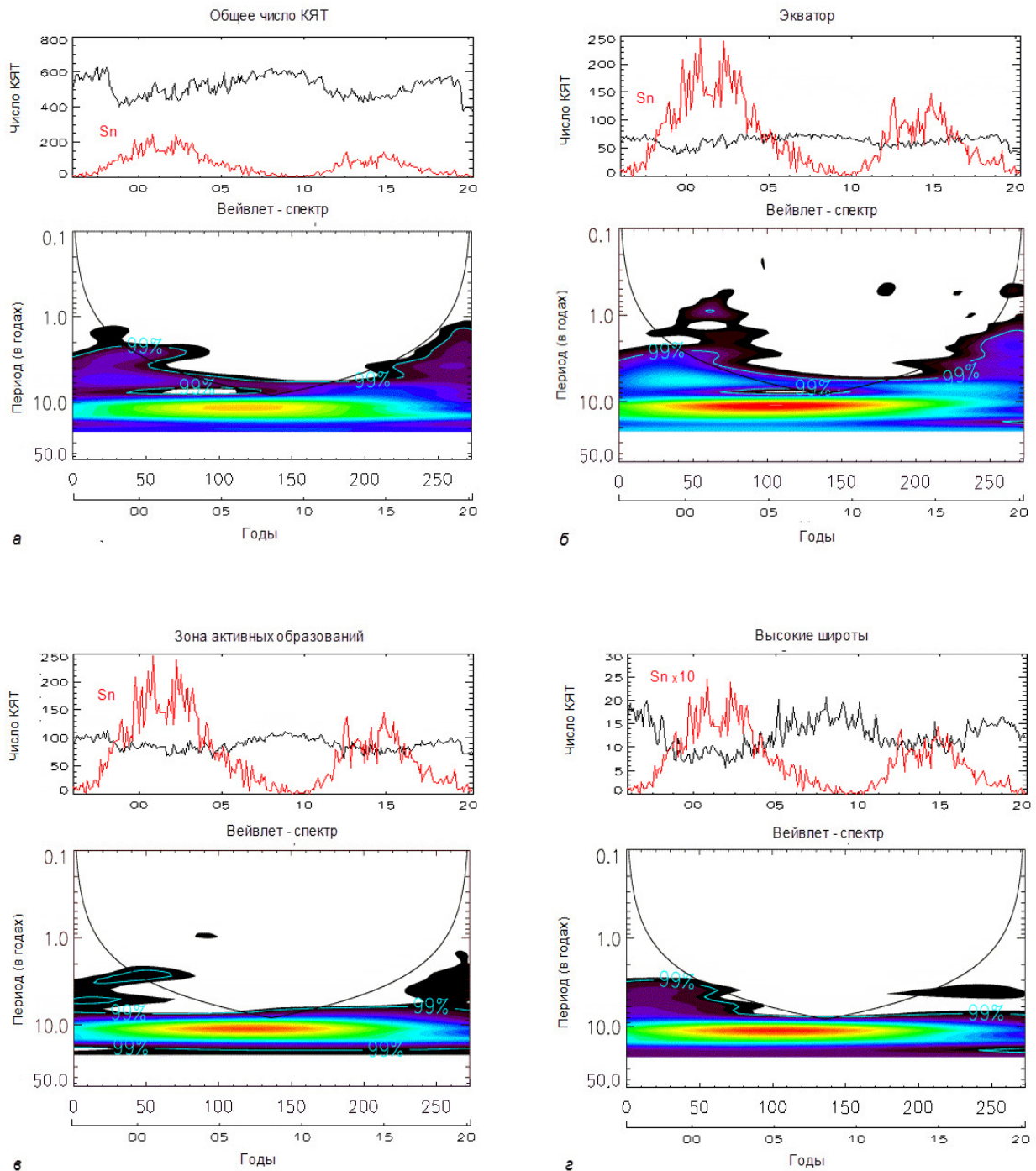


Рис. 3. Изменения числа КЯТ (сверху) и соответствующий вейвлет – спектр временного профиля числа КЯТ (внизу) на различных широтах: а – суммарно на всех широтах; б – экваториальная зона; в – зона активных образований; г – высокие широты. На верхних графиках красным цветом выделено изменение среднемесячных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

