

**ASTRONOMIYA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH
ASOSIDA TUZILGAN BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

ASTRONOMIYA INSTITUTI

KARACHIK NINA VALEREVNA

**TOJ YORQIN NUQTALARINING IKKI TURI: QUYOSHNING KATTA
KO‘LAMLI VA MAHALLIY FAOLLIGI BILAN BOG‘LIQLIGI**

01.03.01 - Astronomiya

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FAN DOKTORI (DSc)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

**Fizika-matematika fanlari bo‘yicha fan doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора наук (DSc) по физико-
математическим наукам**

**Content of dissertation abstract of Doctor of Science (DSc) on physical-
mathematical sciences**

Karachik Nina Valerevna

Toj yorqin nuqtalarining ikki turi: Quyoshning katta k’olamli va mahalliy
faolligi bilan bog‘liqligi..... 3

Карачик Нина Валерьевна

Два типа корональных ярких точек: связь с крупномасштабной и
локальной солнечной активностью..... 27

Karachik Nina Valerevna

Two types of coronal bright points: links to large-scale and local solar
activity 51

E’lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 57

**ASTRONOMIYA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH
ASOSIDA TUZILGAN BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

ASTRONOMIYA INSTITUTI

KARACHIK NINA VALEREVNA

**TOJ YORQIN NUQTALARINING IKKI TURI: QUYOSHNING KATTA
KO'LAMLI VA MAHALLIY FAOLLIGI BILAN BOG'LIQLIGI**

01.03.01 - Astronomiya

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO'YICHA FAN DOKTORI (DSc)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

Fizika-matematika fanlari bo'yicha fan doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2026.1.DSc/FM319 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Doktorlik 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 maslahatchi:

Egamberdiyev Shuxrat Abdumannapovich,
fizika-matematika fanlari doktori, O'zbekiston
Respublikasi Fanlar akademiyasi akademigi

Rasmiy opponentlar:

Ahmedov Bobomurat Jo'rayevich,
fizika-matematika fanlari doktori, O'zbekiston
Respublikasi Fanlar akademiyasi akademigi

Grigoryev Viktor Mixaylovich,
fizika-matematika fanlari doktori, professor, Rossiya Fanlar
akademiyasining muhbir a'zosi

Toshmatov Bobir Abdumanonovich,
fizika-matematika fanlari doktori

Yetakchi tashkilot:

**Rossiya Fanlar akademiyasining Qrim Astrofizika
Observatoriyasi, Rossiya**

Dissertatsiya himoyasi Astronomiya instituti huzuridagi PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 raqamli Ilmiy kengash asosida tuzilgan bir martalik Ilmiy kengashning 2026-yil "24" avgust soat 14:00 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 (100-D 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 2026-yil "10" avgust kuni tarqatildi.
(2026-yil "10" avgust dagi 4 - raqamli reestr bayonnomasi).

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

K.E. Ergashev,
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik ilmiy kengash
ilmiy kotibi, PhD, katta ilmiy xodim

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

KIRISH (fan doktori (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda hozirgi kunda Quyoshdagi toj yorqin nuqtalarni (TYN) o'rganish bo'yicha ishlar Quyosh-Yer aloqalari va kosmik ob-havo masalalariga bo'lgan global qiziqishning ortishi bilan bog'liq holda - alohida dolzarblik kasb etmoqda va bu Xalqaro Astronomiya Ittifoqi (XAI)¹ strategiyalarida ham aks etgan. Toj yorqin nuqtalar quyosh toji ichida sodir bo'layotgan jarayonlarning muhim ko'rsatkichlari hisoblanadi va ular quyidagi quyosh faolligi namoyonlari bilan chambarchas bog'liq bo'lishi mumkin: chaqnashlar, koronal massa tashlanmalari, quyosh shamolining tezlanishi. XAI quyosh faolligini va uning Yer magnitosferasiga ta'sirini o'rganish zarurligini ta'kidlaydi, chunki bu kosmik apparatlar, sun'iy yo'ldosh aloqasi va yer usti texnologiyalarini geomagnit bo'ronlardan himoya qilish uchun muhim ahamiyatga ega. Shu munosabat bilan toj yorqin nuqtalarni o'rganish muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Jahondagi yetakchi ilmiy-tadqiqot markazlarida toj yorqin nuqtalarni tadqiq etish ularning shakllanish va evolyutsiya mexanizmlarini aniqlash, magnit qayta ulanish jarayonlari, Quyosh toji qizishi hamda Quyosh shamolining hosil bo'lishidagi rolini o'rganishga yo'naltirilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada yuqori fazoviy va vaqt bo'yicha aniqlikka ega kosmik kuzatuvlar asosida toj yorqin nuqtalarini avtomatik aniqlash usullarini ishlab chiqish, uzoq muddatli kataloglarni yaratish, ularning magnit maydonlar va quyosh faolligining boshqa namoyonlari bilan o'zaro bog'liqligini aniqlash hamda kosmik ob-havo modellarini takomillashtirish ustuvor yo'nalishlardan hisoblanadi. Biroq turli tipdagi toj yorqin nuqtalarning uzoq muddatli evolyutsiyasi, quyosh faolligi sikli davomida ularning fazoviy-vaqt bo'yicha taqsimlanish qonuniyatlari, global va lokal magnit maydon hosil bo'lish jarayonlari bilan bog'liqligi hamda shimoliy va janubiy yarimsharlardagi assimetriyasining fizik tabiati yetarli darajada tizimli o'rganilmagan. Shu sababli toj yorqin nuqtalarning turli tiplarini aniqlash, ularning evolyutsiyasi, quyosh faolligining boshqa namoyonlari bilan bog'liqligi hamda global va lokal dinamo jarayonlari bilan o'zaro aloqadorlik qonuniyatlarini aniqlash dolzarb ilmiy masalalardan biri hisoblanadi.

Respublikamizda kosmik faoliyatni hamda fundamental fanlarni rivojlantirishga alohida e'tibor qaratilmoqda. 2022–2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida ilm-fan va innovatsion faoliyatni rivojlantirish, fundamental tadqiqotlarni qo'llab-quvvatlash hamda yuqori texnologiyalarni joriy etish ustuvor vazifalar sifatida belgilangan. Shuningdek, «O'zbekiston – 2030» strategiyasida ilmiy salohiyatni mustahkamlash, kosmik faoliyatni rivojlantirish va zamonaviy ilmiy tadqiqotlarni kengaytirish muhim yo'nalishlardan biri sifatida belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda toj yorqin nuqtalarning fizik xususiyatlari, shakllanish mexanizmlari, uzoq muddatli

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

evolyutsiyasi, global va lokal magnit maydon hosil bo'lish jarayonlari hamda quyosh faolligining boshqa ko'rinishlari bilan bog'liqlik qonuniyatlarini aniqlash, shuningdek kosmik ob-havo modellarining aniqligini oshirish muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son «2022–2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi Farmoni², 2023-yil 11-sentabrdagi PF-158-son «O'zbekiston – 2030» strategiyasi to'g'risidagi Farmoni³, 2021-yil 19-martdagi PQ-5032-son «Fizika sohasida ta'lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi Qarori⁴, 2025-yil 13-yanvardagi O'RQ-1017-son «Kosmik faoliyat to'g'risida»gi Qonuni⁵, shuningdek, mamlakatda fundamental fanlarni rivojlantirish, ilmiy tadqiqotlar samaradorligini oshirish, zamonaviy ilmiy infratuzilmani takomillashtirish, yuqori malakali ilmiy kadrlarni tayyorlash, xalqaro ilmiy hamkorlikni kengaytirish hamda kosmik texnologiyalar va kosmik tadqiqotlarni rivojlantirishga qaratilgan davlat dasturlari va konsepsiyalarida belgilangan ustuvor yo'nalishlar doirasidagi vazifalarni amalga oshirishga, hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalar rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot ishi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-sonli “Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasi 2022–2026 yillarga mo'ljallangan” Farmonida, 2021 yil 19 martdagi PQ-5032-sonli “Fizika sohasida ta'lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida” Qarorida belgilangan vazifalarni amalga oshirishga xizmat qiladi hamda O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025 yil 13 yanvarda imzolangan “Kosmik faoliyat to'g'risida”gi O'RQ-1017-sonli Qonunida⁵ belgilangan maqsadlarga va ushbu faoliyatga oid boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarga mos keladi.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Quyosh faolligi, tojning tuzilishi va dinamikasi, toj yorqin nuqtalari, toj teshiklari hamda ularning quyosh faolligining boshqa namoyonlari bilan o'zaro bog'liqligini o'rganish bilan dunyoning ko'plab yetakchi ilmiy va ta'lim markazlari shug'ullanadi, jumladan, AQShda - Milliy Quyosh observatoriyasi, Milliy atmosfera tadqiqotlari markazi, Garvard-Smitson astrofizika markazi, Kembrij, Kolumbiya universitetining Kolumbiya astrofizika laboratoriyasi, Montana shtati universiteti, Nyu-Meksiko shtati universiteti. Rossiyada - Rossiya Fanlar akademiyasi Sibir bo'limining Quyosh–Yer fizikasi instituti, Rossiya Fanlar akademiyasining Bosh (Pulkovo) astronomik observatoriyasi, Rossiya Fanlar

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “2022–2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida”gi Farmoni. <https://lex.uz/uz/docs/-5841063>

³ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi PF-158-son “O'zbekiston — 2030” strategiyasi to'g'risida”gi Farmoni. <https://lex.uz/uz/docs/-6600413>

⁴ <https://lex.uz/docs/-5338558>

⁵ O'zbekiston Respublikasining Qonuni «Kosmik faoliyat to'g'risida», 13.01.2025 yildagi O'RQ-1017-son <https://lex.uz/uz/docs/-7319204>

akademiyasining N.V. Pushkov nomidagi Yer magnitizmi, ionosfera va radioto'liqlar tarqalishi instituti, Rossiya Fanlar akademiyasining Qrim astrofizika observatoriyasi. Yevropada - Quyosh tizimini o'rganish bo'yicha Maks Plank instituti (Germaniya), Zagreb universitetining Xvar observatoriyasi (Xorvatiya), Graz universiteti fizika instituti (Avstriya), Kanar orollari astrofizika instituti (Ispaniya), Matematik plazma astrofizikasi markazi (Belgiya), Oslo universitetining Rosseland quyosh fizikasi markazi (Norvegiya), Sent-Endryus universitetining matematika va statistika maktabi (Buyuk Britaniya), Aberistuit universiteti hamda Uorik universitetining termoyadro sintezi, kosmos va astrofizika markazi (Buyuk Britaniya). Xitoyda - Pekin universitetining Yer va kosmik fanlar fakulteti, Xitoy milliy astronomik observatoriyasi, Shandun Szyatong universiteti, Purpurlik tog' observatoriyasi, Shandun universitetining kosmik fanlar instituti. Shuningdek, Seul milliy universitetining fizika va astronomiya kafedrası (Koreya Respublikasi), Hindiston kosmik fanlar bo'yicha ilg'or tadqiqotlar markazi va Hindiston astrofizika instituti (Hindiston), Milliy astronomik observatoriya va Suginami ilmiy markazi (Yaponiya), Zanzan universiteti (Eron), Yevgeniy Xaradzye nomidagi Gruziya milliy astrofizika observatoriyasi (Gruziya), O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining Ulug'bek nomidagi Astronomiya instituti va boshqalar.

Ushbu tadqiqot sohasi bo'yicha yetakchi mutaxassislar qatoriga Golub L., Krieger A.S., Harvey K.L., Vaiana G.S., Habbal Sh.R., Withbroe G.L., Sheeley N.R., Longcope D., Aver E., Kankelborg C., Pevtsov A.A., McAteer J., Boucheron L.E., Osorno M., Malanushenko A.V., Saar S., DeLuca E., Weber M., McIntosh S.W. (AQSh); Nagovitsin Yu.A., Obridko V.N., Tlatov A.G., Abramenko V.I., Tsap Yu.T., Yazev S.A., Kutsenko A.S., Plotnikov A.A., Zagaynova Yu.D., Kashapova L.K. (Rossiya); Madjarska M.S., Sudar D., Brajša R., Skokić I., Temmer M., Kraus I., Bourdin P., Ramsey B., Morgan H., Verwichte E., Nóbrega-Siverio D., Moreno-Insertis F., Van Doorselaere T., Wiegelmann T., Mackay D.H., Galsgaard K. (Yevropa); Gao Y., Tian H., Chen Y., Xie H., Li D., Ning Z., Su Y., Huang Z., Xia L., Li B., Fu H., Jiao F., Hou Z. (Xitoy) va boshqalar kiradi.

TYN XX asrning 60-yillari oxiri - 70-yillari boshida kashf etilganidan buyon Quyosh fizikasi sohasidagi olimlar e'tibor markazida bo'lib kelmoqda va hozirgi kungacha faol o'rganilmoqda. Ularning fizik xususiyatlari (o'lchami, temperaturasi, yashash vaqti va boshqalar), fotosferadagi magnit bipollar bilan bog'liqligi, ularning umumiy sonining quyosh sikli fazalariga bog'liq ravishda o'zgarishi va boshqa masalalar yetarli darajada o'rganilgan. TYN shakllanishi uchun turli xil modellar taklif qilingan.

Toj yorqin nuqtalari haqidagi yangi bilimlar asosan SkyLab, Yohkoh, SOHO, TRACE, Hinode, STEREO, SDO va boshqa kosmik observatoriyalarni uchirish natijasida kengayib bordi. Fazoviy va vaqt bo'yicha tobora ortib borayotgan aniqlikdagi ma'lumotlar hamda turli to'liqlar uzunliklaridagi (radio diapazondan ultrabinafsha va rentgen diapazonigacha) kuzatuv ma'lumotlarini magnit maydonlar haqidagi

ma'lumotlar bilan solishtirish asosida toj yorqin nuqtalarining shakllanishi va evolyutsiyasining tobora realistik modellari ishlab chiqildi. Qisman TYN ning tojning umumiy energiya balansiga qo'shgan hissassi, magnit maydonning global sirkulyatsiya jarayonlaridagi roli, quyosh shamoli generatsiyasi hamda toj teshiklar va faol sohalar bilan bog'liqligi masalalari o'rganilgan.

Toj yorqin nuqtalarni va ularning quyosh faolligi bilan bog'liqligini o'rganishga o'zbek olimlari ham o'z hissasini qo'shganlar. Tojning rentgen diapazonidagi nuqtaviy tranzientlarini o'rganish bilan SSSRda birinchilardan bo'lib akademik Sh.A. Egamberdiev 80-yillar boshidayoq shug'ullangan, keyinchalik esa bu yo'nalishdagi ishlar professor I.S. Sattarov rahbarligidagi jamoa tomonidan davom ettirilgan. O'zbek tadqiqotchilari tomonidan olingan asosiy natijalar quyidagilardan iborat: yorqin rentgen nuqtalarining xromosfera to'ri yacheykalariga nisbatan lokalizatsiyasi aniqlangan; Yohkoh, SOHO, SDO va boshqa apparatlar yordamida olingan Quyoshning raqamli tasvirlarida TYN ni avtomatik aniqlash usuli ishlab chiqilgan; TYN umumiy sonining quyosh faolligi sikli bilan o'zgarish egri chizig'i olingan; ushbu egri chiziqning quyosh faolligi sikli bilan antikorrelyatsiyasi faqat ko'rinish effekti bilan emasligi ko'rsatilgan; TYN harakatini kuzatish orqali tojning differensial aylanishi o'rganilgan va hokazo.

Mazkur mavzuga bo'lgan qiziqish susaymaganiga qaramay, ko'plab masalalar hanuzgacha ochiq qolmoqda va faol tadqiqot yo'nalishlaridan biri bo'lib qolmoqda. Bunday masalalarga quyidagilar kiradi: TYN ning quyosh faolligining global jarayonlaridagi roli, toj teshiklari bilan o'zaro ta'siri, tojning qizishiga va quyosh shamolining tezlanishiga qo'shgan hissassi, TYN ning faol sohalar, supergranulyatsiya yacheykalari va tolalar bilan bog'liqligi.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya instituti va Toshkent davlat pedagogika universitetining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari doirasida quyidagi ilmiy loyihalar asosida bajarilgan: EΦ-ΦA-Φ006 «Quyosh tojining kichik masshtabli tuzilmalarining katta masshtabli magnit maydon bilan bog'liqligini o'rganish» (2016-2017); F-6-14 «Quyoshdagi magnit maydonlarning topologiyasi va rivojlanish dinamikasini o'rganish» (2014-2015); OT-Φ2-007 «Toj yorqin nuqtalarning evolyutsiyasi va nurlanish mexanizmini ilmiy-uslubiy o'rganish» (2012-2016); VA-FA-F-2-009 «Quyosh faolligi: toj yorqin nuqtalarning tuzilishi va evolyutsiyasi, ularning lokal magnit maydonlar bilan bog'liqlik mexanizmi» (2017-2020).

Tadqiqotning maqsadi Quyosh faolligi darajasiga bog'liq holda TYNning shakllanish qonuniyatlari va ularning fazoviy-vaqt taqsimotini aniqlash, ularning quyosh faolligi jarayonlaridagi rolini baholash, jumladan quyosh shamolining tezlanishidagi ishtiroki, toj teshiklari va faol sohalar bilan bog'liqligi, shuningdek turli

masshtablardagi magnit maydonlar evolyutsiyasiga qo'shgan umumiy hissasini aniqlashdan iborat.

Tadqiqot vazifalarini quyidagi bloklarga ajratish mumkin:

Quyosh tojining kichik masshtabli tuzilmalarini o'rganish, ya'ni:

- Toj yorqin nuqtalarining xususiyatlarini statistik tahlil qilish va ularni tiplashtirish uchun mumkin bo'lgan qonuniyatlarni aniqlash;
- turli tipdagi Toj yorqin nuqtalarining fazoviy-vaqt taqsimotini o'rganish;
- Toj yorqin nuqtalari taqsimotidagi shimol-janub assimetriyasining xususiyatlarini o'rganish;
- turli tipdagi Toj yorqin nuqtalarining shakllanishi uchun mas'ul bo'lgan fizik mexanizmlarni taklif etish;

Toj yorqin nuqtalarning katta masshtabli tuzilmalar bilan bog'liqligini o'rganish:

- Toj yorqin nuqtalarning toj teshiklari va tez quyosh shamoli bilan bog'liqligini o'rganish;
- toj teshiklarining shakllanish mexanizmlarini va ularning quyosh faolligi sikllaridagi rolini o'rganish;
- Toj yorqin nuqtalarining quyosh faolligining boshqa namoyonlari, xususan quyosh dog'lari bilan bog'liqligini tahlil qilish;

Kuzatuv bazasi va instrumental validatsiya:

- turli omillarning, jumladan instrumental effektlarning, turli davrlarda quyosh faolligining asosiy namoyonlarini kuzatishga ta'sirini aniqlash;
- O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya instituti arxividagi original kuzatuv ma'lumotlari asosida quyosh faolligining asosiy indeksleri bo'yicha elektron arxiv yaratish;
- Astronomiya instituti kuzatuvlar arxivi asosida quyosh faolligining uzoq davrli o'zgarishlarini o'rganish;

Tadqiqot obyekti ekstremal ultrabinafsha diapazonda kuzatiladigan quyosh toji hamda uning tuzilishini shakllantiruvchi magnit maydonlardan iborat.

Tadqiqot predmeti quyosh tojining kichik masshtabli tuzilmalari - toj yorqin nuqtalari (TYN), ularning evolyutsiyasi va tojdagi hamda quyosh atmosferasining quyi qatlamlaridagi boshqa tuzilmalar va jarayonlar bilan o'zaro bog'liqligidan iborat.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida Quyoshning raqamli tasvirlarini qayta ishlashning zamonaviy usullari, vaqt qatorlarini tahlil qilishning matematik usullari, tasvirlarni konvolyutsiya (svyortka) qilish usullari, fotosferadagi magnit maydonni potensial manba-sirt maydoni (Potential Field Source Surface, PFSS) aproksimatsiyasi orqali ekstrapolyatsiya qilish usuli qo'llanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat, ilk bor:

statistik tahlil asosida toj yorqin nuqtalarini yorqin va xira turlarga ajratish metodikasi ishlab chiqilgan hamda ularni ajratish mezonini taklif qilingan, TYNlarining ikki turi mavjudligi fizik jihatdan asoslangan va ularning mos ravishda Quyosh global siklik hamda lokal turbulent dinamo jarayonlari bilan bog'liqligi ko'rsatilgan;

SOHO kosmik observatoriyasi ma'lumotlari asosida TYNlarining turlari bo'yicha fazoviy-vaqt taqsimoti hamda ikki Quyosh siklidan ortiq davrdagi shimol–janub assimetriyasi aniqlangan, bunda yorqin TYNlarining Shpyorer qonuniga bo'ysunishi va quyosh dog'lari assimetriyasiga yaqin qonuniyatlarga ega ekanligi, xira TYNlari uchun esa bunday bog'liqlik kuzatilmasligi ko'rsatilgan hamda ularning shakllanishining ikki xil fizik mexanizmi mavjudligi asoslangan;

toj yorqin nuqtalari, toj teshiklari va tez Quyosh shamoli o'rtasidagi bog'liqlik aniqlangan, bunda tez Quyosh shamoli tezligining toj teshiklari umumiy maydoni bilan eng yuqori korrelyatsiyaga ega ekanligi, TYN esa Quyosh shamolini tezlashtirishning asosiy omili emasligi ko'rsatilgan;

faol sohalar qoldiqlarida izolyatsiyalangan nopolyar toj teshiklarining shakllanish xususiyatlari aniqlangan hamda Quyosh sikllari almashinuvida toroidal magnit maydondan poloidal magnit maydonga o'tishning muqobil mexanizmi taklif qilingan;

teleskop aperturasi, tarqoq yorug'lik va kuzatuvchining ko'rish xususiyatlarining kuzatiladigan quyosh dog'lari soni, ularning guruhlar soni va maydoniga ta'siri aniqlangan, tarixiy va zamonaviy quyosh kuzatuvlarini o'zaro taqqoslash imkonini beruvchi funksional bog'liqliklar olingan hamda ularning amaliy qo'llanishi asoslangan;

neytral chiziq bo'ylab magnit maydon gradientining quyosh tolalarining shakllanishiga ta'siri aniqlangan, tolalar mavjud va mavjud bo'lmagan hududlarning magnit xususiyatlari taqqoslangan hamda neytral chiziq bo'ylab magnit maydonning gorizontaal gradienti quyosh tolalari shakllanishini belgilovchi yagona omil emasligi asoslangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

toj yorqin nuqtalarining maksimal intensivligiga asoslangan ularni yorqin va xira turlarga ajratish klassifikatsiyasi hamda avtomatik tasniflash metodikasi ishlab chiqilgan, ular uzoq muddatli kuzatuv ma'lumotlarini qayta ishlash va statistik tahlil qilishda qo'llanishi mumkin;

teleskop aperturasi, tarqoq yorug'lik va kuzatuvchining ko'rish xususiyatlariga bog'liq holda kuzatiladigan quyosh dog'lari soni, ularning guruhlar soni hamda maydonining o'zgarishini tavsiflovchi funksional bog'liqliklar olingan, ular tarixiy va zamonaviy quyosh kuzatuvlarini o'zaro taqqoslashda qo'llanishi mumkin;

Toshkentda olib borilgan quyosh kuzatuvlari asosida quyosh faolligining asosiy indekslarini o'z ichiga olgan elektron katalog yaratilgan va ochiq foydalanishga joylashtirilgan, u quyosh faolligining uzoq muddatli o'zgarishlarini hamda fanlararo tadqiqotlarni amalga oshirishda qo'llanishi mumkin;

Quyosh atmosferasining magnit tuzilishini tavsiflovchi neytral chiziq bo'ylab magnit maydon gradientining afzal qiymatlar diapazoni aniqlangan hamda Quyosh sikllari almashinuvida toroidal magnit maydondan poloidal magnit maydonga o'tishning muqobil mexanizmi taklif qilingan, ular Quyosh magnit maydonining evolyutsiyasini modellashtirishda qo'llanishi mumkin.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi ma'lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilishning turli zamonaviy usullaridan foydalanilganligi, kuzatuvchining ta'siri minimal darajada bo'lishi, natijalarni turli asboblardan - kosmik va yer usti - hamda turli diapazonlarda olingan ma'lumotlar bilan solishtirish, olingan natijalarni boshqa mualliflar natijalari bilan puxta tekshirish, shuningdek katta hajmdagi ma'lumotlardan uzoq vaqt oralig'ida foydalanilganligi bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati toj yorqin nuqtalarining tabiatiga oid tasavvurlarni rivojlantirish, ularning shakllanishining turli mexanizmlari mavjudligini asoslash bilan belgilanadi, bu esa quyosh tojidagi magnit tuzilmalarning evolyutsiya jarayonlarini, ularning quyosh faolligi sikllaridagi rolini va quyosh dinamo nazariyasiga qo'shgan hissasini chuqurroq tushunishga imkon beradi. Olingan natijalar, shuningdek, toj teshiklarining shakllanish mexanizmlarini va ularning quyosh shamoli bilan bog'liqligini aniqlashtirishga, shuningdek, quyosh dog'lari kuzatuvlarining uzoq muddatli qatorlariga instrumental omillarning ta'sirini aniqlashga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati toj yorqin nuqtalarining aniqlangan xususiyatlari va ularning shakllanish sharoitlarini, shuningdek quyosh faolligining boshqa namoyonlari - toj teshiklari va tolalarni - quyosh tojining modellari aniqligini oshirish hamda kosmik ob-havo va Yerga yaqin kosmik fazoga ta'sir ko'rsatuvchi energiya va plazmaning keskin ajralishlarini yanada aniq prognoz qilishda qo'llash imkoniyati bilan belgilanadi. Toshkentda olingan noyob arxiv kuzatuvlariga asoslangan quyosh faolligining asosiy indeksleri bo'yicha yaratilgan elektron katalog quyosh faolligining uzoq muddatli tendensiyalarini o'rganish, Quyoshning Yer iqlimidagi global o'zgarishlarga ta'sirini tahlil qilish hamda quyosh faolligi bilan bog'liq boshqa fanlararo tadqiqotlarda qo'llanishi mumkin.

Tadqiqot natijalarini joriy qilinishi. Dissertatsiya doirasida olingan ilmiy natijalar asosida:

Koronal teshiklar ichidagi koronal yorqin nuqtalar va Quyosh shamoli o'rtasidagi bog'liqlikni o'rganishga bag'ishlangan *Astrophysical Journal* jurnalida 2011-yilda chop etilgan "Solar Wind and Coronal Bright Points inside Coronal Holes" nomli maqolaga 21 ta iqtibos keltirilgan.

Faol oblastlar qoldiqlarida koronal teshiklarning shakllanish jarayonlarini tadqiq etishga bag'ishlangan *Astrophysical Journal* jurnalida 2010-yilda chop etilgan "Formation of Coronal Holes on the Ashes of Active Regions" nomli maqolaga 31 ta iqtibos keltirilgan.