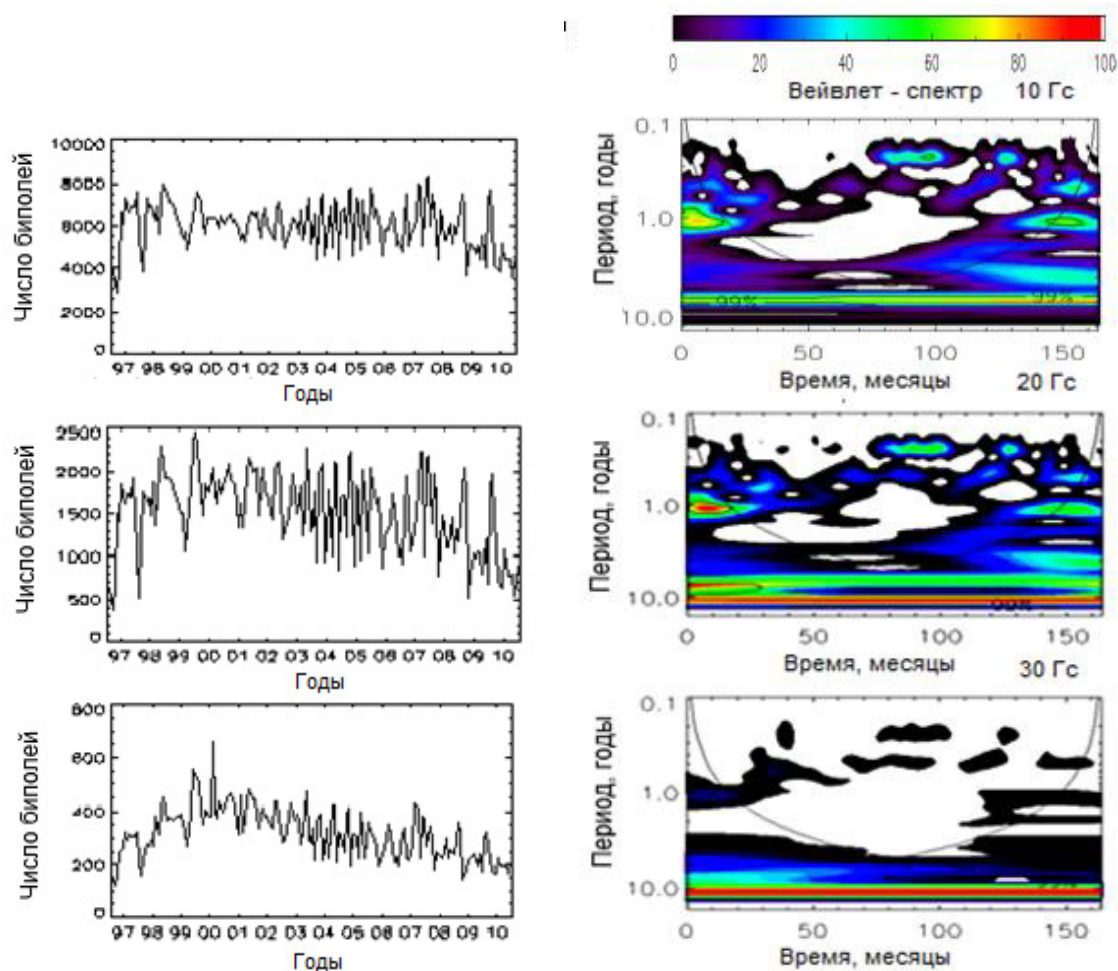


Рис. 4. Слева представлены графики изменения среднемесячного числа МБ различной напряженности, справа соответствующие вейвлет - спектры.

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.