Quyosh dog'lari va ularning guruhlari sonini aniqlashga teleskop aperturasi, tarqalgan yorug'lik hamda kuzatuvchining ko'rish xususiyatlari ta'sirini baholashga bag'ishlangan *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* jurnalida 2019-yilda chop etilgan "The Effect of Telescope Aperture, Scattered Light and Human Vision on Early Measurements of Sunspot and Group Numbers" nomli maqolaga 13 ta iqtibos keltirilgan.

Quyosh dog‘lari sonini qayta kalibrlash bo‘yicha xalqaro ilmiy hamkorlik doirasida tayyorlangan Solar Physics jurnalida 2023-yilda chop etilgan “Recalibration of the Sunspot-Number: Status Report” nomli maqolaga 72 ta iqtibos keltirilgan.

Koronal yorqin nuqtalarning ikki yarimshardagi soni va maydonining assimetriyasini tadqiq etishga bag‘ishlangan Monthly Notices of the Royal Astronomical Society jurnalida 2025-yilda chop etilgan “Hemispheric Asymmetry of Coronal Bright Point’s Number and Area over Solar Cycles 23–24” nomli maqolaga 4 ta iqtibos keltirilgan.

Magnit neytral chiziqlari gradientlari hamda filamentlarning shakllanish mexanizmlarini o‘rganishga bag‘ishlangan Solar Physics jurnalida 2014-yilda chop etilgan “Properties of Magnetic Neutral Line Gradients and Formation of Filaments” nomli maqolaga 5 ta iqtibos keltirilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatyasi. Tadqiqot natijalari ma’ruzalar shaklida taqdim etilib, 30 dan ortiq xalqaro va respublika ilmiy-amaliy konferensiyalarida, shuningdek O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya instituti seminarlarida (2013–2023), Milliy Quyosh observatoriyasida (Sunspot 2010–2011 y., Boulder 2018-y., AQSh), Xitoy Fanlar akademiyasining Purpurlik tog‘ observatoriyasida (Nankin 2024-y., Xitoy), Xalqaro kosmik fanlar institutida xalqaro quyosh dog‘lari sonining vaqt qatorlarini qayta kalibrlash bo‘yicha ilmiy guruhning 2-yig‘ilishida (Bern 2019-y., Shveysariya) muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha 50 dan ortiq ilmiy ishlar chop etilgan, jumladan O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan dissertatsiyalarning asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan taqriz qilinadigan jurnallarda 22 ta ilmiy maqola, shulardan 16 tasi nufuzli xorijiy ixtisoslashgan nashrlarda chop etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, beshta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxatidan iborat. Dissertatsiya hajmi 190 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan, maqsad va vazifalar shakllantirilgan, tadqiqot obyekti, predmeti va usullari aniqlangan. Tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasida fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi bayon etilgan. Olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan, ularning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, natijalarni joriy etish va ishning aprobatyasi haqida qisqacha ma’lumotlar keltirilgan, shuningdek, dissertatsiyaning tuzilishi bayon qilingan.

Dissertatsiyaning **birinchi bobida** Toj yorqin nuqtalarining kashf etilish tarixi, ularning kuzatiladigan xususiyatlari, morfologiyasi, shakllanish modellari bo‘yicha qisqacha sharh keltirilgan, shuningdek ushbu obyektlarni o‘rganish sohasidagi dolzarb muammolar va ochiq savollar shakllantirilgan.

TYN dastlab 1968-1973 yillarda raketa tajribalari davomida olingan Quyoshning to'liq diski rentgen tasvirlarida aniqlangan, keyinchalik esa SkyLab orbital observatoriyasi tasvirlarida kuzatilgan bo'lib, ular tinch quyosh tojining yuqori darajada notekisligini va ko'plab yorqin nuqtaviy tuzilmalar mavjudligini ko'rsatgan. Ushbu tuzilmalar aynan rentgen diapazonida aniqlanganligi sababli Yorqin Rentgen Nuqtalari (YRN) deb nomlangan. Keyinchalik shunga o'xshash tuzilmalar ekstremal ultrabinafsha va radio diapazonlarda ham aniqlangan bo'lib, bu turli kuzatuv namoyonlarini yagona "toj yorqin nuqtasi" termini ostida birlashtirishga imkon berdi.

Zamonaviy tasavvurlarga ko'ra, TYN qarama-qarshi magnit oqim konsentratsiyalarini bog'lovchi, bir-birining ustiga tushgan issiqroq va sovuqroq kichik masshtabli halqalardan tashkil topgan bo'lib, ular xromosfera to'rida supergranulyatsiya yacheykalari tutashgan joylarda kuzatiladi. TYN halqalari taxminan 5 daqiqa tartibidagi vaqt masshtabida tez rivojlanadi. Halqalar temperaturasi 1,2 dan 3,4 MK gacha oraliqda bo'ladi. TYN halqalarining asoslari xromosfera va o'tish sohasi temperaturalarida aniq ko'rinadi, halqalarning yuqori qismidagi plazma esa asosan koronal temperaturada nurlanish hosil qiladi.

TYNning yashash vaqti kuzatuv diapazoniga bog'liq holda o'zgaradi. EUV diapazonida (taxminan 1 MK da) ularning yashash vaqti odatda 20 soatdan kam bo'ladi. Rentgen diapazonida esa ular yanada qisqa yashash vaqtiga ega bo'lib, o'rtacha 11 soatni tashkil etadi. Shu bilan birga, YRNning yashash vaqti spektri qisqaroq davomiylilik tomon siljigan bo'lib, 48 soatdan ortiq yashaydigan YRN soni 2 dan 48 soatgacha yashaydiganlariga nisbatan 10 martadan ortiqqa kamroqdir. Ushbu holatni inobatga olib, YRNning (yoki rentgen diapazonidagi TYN) yashash vaqtini to'rt parametrlil quyidagi funksiya orqali ifodalash mumkin:

$$N(t) = N_s e^{-t/\tau_s} + N_l e^{-t/\tau_l}, \quad (1)$$

bu yerda N_s - qisqa yashash vaqtiga ega yorqin rentgen nuqtalar soni, N_l - uzoq yashovchi yorqin rentgen nuqtalar soni, τ_s va τ_l - mos ravishda qisqa va uzoq yashovchi yorqin rentgen nuqtalarining yashash vaqti. Bunda $\tau_s \approx 9$ soat, $\tau_l \approx 1,5$ kun, N_s/N_l nisbati esa taxminan 10 ga teng. Uzoqroq yashovchi TYN ko'proq faol sohalar kengliklarida, ya'ni $\pm 30^\circ$ da uchraydi va odatda - kattaroq TYN uzoqroq yashash vaqtiga ega bo'ladi.

TYN Quyosh atmosferasining noyob ixcham tuzilmalari bo'lib, quyosh faolligining shakllanishi va dinamikasiga faol ta'sir ko'rsatadi. Ko'p yillik tadqiqotlarga qaramay, ularning fizik tabiati va toj dinamikasi hamda quyosh faolligidagi roli bilan bog'liq masalalar hanuz to'liq hal etilmagan. TYN quyosh tojining umumiy tuzilishidagi roli, ularning quyosh dog'lari va toj teshiklari bilan bog'liqligi hamda quyosh faolligi mexanizmlarini tushunishdagi ahamiyati alohida ta'kidlangan.

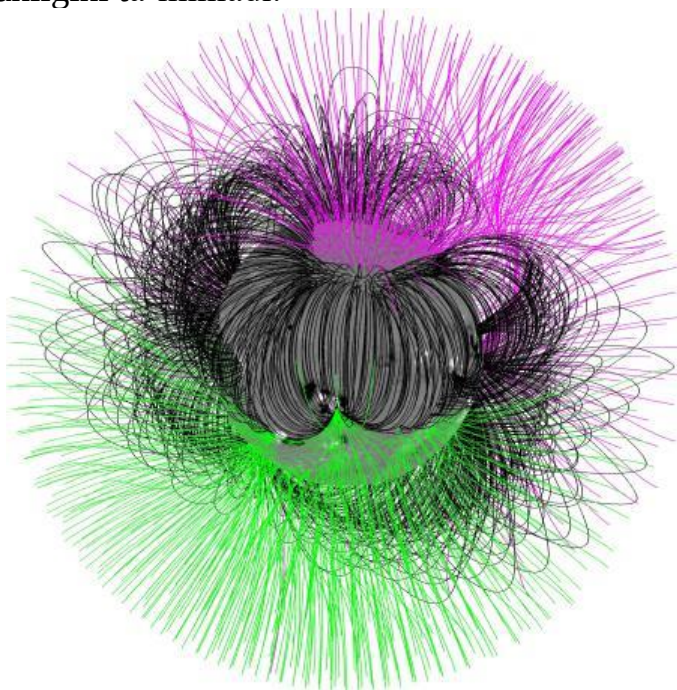
Dissertatsiyaning **ikkinchi bobi** qo'llanilgan ma'lumotlar va usullar tavsifiga bag'ishlangan bo'lib, unda TYN avtomatik aniqlash uchun ishlab chiqilgan asosiy modifikatsiyalangan dastur bayon etilgan. Ushbu bobda TYN ikki populyatsiyaga ajratish uchun parametrlarni tanlashning asosiy shartlari va mezonlari keltirilgan.

Bobning birinchi paragrafida qo'llanilgan ma'lumotlar va usullar tavsiflangan. Tadqiqotda kosmik va yer usti observatoriyalaridan olingan ma'lumotlardan foydalanildi, xususan, SOHO kosmik observatoriyasining EIT va MDI uskunalari ma'lumotlari, ACE bortidagi SWEPAM uskunasi ma'lumotlari, SDO bortidagi AIA va MDI uskunalari ma'lumotlari, GONG, SOLIS, WDC-SILSO bazalaridagi ma'lumotlar, shuningdek O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya instituti quyosh arxividagi kuzatuvlar.

Quyosh tojidagi magnit maydonini fotosferadagi magnit maydonining potensial manba-sirt maydoni (Potential Field Source Surface, PFSS) aproksimatsiyasi orqali ekstrapolyatsiya qilish asosida modellashtirish usulining qisqacha tavsifi berilgan. 1-rasmda PFSS usuli yordamida modellashtirilgan magnit maydonning namunasi keltirilgan.

Keyin turli aperturali teleskoplardan olingan tasvirlarni modellashtirish uchun qo'llanilgan tasvirlarni konvolyutsiya (svyortka) qilish usulining qisqacha tavsifi beriladi.

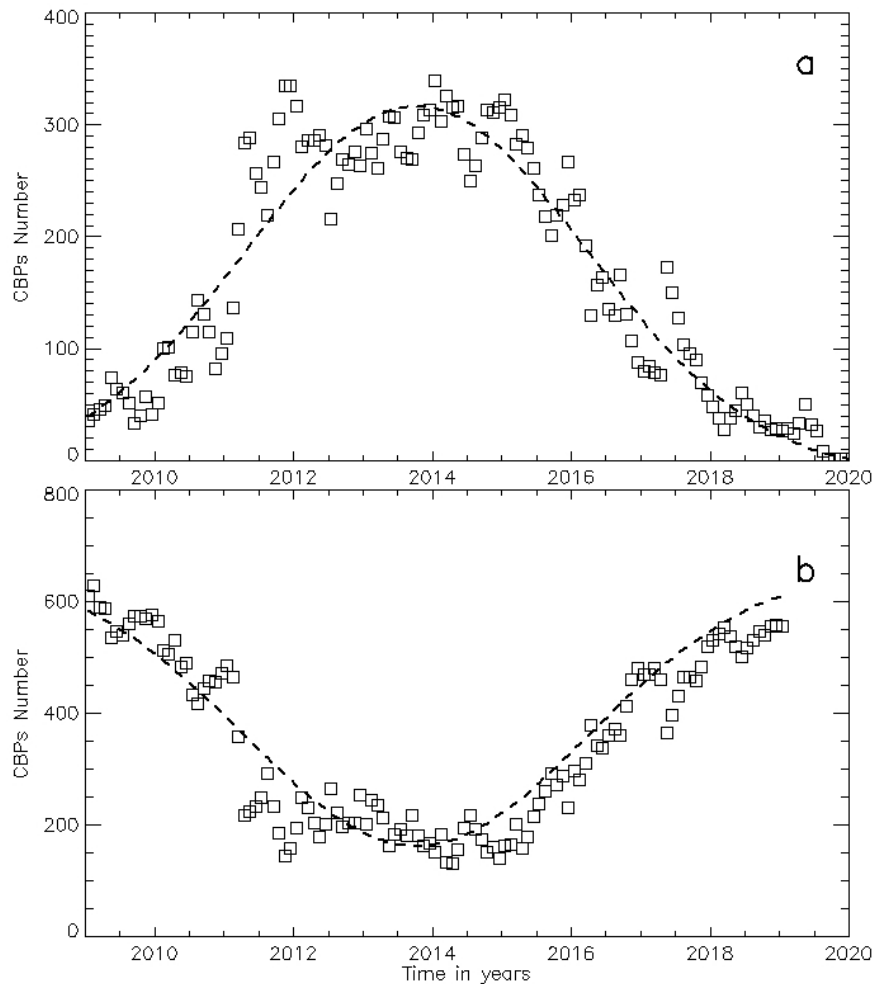
Ma'lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilishning zamonaviy usullaridan foydalanish, shuningdek turli asboblardan yordamida olingan kuzatuvlarni solishtirish tadqiqot natijalarining ishonchliligi va aniqligini ta'minlaydi. Qo'llanilgan usullar ularning dolzarbligi va qo'yilgan vazifalarni hal etishdagi samaradorligiga asoslanib tanlangan hamda natijalarning yuqori aniqligi va ishonchliligiga erishishga yo'naltirilgan. Bunday kompleks yondashuv keyingi tahlilning to'g'riligini va xulosalarning asoslanganligini ta'minladi.



1-rasm. 2003-yil 4-aprel holati uchun PFSS usuli yordamida modellashtirilgan quyosh tojining magnit maydoni.

II bobning ikkinchi paragrafida Quyosh to‘liq diskining ekstremal ultrabinafsha tasvirlarida TYNni avtomatik aniqlash uchun modifikatsiyalangan dastur batafsil bayon etilgan. Ushbu jarayonning asosiy bosqichlari tavsiflangan.

Keyin TYNning shakllanish mexanizmlari va xususiyatlari turlicha bo‘lgan ikki alohida turining mavjudligi foydasiga dalillar keltiriladi hamda ushbu natijaning quyosh tojining fizikasi va quyosh faolligini prognoz qilish uchun ahamiyati muhokama qilinadi.



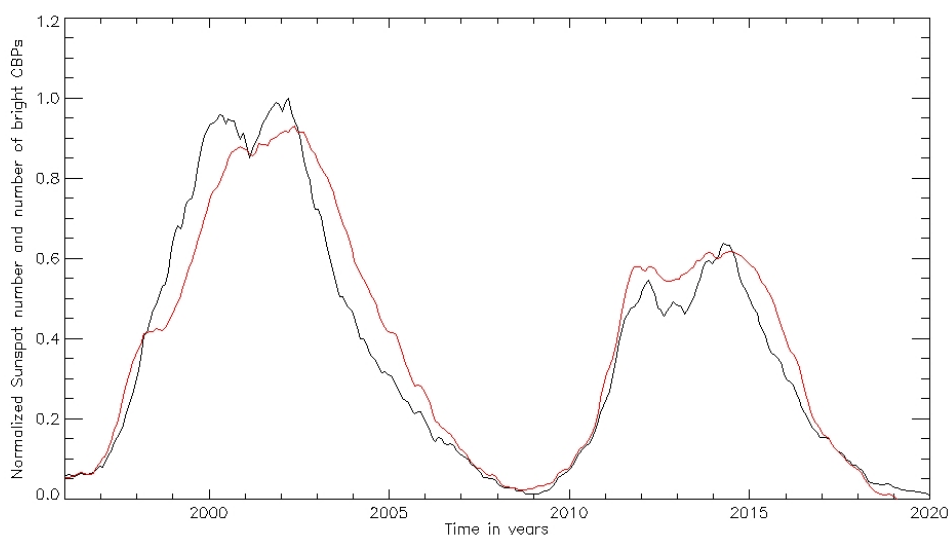
2-rasm. Quyosh faolligining 24-siklida (a) “yorqin” va (b) “xira” TYN sonining o‘zgarishi (o‘rtacha oylik qiymatlar, kvadratlar). Punktir chiziqlar — taqsimotlarning Gauss funksiyalari bilan approksimatsiyasi.

TYN maksimal intensivligiga qarab yorqin va xira turlarga ajratiladigan klassifikatsiya taklif etilgan. Xira va yorqin TYN siklining o‘zgarishida qarama-qarshi tendensiyalar aniqlangan. Sokin Quyosh bilan bog‘liq bo‘lgan xira TYN soni quyosh dog‘lari sikliga teskari proportsional ravishda o‘zgaradi, faol sohalarga tegishli yorqin TYN esa sikl bilan ijobiy korrelyatsiyani ko‘rsatadi. Xira TYNning kenglik bo‘yicha taqsimoti ularning Quyosh yuzasi bo‘ylab deyarli bir tekis taqsimlanganligini ko‘rsatadi, quyosh dog‘lari faoliyat kamarlariga mos keluvchi kengliklarda esa yorqin TYN sonining ortishini namoyon etadi.

Xira va yorqin TYN sonining o'zgarishi Gauss funksiyalari yordamida aproksimatsiya qilingan (2-rasmga qarang). Ushbu ikki funksiyaning yig'indisi quyosh faolligi maksimumi atrofida taxminan 30% ga kamayishni ko'rsatadi va shu bilan Toj yorqin nuqtalar sonining quyosh dog'lari soniga nisbatan teskari o'zgarishi haqidagi g'oyani qo'llab-quvvatlaydi. Taxmin qilinishicha, quyosh maksimumi davrida xira TYN sonining kamayishi asosan aralash qutblilikka ega bo'lgan sokin Quyosh hududlari maydonining kamayishi bilan bog'liq. Shuningdek, yorqin toj fonida TYNni aniqlash qiyinlashadigan ko'rinish effekti ham yuqori faollik davrlarida kuzatiladigan nuqtalar sonining kamayishiga o'z hissasini qo'shadi.

Beshinchi paragrafda har bir turdagi TYN va ularning umumiy sonining quyosh faolligining 23 va 24-sikllaridagi xatti-harakati o'rganilgan. Aniqlanishicha, 23-sikl ma'lumotlari asosida topilgan tendensiyalar 24-siklda ham kuzatiladi. Garchi 23 va 24-sikllarning maksimum yillarida TYNning umumiy soni unchalik o'zgarmasada (3% dan kam), har bir turining nisbiy hissasi sezilarli darajada farq qiladi.

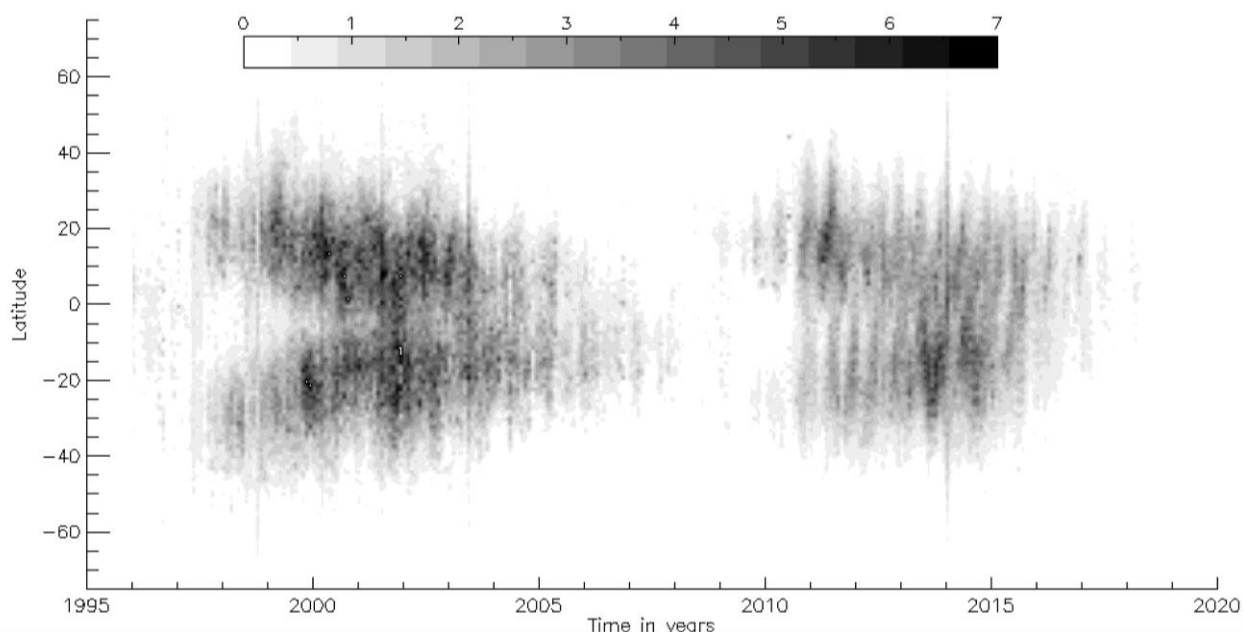
Ehtimoliy sabab - 24-siklda faollik darajasining sezilarli pasayishidir. Yorqin Toj yorqin nuqtalar sonining quyosh dog'lari soni o'zgarishlariga nisbatan o'rtacha 1 oyga kechikishi aniqlangan (3-rasm), bu ushbu turdagi Toj yorqin nuqtalarning parchalanayotgan faol sohalar qoldiqlarida shakllanishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin.



3-rasm. Normallashtirilgan yorqin TYN soni (qizil) va quyosh dog'larining xalqaro sonining (qora) o'zgarishi.

Dissertatsiyaning **uchinchi bobida** ikki quyosh sikli davomida yorqin va xira TYNning fazoviy-vaqt taqsimotining statistik tahlili natijalari keltirilgan, ikki turdagi TYNning soni va maydonining shimol-janub assimetriyasi o'rganilgan, TYNning ikki turi mavjudligining qo'shimcha validatsiyasi berilgan hamda ularning global va lokal dinamo jarayonlari bilan bog'liqligiga asoslangan fizik talqini taklif etilgan.

Aniqlanishicha, yorqin TYN quyosh dog'lariga o'xshash fazoviy-vaqt taqsimotini namoyon etib, Shpyorer qonuniga bo'ysunadi. Ushbu qonuniyat 4-rasmda Maunderning "kapalaklar" diagrammasi ko'rinishida yaqqol tasvirlangan.



4-rasm. Yorqin Toj yorqin nuqtalarining fazoviy taqsimoti. Rang bilan har bir tasvirda mos kenglikda joylashgan yorqin Toj yorqin nuqtalarining o‘rtacha soni ko‘rsatilgan.

Xira TYN uchun bunday qonuniyat kuzatilmaydi, bu esa ularning shakllanishining ikki xil mexanizmi mavjudligini tasdiqlaydi.

Bobning uchinchi paragrafida TYNning turlari bo‘yicha umumiy soni va maydonining shimol–janub assimetriyasi tahlil qilingan. Tahlildan oldin shimol–janub assimetriyasining statistik ahamiyati baholangan. Buning uchun Styudentning t-kriteriyasi qo‘llanilgan bo‘lib, u quyidagicha aniqlanadi:

$$T = \frac{\sum \frac{D_i}{n}}{\sqrt{(\sum D_i^2 - \frac{(\sum D_i)^2}{n}) / (n(n-1))}} \quad (2)$$

bu yerda D_i — juft qiymatlar farqi, n esa har bir guruhdagi elementlar soni bo‘lib, mos vaqt qatorini shunday guruhlarga ajratamizki, $(n-1)$ — erkinlik darajalari sonini bildiradi. Biz TYNning soni va maydoni bo‘yicha barcha ma’lumotlarni 27 ta guruhga ajratdik - 1996–2022-yillar oralig‘ida har bir yil uchun bittadan guruh. Har bir guruhda o‘rtacha 24 ta qiymat mavjud - har oy uchun ikkitadan qiymat. Barcha parametrlar guruhlarning 80 foizidan ortig‘ida statistik jihatdan ahamiyatli assimetriyani ko‘rsatdi.

Shimoliy va janubiy yarimsharlar uchun parametrlar farqi $(N-S)$ ko‘rinishidagi assimetriya indeksidan tashqari, normallashtirilgan assimetriya indeksi ham hisoblab chiqildi, uni quyidagicha yozish mumkin:

$$N_A = \frac{N-S}{N+S} \quad (3)$$

bu yerda N - shimoliy yarimshardagi TYNning umumiy soni yoki maydoni, S esa janubiy yarimshardagi TYNning soni yoki maydoni. 5-rasmda xira TYN va quyosh dog‘lari soni uchun normallashtirilgan assimetriya indeksining o‘zgarishi ko‘rsatilgan. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, butun davr davomida (normallashtirilgan assimetriya

indeksi manfiy bo'lib qolgan holda) xira TYN soni doimiy ravishda janubiy yarimsharda yuqori, faqat 2014 yildagi qisqa davr bundan mustasno. Bu holat quyosh dog'laridan farq qiladi, ularda ustun yarimshar o'rtacha besh martadan ko'proq almashadi.

Umumiy son hamda maydon bo'yicha sezilarli assimetriya kuzatilishi ko'rsatildi. Yorqin TYN umumiy son va assimetriya o'zgarishlarini namoyon etib, faol sohalar o'zgarishlarini aks ettiradi, bu esa bunday TYN kichik masshtablarda bo'lsa-da, o'xshash mexanizmlar orqali shakllanadigan miniatyura faol sohalar ekanligi haqidagi gipotezani tasdiqlaydi. Xira TYNning 11 yillik quyosh sikliga bog'liq bo'lmagan bir tekis assimetriyasi quyosh dinamosining siklga bog'liq bo'lmagan (yoki uzoqroq davr bilan bog'liq) komponentasi mavjudligi haqidagi gipotezani qo'llab-quvvatlashi mumkin, xususan butun Quyosh bo'ylab kichik masshtabli dipollarni bir tekis hosil qiluvchi kichik masshtabli turbulent dinamo bilan bog'liq.

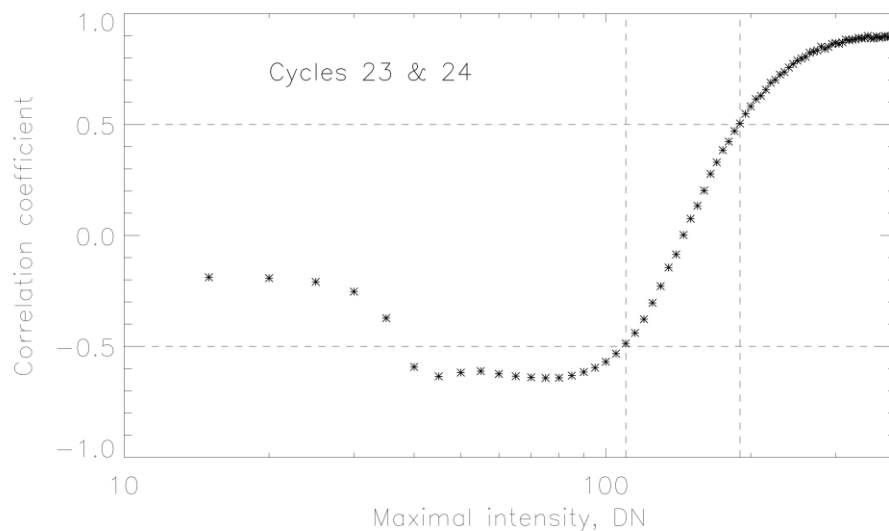


5-rasm. Xira TYN (qora rangda) va quyosh dog'lari soni (yashil rangda) uchun normallashtirilgan assimetriya indeksining o'zgarishi.