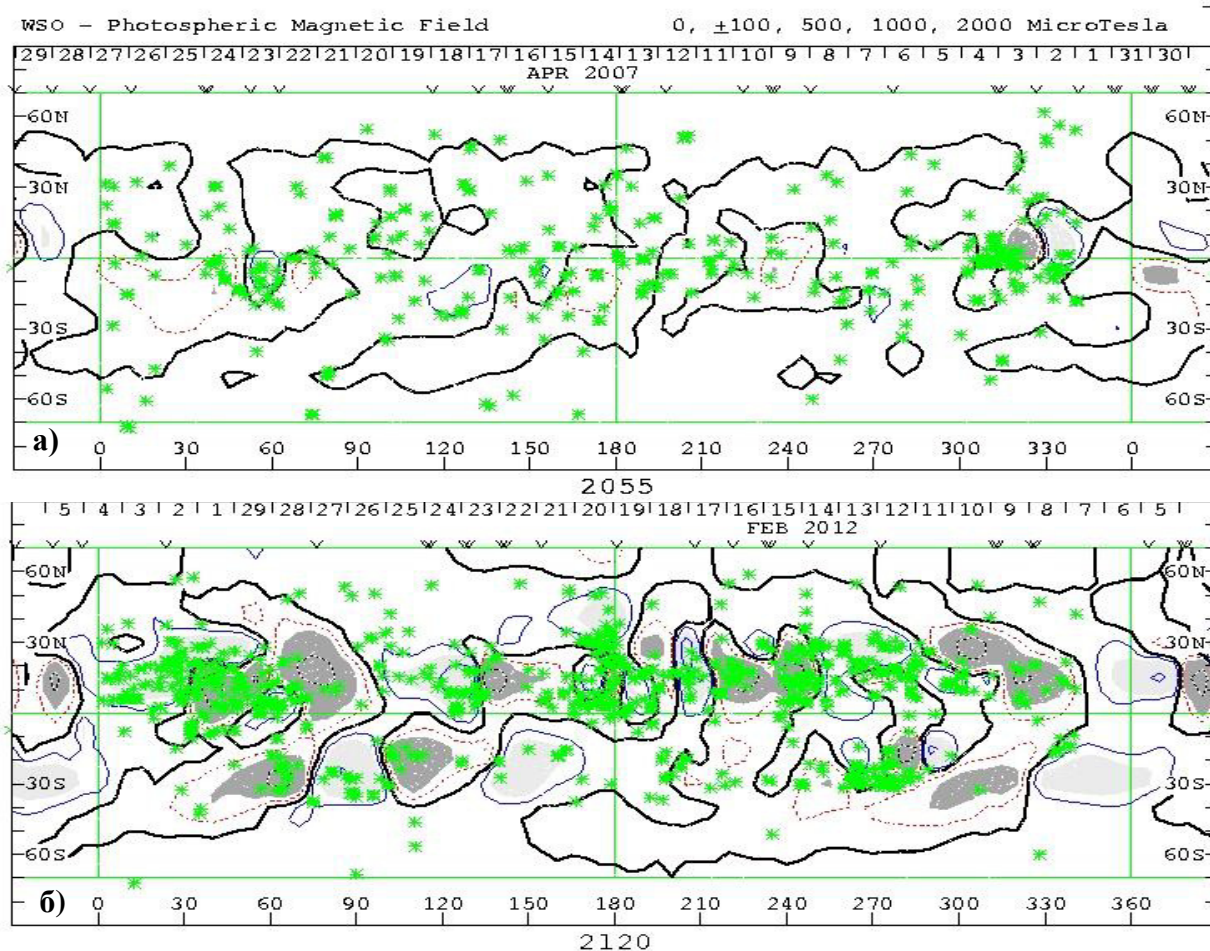


Рис. 5. Пространственное распределение КЯТ II типа («яркие»): а) в минимуме СА; б) в максимуме СА 23 солнечного цикла.

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 6 - 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 PhD.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– 2024

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 Shukhrat 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 «____» _____ 2024 at _____ 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 _____). Address: Astronomical Institute, 33 Astronomy st., 100052, Tashkent, phone: (+99871) 235-81-02.

The abstract of dissertation was distributed on «____» _____ 2024.
(Registry record No. _____ dated “____” _____ 2024).

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 and evolution of the CBPs, their spatio-temporal distribution, connection with the large-scale magnetic field (LSMF), latitudinal-temporal analysis of long-periodic variations (oscillations) of the CBPs and MBs over solar cycles 23 and 24. Also calculation of the main parameters of the magnetic tube within the framework of an alternative model.

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: statistical analysis, wavelet transform by the Morlet function, modeling, specialized methods of stream processing of large volumes of solar images and magnetograms, determination of coordinates and physical characteristics.

The scientific novelty of the research is as follows:

an extensive database of CBPs and MBs observations has been created, which uses continuous and dense data arrays obtained for more than a quarter of a century (from 1996 to 2023);

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;

the features of the spatio-temporal distribution of CBPs and MBs have been studied;

the evolution of the CBP- MB pair under CH conditions has been considered in detail;

for the first time a wavelet analysis of MBs and two types of CBPs has been carried out;

calculated the main parameters of magnetic tube within the framework of an alternative phenomenological model.

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) were used in the works of a number of foreign authors (references in the foreign scientific journal *Astronomy&Astrophysics*, Volume 587, id.A29, 20161; *Astronomy&Astrophysics*, Volume 678, id.A184, 20232) when: 1) obtaining the profile of the solar rotation velocity and studying the meridional flows based on SDO/AIA data for ≈ 6 months; 2) studying the statistical properties of 346 CBPs and their visibility in the EUV channels of the AIA instrument, testing various profiles of the CBP rotation velocity to clarify the dependence with the differential rotation of the photosphere.

The main results were used in the framework of fundamental projects: No. F.6-14 “Investigation of the topology and dynamics of magnetic fields on the Sun” (Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, 2014–2015), EF-FA-F006 “Study of the relationship between small-scale formations of the solar corona and large-scale magnetic fields” (Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, 2015–2017), VA-FA-F-2-009 “Solar activity: structure and evolution of bright points, mechanism of connection with local magnetic fields” (2017–2020).

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 143 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (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(2014) № 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 бўлим (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., 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.