III bobning to'rtinchi paragrafida TYNning ikki xil populyatsiyasi mavjudligini kichik masshtabli magnit elementlarni klassifikatsiya qilish uchun ishlab chiqilgan usul yordamida mustaqil tekshirish amalga oshirilgan. 1996–2020 yillar uchun EIT/SOHO ma'lumotlari asosida intensivlik bo'yicha ajratilgan 80 ta kichik guruh uchun vaqt qatorlari tuzilgan. Keyin quyosh dog'lari soni va har bir kichik guruhdagi TYN soni o'rtasidagi chiziqli korrelyatsiya koeffitsiyentlari hisoblab chiqilgan. Har bir kichik guruh intensivligiga bog'liq holda koeffitsiyentlar taqsimoti natijalari 6-rasmda keltirilgan. Har bir kichik guruhdagi TYN soni va quyosh dog'lari soni o'rtasidagi korrelyatsion tahlil uchta kategoriya mavjudligini ko'rsatdi: quyosh sikli bilan ijobiy korrelyatsiyalanuvchi, antikorrelyatsiyalanuvchi va korrelyatsiyalanmaydigan TYN.

Ushbu tuzilma fotosferadagi magnit maydonlar uchun avval aniqlangan magnit elementlarning ikki populyatsiyasi xatti-harakati bilan to'liq mos keladi.

Olingan bog'liqliklar Toj yorqin nuqtalarining ikki turi mavjudligini tasdiqlaydi: soni quyosh faolligi sikliga mos ravishda ortib boradigan yorqin Toj yorqin nuqtalari va soni sikl bilan antikorrelyatsiyalanadigan yoki aniq bog'liqlikni namoyon etmaydigan xira Toj yorqin nuqtalari. O'tish guruhiga kiruvchi Toj yorqin nuqtalari aralash xususiyatlarni namoyon etadi, biroq ularning hisssasi kichik bo'lib, umumiy xulosaga ta'sir qilmaydi. SDO bortidagi AIA ma'lumotlari asosida bajarilgan tahlil aniqlangan qonuniyatlarning barqarorligini tasdiqladi. Shunday qilib, o'tkazilgan validatsiya Toj yorqin nuqtalarining ikki populyatsiyasi mavjudligini ishonchli tarzda tasdiqlaydi va 23 va 24-sikllarda ularni ajratish uchun intensivlikning miqdoriy chegaralarini belgilaydi.



6-rasm. 23 va 24-quyosh sikllari uchun quyosh dog'lari soni va TYN soni o'rtasidagi korrelyatsiya koeffitsiyentlari. Punktir chiziqlar ijobiy korrelyatsiyalangan, antikorrelyatsiyalangan va korrelyatsiyalanmagan (yoki o'tish) guruhlarni ajratish uchun qabul qilingan $|r| = 0.5$ chegarani ko'rsatadi.

III bobning beshinchi paragrafida TYN ikki turining fizik talqini keltirilgan. Yorqin TYNni global siklik dinamo ta'sirida yuzaga keladigan faol sohalar qoldiqlari va efemer bipollarni o'z ichiga olgan kuchliroq magnit elementlar bilan bog'lash taklif etilgan. Ularning soni quyosh dog'lari soni bilan ijobiy korrelyatsiyalanadi va undan biroz kechikadi, bu esa yorqin TYNning faol sohalar parchalanish bosqichida shakllanishi bilan mos keladi.

Xira TYN 11 yillik sikldan mustaqil ravishda ishlaydigan lokal turbulent dinamo tomonidan generatsiya qilinadigan kuchsiz magnit elementlar bilan bog'lanadi. Ushbu TYN quyosh dog'lari bilan zaif yoki manfiy korrelyatsiyani namoyon etadi, Quyosh diski bo'ylab nisbatan bir tekis taqsimlanadi va ularning dinamikasi kichik masshtabli jarayonlar bilan belgilanadi.

23 va 24-sikllarda TYN xatti-harakatini taqqoslash shuni ko'rsatdiki, kuchsiz 24-siklda global dinamo samaradorligining pasayishi yorqin TYN sonining kamayishiga va turli populyatsiyalarga mos keluvchi intensivlik chegaralarining siljishiga olib kelgan. Aniqlangan qonuniyatlar global va lokal dinamo birgalikda ta'sir qiladigan uch o'lchamli modellarga yaxshi mos keladi, ularga ko'ra kichik masshtabli magnit maydon ikki dinamo mexanizmining hissalarini nisbatiga qarab katta masshtabli sikl bilan ham korrelyatsiyalanishi, ham antikorrelyatsiyalanishi mumkin.

Dissertatsiyaning to'rtinchi bobi TYNning quyosh tojining boshqa muhim tuzilmalari - toj teshiklari (TT) bilan o'zaro ta'siriga bag'ishlangan. Birinchi paragrafda izolyatsiyalangan toj teshiklarining shakllanish mexanizmlaridan biri ko'rib chiqilgan. Ko'rib chiqilgan TT faol sohalarning parchalanish joylarida hosil bo'lgani ko'rsatildi. Shunday holatlardan biri 7-rasmda keltirilgan.

Ko'rib chiqilgan barcha TT shakllanish holatlari uchun quyidagi parametrlar hisoblab chiqildi: ijobiy va manfiy qutblilikdagi vertikal magnit oqim B_z , lokal sirtga urinma tekislik orqali o'tuvchi umumiy belgisiz oqim, oqim disbalansi, shuningdek kompaktililik. Kompaktililik o'lchovi sifatida magnit qutblilikning uning magnit oqimi bo'yicha og'irlangan samarali radiusi ishlatildi.

Radius ijobiy/manfiy oqimning og'irlik markaziga nisbatan hisoblandi. Kichikroq r_{eff} oqimning yanada kompaktroq taqsimlanganligini ko'rsatadi:

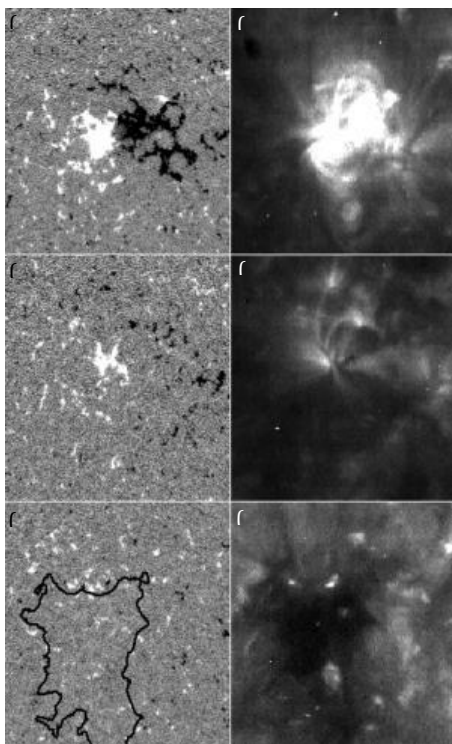
$$r_{eff}^2 = \frac{1}{S} \sum ((x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2) B_z(x, y), \quad (4)$$

bu yerda $S = \sum B_z(x, y)$ hamda manfiy (musbat) qutblilikka ega B_z pikselarining o'rtacha koordinatalari $\bar{x}, \bar{y}$.

Aniqlanishicha, faol sohalar parchalanishi jarayonida ikki qutblilikning tarqalish tezligidagi farq parchalanayotgan faol sohalar qoldiqlarida magnit oqim disbalansiga olib keladi va izolyatsiyalangan toj teshiklarining hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Ushbu jarayon natijasida bipolyar faol soha topologiyasi E-W yo'nalishidan TTlarda N-S yo'nalishiga o'tadi, bu esa toroidal magnit maydonning poloidal maydonga transformatsiyasini ko'rsatishi mumkin. Bunday transformatsiya Quyosh siklining Babcock-Leighton modeli doirasidagi fenomenologik model uchun zarur bo'lib, biz yuqorida qayd etilgan evolyutsiyani quyosh minimumi davrida yoki 24-sikl boshida kuzatamiz. Bizning kuzatuvlarimiz yopiq oqim tizimlarining magnit bog'lanishi qanday o'zgarishi mumkinligini va oqim ilgari mustaqil bo'lgan tizimlar o'rtasida qanday transformatsiyalanishini yaqqol ko'rsatadi.

Toj teshiklarining magnit maydonini PFSS usuli yordamida modellashtirish shuni ko'rsatdiki, ko'rib chiqilgan barcha misollarda izolyatsiyalangan toj teshiklarining magnit chiziqlari asosan shimoliy qutb teshigiga tutashadi, biroq bir holatda ochiq chiziqlar ham mavjud. Ushbu davrda qutb maydonlarining barqaror disbalansi kuzatilgan: shimoliy qutb (manfiy qutblilik) magnit maydoni janubiy qutbnikidan kuchliroq bo'lgan. Izolyatsiyalangan toj teshiklarining shimoliy qutb teshigi bilan tutashuvi shimoliy qutbda ortiqcha ochiq oqimni kamaytirishga va shu orqali Quyoshdagi magnit oqimning global muvozanatini saqlashga xizmat qiladi.

Keyingi qadamda tez quyosh shamoli tezligining TT maydoni va ularning ichidagi TYN soni bilan korrelyatsiyasi o'rganildi. Har bir TT uchun turli parametrlar hisoblab chiqildi, jumladan tasvir tekisligidagi TTning umumiy maydoni (hech qanday cheklovlarsiz), deproyeksiya qilingan maydoni (Quyosh yuzasida kvadrat graduslarda) va toj teshigi ichidagi barcha pikselarning umumiy intensivligi. 1-jadvalda quyosh shamoli tezligi (V_{SW}) bilan toj teshigi maydoni (A_{CH}), toj teshigining integral intensivligi (I_{CH}), toj teshigi ichida TYN egallagan maydon (A_{CBP}), toj teshigi ichidagi Toj yorqin nuqtalarining integral yorqinligi (I_{CBP}), toj teshigi chegarasini aniqlash uchun qo'llanilgan chegaraviy qiymat (L_{CH}) va Quyosh diskining umumiy yorqinligi (I_{FD}) o'rtasidagi Spirmen va Pirson korrelyatsiya koeffitsiyentlari keltirilgan. Korrelyatsiya koeffitsiyentlari toj teshigi chegaralarini aniqlashning yarim avtomatik hamda avtomatik (qavs ichida "a" belgisi bilan ko'rsatilgan) usullari uchun alohida berilgan.



7-rasm. Magnit maydonlar (chap ustun) va tasvirlar (o'ng ustun) uchta quyosh aylanishi davomida AR 11017 faol sohaning evolyutsiyasini ko'rsatadi: 2009 yil 16 may (a va b panellar), 2009 yil 12 iyun (c va d) va 2009 yil 9 iyul (e va f). Magnitogrammalarda oq (qora) yarimtonlar musbat (manfiy) qutblilikdagi magnit maydonga mos keladi. (e) paneldagi qora uzluksiz chiziq (f) panelda ko'rsatilgan toj teshigining tashqi chegarasini belgilaydi.

Besh parametr ichida TTning umumiy maydoni quyosh shamoli tezligi bilan eng kuchli korrelyatsiyani namoyon etadi. Korrelyatsiya tasvir tekisligida o'lchangan maydon (A_{CH}) uchun deproyeksiya qilingan maydon ($A_{CH} \text{ (deg)}$) ga nisbatan yuqoriroqdir. Bu holatni biz quyidagicha talqin qilamiz: toj teshiklarning past kengliklardagi qismlari ekliptika tekisligida kuzatiladigan quyosh shamoliga yuqori kengliklardagi qismlarga qaraganda ko'proq hissa qo'shadi. Har bir korrelyatsiyaning mustaqilligini tekshirish uchun biz multikorrelyatsiya imkoniyatini quyidagi ko'rinishda tahlil qildik:

$$V_{SW} = f(A_{CH}, I_{CH}), \quad (5)$$

bu yerda f - ikki parametrlarning chiziqli funksiyasi, ushbu holatda toj teshigining maydoni va TTning umumiy intensivligi.

Multikorrelyatsion tahlil natijasida olingan korrelyatsiya V_{SW} va A_{CH} yoki I_{CH} o'rtasidagi korrelyatsiyadan kuchliroq emasligi aniqlandi. Shunday qilib, biz quyidagi xulosaga kelamiz: quyosh shamoli tezligi va toj teshigi maydoni o'rtasidagi korrelyatsiya birlamchi hisoblanadi, V_{SW} va I_{CH} o'rtasidagi korrelyatsiya esa toj teshik maydoni va intensivligi o'rtasidagi o'zaro korrelyatsiya natijasidir.

1-jadval. Quyosh shamoli tezligi va boshqa parametrlar o'rtasidagi korrelyatsiya koeffitsiyentlari.

Parameters	Spearman's Rank Correlation Coefficient	Significance of Its Deviation from Zero	Linear Pearson Correlation Coefficient
V_{SW} vs. A_{CH} (deg)	0.480	1.4×10^{-7}	0.494
V_{SW} vs. A_{CH}	0.561 (0.553) ^a	2.7×10^{-10}	0.546 (0.492) ^a
V_{SW} vs. I_{CH}	0.479 (0.465) ^a	1.6×10^{-7}	0.452 (0.343) ^a
V_{SW} vs. $ACBP_s$	0.327 (0.422) ^a	5.6×10^{-4}	0.305 (0.295) ^a
V_{SW} vs. $ICBP_s$	0.383 (0.408) ^a	4.3×10^{-5}	0.327 (0.246) ^a
V_{SW} vs. $f(A_{CH}, I_{CH})$	0.471 (0.447) ^a	2.7×10^{-7}	0.445 (0.318) ^a
A_{CH} (deg) vs. I_{CH}	0.837	1.7×10^{-29}	0.831
A_{CH} vs. I_{CH}	0.892 (0.945) ^a	2.3×10^{-38}	0.915 (0.921) ^a
A_{CH} vs. L_{CH}	-0.037	7.0×10^{-1}	0.026
A_{CH} vs. $ACBP_s$	0.649 (0.865) ^a	3.1×10^{-14}	0.744 (0.851) ^a
A_{CH} vs. $ICBP_s$	0.775 (0.894) ^a	8.1×10^{-23}	0.801 (0.838) ^a
A_{CH} vs. I_{FD}	-0.051	6.0×10^{-1}	0.031
I_{FD} vs. L_{CH}	0.855	5.5×10^{-32}	0.880
I_{FD} vs. I_{CH}	0.304	1.4×10^{-3}	0.331
I_{FD} vs. $ICBP_s$	0.335	3.9×10^{-4}	0.360
I_{CH} vs. $ICBP_s$	0.888	1.7×10^{-37}	0.923
I_{CH} vs. L_{CH}	0.356	1.5×10^{-4}	0.374

Uchinchi paragrafda quyosh shamoli tezligi va toj teshigi maydoni o'rtasidagi korrelyatsiya quyosh faolligi darajasiga bog'liq holda o'rganilgan, to'rtinchi paragrafda esa TYNning quyosh shamolini tezlashtirishdagi roli ko'rib chiqilgan. Ko'rsatilidiki, TYN toj teshiklaridan chiqayotgan quyosh shamolini tezlashtirishning asosiy omili emas.

Dissertatsiyaning **beshinch** **bobida** Toj yorqin nuqtalar bilan chambarchas bog'liq bo'lgan quyosh faolligining boshqa namoyonlari - tolalar va quyosh dog'lari, shuningdek quyosh hodisalarini kuzatishga ta'sir qiluvchi effektlar ko'rib chiqilgan. Tolalar qiziqish uyg'otadi, chunki ularning o'xshash, ammo kichikroq masshtabdagi shakllarini TYNda ham kuzatish mumkin. Masalan, ayrim TYNda, ayniqsa mini-otilishlar vaqtida mini-tolalar hosil bo'lishi kuzatiladi. Bunday mini-tolalar, oddiy tolalar kabi, mos TYNning bipolyar tuzilmasida qutbliliklar chegarasi bo'ylab shakllanadi. Biroq nima sababdan ayrim TYNda bunday mini-tolalar kuzatiladi, boshqalarida esa yo'q - bu hali aniq emas. Ehtimol, bunda magnit maydon konfiguratsiyasi va uning xususiyatlari muhim rol o'ynaydi. Tolalarning shakllanish xususiyatlarini o'rganish uchun ularning paydo bo'lishining magnit maydon gradientiga bog'liqligi statistik jihatdan tadqiq etildi.

Neytral chiziq (NCH) yaqinida magnit maydon gradientining tolalar ko‘proq kuzatiladigan afzal diapazoni aniqlangan bo‘lib, u 0,0025 dan 0,019 Gs km⁻¹ gacha bo‘lgan qiymatlarni tashkil etadi. Biroq magnit NCH orqali o‘tuvchi gorizonta gradientning “afzal” diapazonga tushishi o‘sha joyda tolalar shakllanishini kafolatlamaydi, chunki shunga o‘xshash gradientlarga ega bo‘lgan NCHlarning katta qismi tolalar moddasidan holi bo‘lib qoladi.

Bobning keyingi qismi quyosh faolligining global siklliligini ifodalovchi asosiy indikator - quyosh dog‘lari va ular bilan bog‘liq indekslarga bag‘ishlangan. 1932–2000 yillar davomida Toshkentda olib borilgan quyosh kuzatuvlari asosida quyosh faolligining asosiy indeksleri bo‘yicha birinchi elektron katalog taqdim etilgan bo‘lib, u ochiq foydalanishga joylashtirilgan (Harvard Dataverse: <https://doi.org/10.7910/DVN/6XPXC1>). Katalogda Volf soni, guruhlar soni va quyosh dog‘lari maydonining o‘rtacha oylik qiymatlari keltirilgan; ularning mavjud xalqaro kataloglar bilan solishtirilishi ma‘lumotlarning yuqori barqarorligi va bir xilligini ko‘rsatdi. Quyoshning raqamli tasvirlari asosida quyosh dog‘larini avtomatik aniqlash va Volf sonini hisoblash uchun ishlab chiqilgan dastur tavsiflangan.

Oltinchi va yettinchi paragraflarda quyosh hodisalarini kuzatishga ta‘sir qiluvchi ayrim instrumental effektlar o‘rganilgan. Xususan, teleskop aperturasi, tarqoq yorug‘lik mavjudligi va optika sifatining quyosh dog‘lari kuzatuvlariga asoslangan turli quyosh faollii indekslariga ta‘siri masalalari ko‘rib chiqilgan. Shu maqsadda turli aperturali teleskoplar yordamida olinadigan Quyosh tasvirlari modellashtirilgan. Buning uchun tasvirni konvolyutsiya (svyortka) qilish usuli qo‘llanilgan. Svyortka yadrosi sifatida Gauss funksiyasi olingan. Gauss funksiyasining maksimal qiymatning yarmi darajasidagi to‘liq kengligi (FWHM) modellashtirilayotgan teleskop tasvirining fazoviy ajratish qobiliyatini belgilaydi.

$$FWHM = 2 \sqrt{2 \ln 2} \sigma \quad (6)$$

Ushbu kattalik ma‘lum bo‘lgach, teleskop aperturasi Reyli mezoni formulasi asosida hisoblab chiqildi. Tarqoq yorug‘lik effektini modellashtirish uchun tasvirga konvolyutsiya qo‘llanib, funksiyaga quyosh tasvirining o‘rtacha intensivligidan 2 va 5 % miqdorida ikkita tarqoq yorug‘lik darajasi kiritildi.

Faollik indekslarining teleskop aperturasiga bog‘liqligini tahlil qilish shuni ko‘rsatdiki, kichik aperturali teleskoplarda aynan aperturaning o‘zi tasvir sifatining yomonlashishida asosiy rol o‘ynaydi, katta aperturali teleskoplarda esa tarqoq yorug‘likning mavjudligi muhimroq omil hisoblanadi. Olingan bog‘liqliklarni $y = a_0 + a_1 \log(x) + a_2 \log^2(x)$ ko‘rinishidagi funksiya bilan aproksimatsiya qilish mumkin. Moslashtirilgan egri chiziqlar koeffitsiyentlari quyosh dog‘lari soni (SSN), quyosh dog‘lari guruhleri soni (GN) va quyosh dog‘lari maydoni (Area) uchun 2-jadvalda keltirilgan. +S qo‘shimchasi ayni parametrlarning tarqoq yorug‘lik kiritilgan variantini anglatadi.

2-jadval. $y = a_0 + a_1 \log(x) + a_2 \log^2(x)$ funksiyasi koeffitsiyentlari, ma'lumotlarga moslashtirilgan.

	SSN	SSN + S	GN	GN + S	Area	Area + S
a_0	-0.153	-0.356	-0.576	-0.666	-0.754	-0.843
a_1	0.271	0.626	1.210	1.286	1.717	1.747
a_2	0.129	-0.037	-0.222	-0.254	-0.423	-0.422

Olingan bog'liqliklar yuzlab yillar avval amalga oshirilgan quyosh faolligi o'lchovlarini zamonaviy ko'rsatkichlar bilan baholash va taqqoslashda qo'llanishi mumkin.

Shuningdek, quyosh dog'lari sonining guruhlar soniga nisbati (SSN/GN) variatsiyalari ham tahlil qilindi. Ko'rsatildiki, ushbu nisbat asbob aperturasiga bog'liq bo'lib, diametri 80 mm dan kichik va katta teleskoplar uchun sezilarli darajada farq qiladi. O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya instituti arxiv ma'lumotlari asosida bir necha quyosh sikllari davomida SSN/GN o'zgarishlari kuzatildi, uning ichki siklliligi va sikllararo o'zgaruvchanligi aniqlangan. SN va GN qatorlari o'rtasidagi tafovutlar ilgari ularni qayta ko'rib chiqishga olib kelganligini hisobga olgan holda, zamonaviy ma'lumotlarni tarixiy kuzatuvlar bilan taqqoslashda SSN/GN nisbatining uskunaviy nochiziqliligini, shuningdek quyosh faolligining evolyutsiyasi natijasida uning sikldan siklga o'zgarishini inobatga olish zarur.

Umuman olganda, turli quyosh hodisalarini o'rganishda qayd etilayotgan parametrlarga ta'sir ko'rsatuvchi instrumental va kuzatuv omillarining hissasini tushunish va baholash, hamda ushbu ta'sirni kompensatsiya qiluvchi tuzatishlar kiritish muhimdir.

DISSERTATSIYA ISHIDA OLINGAN ASOSIY NATIJALAR VA XULOSALAR

Fan doktori (DSc) dissertatsiyasi "Toj yorqin nuqtalarining ikki turi: katta ko'lamli va mahalliy quyosh faolligi bilan bog'liqligi" mavzusi bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi asosiy natijalar olindi:

1. Muallif tomonidan modifikatsiya qilingan avtomatik identifikatsiya usuli asosida EIT/SOHO asbobidan olingan Quyoshning to'liq disk tasvirlarida (195 Å spektral diapazonda) TYNning statistik tahlili bajarildi va ularning ikki populyatsiyasi uchun grafik bog'lanishlar qurildi. TYN maksimal intensivligi bo'yicha turlarga ajratildi, bunda qabul qilingan chegaraviy qiymat $I_{\max} = 150 \text{ DN s}^{-1}$ sifatida olindi: past intensivlikka ega TYN xira, undan yuqori qiymatga ega bo'lganlar esa yorqin turga kiritildi.

2. Aniqlanishicha, turli tipdagi TYNning fazoviy taqsimoti quyosh faolligi sikli davomida turlicha o'zgaradi: yorqin TYN quyosh dog'lari uchun xos bo'lgan Shpyorer qonuniga bo'ysunib, sikl boshida 30–40° kengliklarda paydo bo'ladi va sikl rivojlanishi bilan past kengliklarga, hatto ekvatorga tomon siljiydi. Past intensivlikdagi (xira) TYNda bunday qonuniyat kuzatilmaydi: ular butun sikl davomida barcha kengliklarda nisbatan bir tekis paydo bo'ladi. Ushbu natija TYNning ikki turi mavjudligi va ularning Quyosh magnit maydonining turli komponentalari bilan bog'liqligini tasdiqlaydi.
3. TYN quyosh faolligining 23–24 sikllari davomida yarimsharlar bo'yicha umumiy son va maydonning o'zgarishida shimol–janub assimetriyasini namoyon etishi ko'rsatildi. Aniqlanishicha, ikki sikl davomida turli yarimsharlardagi TYN soni va maydoni o'rtasidagi farq amplitudasi 15% dan oshmasa ham, bu farqlar statistik jihatdan ahamiyatli hisoblanadi. Shuningdek, TYN assimetriyasi faol sohalar ta'siri bilan emas, balki ularning shakllanish xususiyatlari bilan bog'liq ekanligi ko'rsatildi.
4. TYNning turli tiplari assimetriyasi sezilarli darajada farq qilishi aniqlandi: yorqin TYN assimetriyasi quyosh dog'lari assimetriyasiga juda yaqin, xira TYNning taqsimoti esa ancha bir tekis bo'lib, ularning siklga bog'liq bo'lmagan kichik masshtabli turbulent dinamo komponentasi bilan bog'liqligini ko'rsatadi.
5. Ikki kosmik observatoriya - SOHO/EIT va SDO/AIA ma'lumotlari asosida o'tkazilgan mustaqil solishtirma tahlil TYNning statistik jihatdan farqlanuvchi populyatsiyalari mavjudligini tasdiqladi. Korrelyatsiya koeffitsiyentlari taqsimoti va maksimal intensivlikka asoslangan holda ularni populyatsiyalarga ajratishning takomillashtirilgan metodikasi taklif etildi.
6. Birinchi marta TYNning ikki turi mavjudligiga fizik tushuntirish berildi: ular Quyosh dinamosining ikki rejimi - faol sohalar bilan bog'liq global siklik va 11 yillik sikldan mustaqil lokal turbulent rejim - namoyonlari sifatida talqin qilindi.
7. TYNda sodir bo'ladigan qayta ulanish jarayonlari izolyatsiyalangan nopolyar toj teshiklaridan chiqayotgan tez quyosh shamolini tezlashtirishning asosiy mexanizmi emasligi ko'rsatildi. Tez quyosh shamoli tezligi eng kuchli darajada toj teshigi maydoni bilan korrelyatsiyalanishi tasdiqlandi. Ushbu korrelyatsiya quyosh faolligi darajasiga bog'liq bo'lib, o'rtacha faollik davrlarida maksimumga erishadi va yuqori yoki past faollik davrlarida biroz kamayadi.
8. Izolyatsiyalangan nopolyar toj teshiklari ichida TYN taqsimotining xususiyatlari aniqlandi: toj teshiklarining ichki qismida kuzatiladigan TYN zichligi ularning chegaralariga nisbatan yuqoriroqdir.
9. Faol sohalar qoldiqlarida izolyatsiyalangan nopolyar toj teshiklarining shakllanish jarayoni tavsiflandi. TT faol sohaning ham yetakchi, ham dum qismidagi qutbliligi qoldiqlarida shakllanishi mumkinligi ko'rsatildi.
10. Ko'rib chiqilgan to'rtta holatning barchasida PFSS usuli asosida olingan ekstrapolyatsiyaga ko'ra TTning magnit chiziqlari shimoliy qutb toj teshigiga tutashgani aniqlandi, u esa janubiy qutb TT bilan disbalans holatida bo'lgan. Bu

Quyoshdagi umumiy magnit oqim muvozanatini saqlashga hamda Babcock–Leighton modeli doirasida zarur bo‘lgan toroidal maydonning poloidal maydonga transformatsiyasini amalga oshirishga xizmat qiladi.

11. Quyosh dog‘lari soni, quyosh dog‘lari guruhlari soni va quyosh dog‘lari maydonining teleskop aperturasiga bog‘liqligi uchun $y=a_0+a_1\log(x)+a_2\log^2(x)$ ko‘rinishidagi funksional bog‘liqliklar olindi, bu holatlar tarqoq yorug‘lik mavjud bo‘lgan va bo‘lmagan sharoitlar uchun alohida ko‘rib chiqildi.

12. Aniqlanishicha, quyosh dog‘lari soni teleskop sifati, inson ko‘rish xususiyatlari va kuzatuv sharoitlariga eng sezgir parametr hisoblanadi, quyosh dog‘lari guruhlari soni va maydoni esa bunday ta’sirlarga kamroq bog‘liq. Quyosh dog‘lari maydoni ushbu omillarga eng kam darajada ta’sirchan.

13. Quyoshning to‘liq diski tasvirlarida $H\alpha$ chizig‘i bo‘yicha neytral chiziq bo‘ylab magnit maydon gradientining xromosfer tolalar ko‘proq shakllanadigan afzal diapazoni hisoblab chiqildi. Ushbu diapazon 0,0025 dan 0,019 Gs km^{-1} gacha. Ko‘rsatildiki, faqat gorizontaal gradientning o‘zi tolalar shakllanishini belgilovchi omil emas.

14. O‘zR FA Astronomiya instituti arxivi ma’lumotlari asosida 1932–2000 yillarni qamrab oluvchi quyosh faolligining asosiy indeksleri bo‘yicha birinchi elektron katalog yaratildi. Mavjud kataloglar bilan solishtirma tahlil yaxshi moslik va yuqori korrelyatsiyani ko‘rsatdi, bu esa katalogdan quyosh faolligi va fanlararo tadqiqotlarda foydalanish imkonini beradi.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПРИ НАУЧНОМ СОВЕТЕ
PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
ПРИ АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАРАЧИК НИНА ВАЛЕРЬЕВНА

**ДВА ТИПА КОРОНАЛЬНЫХ ЯРКИХ ТОЧЕК: СВЯЗЬ С
КРУПНОМАСШТАБНОЙ И ЛОКАЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ
АКТИВНОСТЬЮ**

01.03.01 – Астрономия

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА НАУК (DSc)
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2026

Тема докторской диссертации (DSc) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2026.1.DSc/FM319.

Докторская диссертация выполнена в Астрономическом институте Академии наук Республики Узбекистан.

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

Научный консультант:

Эгамбердиев Шухрат Абдуманнапович
доктор физико-математических наук, академик
Академии наук Республики Узбекистан

Официальные оппоненты:

Ахмедов Бобомурат Жураевич,
доктор физико-математических наук, академик
Академии наук Республики Узбекистан

Григорьев Виктор Михайлович,
доктор физико-математических наук, профессор,
член-корреспондент Российской академии наук

Тошматов Бобир Абдуманонович,
доктор физико-математических наук

Ведущая организация:

**Крымская астрофизическая обсерватория
Российской академии наук**

Защита диссертации состоится « 24 » августа 2026 г. в 14:00 часов на заседании разового Научного совета при Научном совете PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 по присуждению ученых степеней 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 100-Д), по адресу: 100052, г. Ташкент, Астрономическая 33, Астрономический институт; тел.: (+99871) 235-81-02.

Автореферат диссертации разослан « 10 » августа 2026 года
(реестр протокола рассылки № 4 от « 10 » августа 2026 года).

Д.Ш. Фаилова,
Заместитель председателя
разового Научного совета по присуждению
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

К.Э. Эрғашев,
ученый секретарь разового Научного совета
по присуждению ученых степеней,
PhD., старший научный сотрудник

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. На сегодняшний день в мире работы по изучению корональных ярких точек (КЯТ) на Солнце приобретают особую актуальность в связи с глобальным ростом интереса к вопросам солнечно-земных связей и космической погоды, что отражено в стратегиях Международного астрономического союза (IAU)¹. Корональные яркие точки являются важными индикаторами процессов, происходящих в солнечной короне, и могут быть тесно связаны с такими проявлениями солнечной активности, как вспышки, корональные выбросы массы и ускорение солнечного ветра. IAU подчеркивает необходимость изучения солнечной активности и ее влияния на земную магнитосферу, поскольку это критически важно для защиты космических аппаратов, спутниковой связи и наземных технологий от геомагнитных бурь. В связи с этим изучение КЯТ имеет важное научное и практическое значение.

В ведущих научно-исследовательских центрах мира проводятся исследования корональных ярких точек, направленные на изучение механизмов их формирования и эволюции, роли процессов магнитного пересоединения, нагрева солнечной короны и формирования солнечного ветра. Особое внимание уделяется разработке методов автоматической идентификации корональных ярких точек по данным космических наблюдений высокого пространственного и временного разрешения, созданию долговременных каталогов, исследованию их взаимосвязи с магнитными полями и другими проявлениями солнечной активности, а также совершенствованию моделей космической погоды. Однако, закономерности долговременной эволюции различных типов корональных ярких точек, особенности их пространственно-временного распределения в течение солнечного цикла, их связь с процессами глобальной и локальной генерации магнитного поля, а также физическая природа северо-южной асимметрии до настоящего времени изучены недостаточно систематически. В связи с этим, выявление различных типов корональных ярких точек, исследование закономерностей их эволюции, взаимосвязи с другими проявлениями солнечной активности и процессами глобального и локального динамо является одной из актуальных научных задач современной физики Солнца. В Республике Узбекистан особое внимание уделяется развитию космической деятельности и фундаментальной науки. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы определены приоритетные задачи по развитию науки, инновационной деятельности и поддержке фундаментальных исследований. Кроме того, в Стратегии «Узбекистан – 2030» развитие научного потенциала, космической деятельности и современных научных исследований определено одним из важнейших направлений государственной политики. Реализации этих задач способствует исследование физических свойств корональных ярких точек, механизмов их формирования,

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

долговременной эволюции, связи с процессами глобальной и локальной генерации магнитного поля и другими проявлениями солнечной активности, а также повышение точности моделей космической погоды, что имеет важное научное и практическое значение.

Настоящее диссертационное исследование в определенной степени способствует реализации задач, определенных в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы»², Указе Президента Республики Узбекистан от 11 сентября 2023 года № УП-158 «О Стратегии “Узбекистан – 2030”»³, Постановлении Президента Республики Узбекистан от 19 марта 2021 года № ПП-5032 «О мерах по повышению качества образования и развитию научных исследований в области физики»⁴, Законе Республики Узбекистан от 13 января 2025 года №ЗРУ-1017 «О космической деятельности»⁵, а также в государственных программах и концепциях, направленных на развитие фундаментальной науки, повышение эффективности научных исследований, совершенствование современной научной инфраструктуры, подготовку высококвалифицированных научных кадров, расширение международного научного сотрудничества, развитие космических технологий и космических исследований, а также иных нормативно-правовых актах, регулирующих данную сферу деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное 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», 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 соответствует целям, представленным в Законе Республики Узбекистан № ЗРУ–1017 «О космической деятельности», подписанном 13 января 2025 года Президентом Республики Узбекистан, и других нормативно - правовых документах, связанных с данной деятельностью.

Степень изученности проблемы. Изучением солнечной активности, структуры и динамики короны, корональных ярких точек, корональных дыр и их взаимосвязи с другими проявлениями солнечной активности занимаются группы многих ведущих научных и образовательных центров мира, в том числе, в США: Национальная солнечная обсерватория, Национальный центр атмосферных исследований, Гарвард-Смитсоновский центр астрофизики, Кембридж, Колумбийская астрофизическая лаборатория университета

² O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni. <https://lex.uz/uz/docs/-5841063>

³ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi PF-158-son “O‘zbekiston — 2030” strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni. <https://lex.uz/uz/docs/-6600413>

⁴ <https://lex.uz/docs/-5338558>

⁵ O‘zbekiston Respublikasining Qonuni «Kosmik faoliyat to‘g‘risida», 13.01.2025 yildagi O‘RQ-1017-son <https://lex.uz/uz/docs/-7319204>

Колумбии, Университет штата Монтана, Университет штата Нью-Мексико; в России: Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской Академии наук, Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской Академии наук, Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук, Крымская астрофизическая обсерватория Российской Академии наук; в Европе: Институт Макса Планка по исследованию Солнечной системы (Германия), Хварская обсерватория Загребского университета (Хорватия), Институт физики Университета Граца (Австрия), Институт астрофизики Канарских островов (Испания), Центр математической плазменной астрофизики (Бельгия), Росселандский центр солнечной физики Университета Осло (Норвегия), Школа математики и статистики Университета Сент-Эндрюс (Великобритания), Университет Аберистута и Центр термоядерного синтеза, космоса и астрофизики Университета Уорика (Великобритания); в Китае: Факультет наук о Земле и космосе Пекинского университета, Национальная астрономическая обсерватория Китая, Университет Шаньдун Цзяотун, Обсерватория Пурпурной горы, Институт космических наук Шаньдунского университета; а также Кафедра физики и астрономии Сеульского национального университета (Республика Корея), Центр передового опыта в области космических наук Индии и Индийский институт астрофизики (Индия), Национальная астрономическая обсерватория и Научный центр Сугинами (Япония), Университет Зенджана (Иран), Грузинская национальная астрофизическая обсерватория имени Евгения Харадзе (Грузия), Астрономический институт имени Улугбека АН РУз и другие.

К ведущим специалистам в данной области исследований относятся Golub L., Krieger A.S., Harvey K.L., Vaiana G.S., Habbal Sh.R., Withbroe G.L., Sheeley N.R., Longcope D., Aver E., Kankelborg C., Pevtsov A.A., McAteer J., Boucheron L.E., Osorno M., Malanushenko A.V., Saar S., DeLuca E., Weber M., McIntosh S.W. (США); Наговицин Ю.А., Обридко В.Н., Тлатов А.Г., Абраменко В.И., Цап Ю.Т., Язев С.А., Куценко А.С., Плотников А.А., Загайнова Ю.Д., Кашапова Л.К. (Россия); Madjarska M. S., Sudar D., Brajša R., Skokić I., Temmer M., Kraus I., Bourdin P., Ramsey B., Morgan H., Verwichte E., Nóbrega-Siverio D., Moreno-Insertis F., Van Doorselaere T., Wiegelmann T., Mackay D.H., Galsgaard K. (Европа); Gao Y., Tian H., Chen Y., Xie H., Li D., Ning Z., Su Y., Huang Z., Xia L., Li B., Fu H., Jiao F., Hou Z. (Китай) и др.

Со времени открытия КЯТ с конца 60-х - начала 70-х годов прошлого столетия они оставались в центре внимания ученых в области физики Солнца, и до сих пор активно исследуются. Многие вопросы относительно их физических характеристик (таких как размер, температура, время жизни и др.), связь с фотосферными магнитными биполями, изменение их общего числа в зависимости от фаз солнечного цикла и т.д. изучены достаточно хорошо. Предложены несколько типов различных моделей формирования КЯТ.

Новые знания о корональных ярких точках расширялись в основном благодаря запуску внеатмосферных космических обсерваторий, таких как SkyLab, Yohkoh, SOHO, TRACE, Hinode, STEREO, SDO и других. На основе данных с возрастающим пространственным и временным разрешением, а также сопоставления данных в разных длинах волн от радио до ультрафиолетового и рентгеновского диапазона с данными по магнитным полям разрабатывались все более реалистичные модели формирования и эволюции корональных ярких точек. Частично изучены вопросы вклада КЯТ в общий энергобаланс короны, в процессы глобальной циркуляции магнитного поля и генерации солнечного ветра, а также связь с корональными дырами и активными регионами.

Свой вклад в изучение КЯТ и их связи с солнечной активностью внесли и узбекские ученые. Исследованием точечных транзиентов короны в рентгеновском диапазоне одним из первых в СССР занялся академик Ш.А. Эгамбердиев еще в начале 80-х, а позже работы в этой области были продолжены коллективом под руководством профессора И.С. Саттарова. Основными результатами, полученными узбекскими исследователями, являются локализация ярких рентгеновских точек относительно ячеек хромосферной сетки, разработка автоматической процедуры нахождения КЯТ на цифровых снимках Солнца, полученных с аппаратов Yohkoh, SOHO, SDO и др.; получена кривая изменения общего числа КЯТ с циклом солнечной активности; показано, что антикорреляция этой кривой с циклом солнечной активности вызвана не только эффектом видимости, предложенным другими авторами; с помощью отслеживания движения КЯТ исследовано дифференциальное вращение короны и т.д.

Несмотря на неугасающий интерес к данной теме, многие вопросы остаются открытыми и являются активными направлениями исследований. К таким вопросам относятся: роль КЯТ в глобальных процессах солнечной активности, взаимодействие с корональными дырами, вклад в нагрев короны и ускорение солнечного ветра, связь КЯТ с активными областями, супергрануляционными ячейками и волокнами.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного и научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Астрономического института Академии наук Республики Узбекистан и Ташкентского государственного педагогического университета в рамках научных проектов: ЁФ-ФА-Ф006 «Исследование связи мелкомасштабных образований солнечной короны с крупномасштабным магнитным полем» (2016-2017); Ф-6-14 «Исследование топологии и динамики развития магнитных полей на Солнце» (2014-2015); ОТ-Ф2-007 «Научно-методические исследования эволюции и механизма свечения корональных ярких точек» (2012-2016), ВА-ФА-Ф-2-009 «Солнечная активность: структура и эволюция корональных ярких точек, механизм связи с локальными магнитными полями» (2017-2020).

Целью исследования является выявление закономерностей формирования и пространственно-временного распределения КЯТ в зависимости от уровня солнечной активности, оценка их роли в процессах солнечной активности, в том числе в ускорении солнечного ветра, связи с корональными дырами и активными областями, а также общий вклад в эволюцию магнитных полей разных масштабов.

Задачи исследования можно разделить на следующие блоки:

Исследование мелкомасштабных структур короны, а именно:

- провести статистический анализ характеристик КЯТ и выявить возможные закономерности для их типизации;
- изучить пространственно-временное распределение КЯТ разных типов;
- исследовать особенности северо-южной асимметрии в распределении КЯТ;
- предложить физические механизмы, ответственные за формирование разных типов КЯТ;

Изучение связи КЯТ с крупномасштабными структурами:

- изучить связь КЯТ с КД и быстрым солнечным ветром;
- исследовать механизмы формирования КД и их роль в циклах солнечной активности;
- провести анализ связи КЯТ с другими проявлениями солнечной активности, в частности, с солнечными пятнами;

Наблюдательная база и инструментальная валидация:

- определить влияние различных факторов, в том числе инструментальных эффектов, на наблюдения основных проявлений солнечной активности в разные эпохи;
- создать электронный архив основных индексов солнечной активности на основе оригинальных наблюдательных данных из архива Астрономического института АН РУз;
- изучить долгопериодические изменения характера солнечной активности на основе архива солнечных наблюдений Астрономического института АН РУз.

Объектом исследования является солнечная корона, наблюдаемая в крайнем ультрафиолетовом диапазоне, а также магнитные поля, формирующие её структуру.

Предметом исследования являются мелкомасштабные образования солнечной короны – корональные яркие точки (КЯТ), их эволюция и взаимосвязь с другими структурами и процессами в короне, а также в нижележащих слоях солнечной атмосферы.

Методы исследования. В ходе исследования были применены современные методы обработки цифровых изображений Солнца, математические методы анализа временных рядов, методы конволюции (свертки) изображений, метод экстраполяции фотосферного магнитного поля через аппроксимацию потенциального поля источника-поверхности (Potential Field Source Surface, PFSS).

Научная новизна исследования заключается в следующем:

на основе статистического анализа разработана методика классификации корональных ярких точек и предложен критерий их разделения на яркие и тусклые, физически обосновано существование двух типов КЯТ и показано, что яркие КЯТ связаны с проявлением глобального циклического солнечного динамо, тогда как тусклые — с локальным турбулентным динамо;

по данным космической обсерватории SOHO определены пространственно-временное распределение различных типов КЯТ и северо-южная асимметрия на протяжении более двух циклов солнечной активности, при этом показано, что яркие КЯТ подчиняются закону Шпёрера и характеризуются закономерностями, близкими к асимметрии солнечных пятен, тогда как для тусклых КЯТ такая зависимость отсутствует, что свидетельствует о существовании двух различных физических механизмов их формирования;

установлена взаимосвязь КЯТ, корональных дыр и быстрого солнечного ветра, при этом показано, что скорость быстрого солнечного ветра наиболее тесно коррелирует с суммарной площадью корональных дыр, тогда как КЯТ не являются основным фактором ускорения солнечного ветра;

определены особенности формирования изолированных неполярных корональных дыр в остатках активных областей и предложен альтернативный механизм перехода от тороидального магнитного поля к полоидальному при смене солнечных циклов;

установлено влияние апертуры телескопа, рассеянного света и особенностей зрительного восприятия наблюдателя на число наблюдаемых солнечных пятен, количество их групп и площади, получены функциональные зависимости, позволяющие сопоставлять исторические и современные ряды наблюдений солнечной активности, и обоснована возможность их практического применения;

исследовано влияние градиента магнитного поля вдоль нейтральной линии на формирование солнечных волокон, выполнено сравнение магнитных характеристик областей с волокнами и без волокон, при этом обосновано, что горизонтальный градиент магнитного поля вдоль нейтральной линии не является единственным фактором, определяющим формирование солнечных волокон.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны классификация корональных ярких точек на основе их максимальной интенсивности и методика их автоматической классификации, которые могут использоваться при обработке долговременных рядов наблюдений и проведении статистического анализа;

получены функциональные зависимости, характеризующие влияние апертуры телескопа, рассеянного света и особенностей зрительного восприятия наблюдателя на число наблюдаемых солнечных пятен, количество их групп и площади, которые могут применяться при сопоставлении исторических и современных рядов наблюдений солнечной активности;

создан и размещен в открытом доступе электронный каталог основных индексов солнечной активности, основанный на наблюдениях, выполненных в Ташкенте, который может использоваться при исследовании долговременных изменений солнечной активности и в междисциплинарных исследованиях;

определен диапазон предпочтительных значений градиента магнитного поля вдоль нейтральной линии, характеризующий магнитную структуру солнечной атмосферы, и предложен альтернативный механизм перехода от тороидального магнитного поля к полоидальному при смене солнечных циклов, которые могут использоваться при моделировании эволюции магнитного поля Солнца.

Достоверность результатов исследования обосновывается использованием различных современных методов обработки и анализа данных с минимальным влиянием наблюдателя; сопоставление результатов с данными с разных инструментов, как с космических, так и с наземных, в разных диапазонах; тщательной проверкой согласованности полученных результатов с результатами других авторов; использование большого объема данных на значительных временных интервалах.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в том, что обоснование существования двух типов КЯТ и их связи соответственно с глобальным циклическим и локальным турбулентным солнечным динамо, установление взаимосвязи КЯТ, корональных дыр и быстрого солнечного ветра, а также выявление особенностей эволюции магнитного поля Солнца позволили расширить представления о механизмах формирования и эволюции магнитных структур солнечной короны, развитии цикла солнечной активности и процессах солнечного динамо.

Практическая значимость результатов исследования определяется тем, что разработаны методика автоматической классификации КЯТ, функциональные зависимости для сопоставления рядов наблюдений солнечных пятен и электронный каталог основных индексов солнечной активности по ташкентским наблюдениям, которые могут использоваться при моделировании солнечной короны, прогнозировании параметров космической погоды, исследовании долговременных изменений солнечной активности и влияния Солнца на климат Земли.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, полученных в рамках диссертационного исследования:

статья «Solar Wind and Coronal Bright Points inside Coronal Holes», опубликованная в 2011 году в журнале The Astrophysical Journal и посвященная исследованию взаимосвязи корональных ярких точек внутри корональных дыр с солнечным ветром, процитирована 21 раз;

статья «Formation of Coronal Holes on the Ashes of Active Regions», опубликованная в 2010 году в журнале The Astrophysical Journal и посвященная исследованию процессов формирования корональных дыр на месте распадающихся активных областей, процитирована 31 раз;

статья «The Effect of Telescope Aperture, Scattered Light and Human Vision on Early Measurements of Sunspot and Group Numbers», опубликованная в 2019 году в журнале Monthly Notices of the Royal Astronomical Society и посвященная оценке влияния апертуры телескопа, рассеянного света и особенностей человеческого зрения на определение числа солнечных пятен и их групп, процитирована 13 раз;

обзорная статья «Recalibration of the Sunspot-Number: Status Report», опубликованная в 2023 году в журнале Solar Physics в рамках международного сотрудничества по перекалибровке числа солнечных пятен, процитирована 72 раза;

статья «Hemispheric Asymmetry of Coronal Bright Point's Number and Area over Solar Cycles 23–24», опубликованная в 2025 году в журнале Monthly Notices of the Royal Astronomical Society и посвященная исследованию асимметрии числа и площади корональных ярких точек в северном и южном полушариях Солнца, процитирована 4 раза;

статья «Properties of Magnetic Neutral Line Gradients and Formation of Filaments», опубликованная в 2014 году в журнале Solar Physics и посвященная исследованию градиентов магнитных нейтральных линий и механизмов формирования солнечных филаментов, процитирована 5 раз.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований были представлены в виде докладов и обсуждались на более 30 международных и республиканских научно-практических конференциях, а также семинарах Астрономического института АН РУз (2013-2023), Национальной солнечной обсерватории (Санспот 2010-2011 гг., Боулдер 2018 г, США), Обсерватории Пурпурной горы Китайской академии наук (Нанкин 2024 г, Китай), на 2-ом совещании международной научной группы по перекалибровке временных рядов международного числа солнечных пятен в Международном институте космических наук (Берн 2019 г., Швейцария).

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано более 50 научных работ, в том числе 22 научных статей в реферируемых журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, из них 16 научных статей в специализированных престижных зарубежных изданиях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 190 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект, предмет и методы исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан,

изложена научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также о структуре диссертации.

В первой главе диссертации приведен краткий обзор истории открытия КЯТ, их наблюдаемых характеристик, морфологии, моделей формирования, а также сформулированы актуальные проблемы и открытые вопросы в области изучения данных объектов.

КЯТ были впервые обнаружены на рентгеновских снимках полного диска Солнца, полученных в ходе ракетных экспериментов в 1968–1973 годах, а позже – на снимках орбитальной обсерватории SkyLab, которые показали высокую неоднородность спокойной короны и наличие многочисленных ярких точечных структур. Эти образования были названы Яркими Рентгеновскими Точками (ЯРТ), так как они были обнаружены именно в рентгеновском диапазоне. Аналогичные образования впоследствии были выявлены в крайнем ультрафиолетовом и радиодиапазоне, что позволило объединить различные наблюдательные проявления под общим термином «корональная яркая точка».

КЯТ, по современным представлениям, состоят из мелкомасштабных петель с более горячими петлями накладываются на более холодные, соединяющие противоположные концентрации магнитного потока, наблюдаемые в хромосферной сетке на стыках ячеек супергрануляции. Петли КЯТ быстро развиваются в масштабах времени порядка 5 минут. Температура петель лежит в диапазоне от 1,2 до 3,4 МК. Основания петель КЯТ отчетливо видны при температурах хромосферы и переходной области, тогда как плазма на вершинах петель производит излучение преимущественно при корональных температурах.

Время жизни КЯТ варьируется в зависимости от диапазона наблюдения. При наблюдении в EUV на уровне 1 МК время жизни КЯТ обычно составляет менее 20 ч. В рентгеновском диапазоне они имеют более короткое время жизни, в среднем 11 ч. Причем, спектр жизни ЯРТ смещен в сторону более короткой продолжительности жизни, при этом число ЯРТ, живущих более 48 ч, более чем в 10 раз меньше, чем ЯРТ с продолжительностью жизни от 2 до 48 ч. Принимая это во внимание время жизни ЯРТ(или КЯТ в рентгеновском диапазоне), можно представить в виде следующей функцией из четырех параметров:

$$N(t) = N_s e^{-t/\tau_s} + N_l e^{-t/\tau_l}, \quad (1)$$

где N_s – число ЯРТ с более коротким временем жизни, N_l – число ЯРТ с более длинным, τ_s и τ_l – временем жизни для короткоживущих и долгоживущих ЯРТ соответственно. Причем, $\tau_s \approx 9$ ч, $\tau_l \approx 1.5$ дня, а соотношение $N_s/N_l \sim 10$. Более долгоживущие КЯТ чаще встречаются в широтах активных регионов, т.е. $\pm 30^\circ$, и более крупные КЯТ, как правило, имеют более продолжительное время жизни.

КЯТ — это уникальные компактные структуры солнечной атмосферы, активно влияющие на формирование и динамику солнечной активности. Несмотря на многолетние исследования, вопросы, касающиеся их физической

природы и роли в динамике короны и солнечной активности, остаются открытыми. Подчеркнута роль КЯТ в общей структуре солнечной короны, их связь с солнечными пятнами и корональными дырами, и важность их изучения для понимания механизмов солнечной активности.

Вторая глава диссертации посвящена описанию используемых данных и методов, здесь описывается основная модифицированная программа по автоматической идентификации КЯТ. В данной главе приводятся основные предпосылки и критерии выбора параметров для разделения КЯТ на две популяции.

В первом параграфе главы описаны используемые данные и методы. Для исследования использовались данные как с космических, так и наземных обсерваторий, в частности, данные с инструментов EIT и MDI космической обсерватории SOHO, инструмента SWEPAM на борту ACE, с инструментов AIA и MDI на борту SDO, данные из базы GONG, SOLIS, WDC-SILSO, а также наблюдения из солнечного архива Астрономического института АН РУЗ.

Дана краткая характеристика и описание метода моделирования магнитного поля короны через экстраполяцию фотосферного магнитного поля аппроксимацией потенциального поля источника-поверхности (Potential Field Source Surface, PFSS). На рисунке 1 представлен пример смоделированного магнитного поля с использованием описанного метода PFSS.

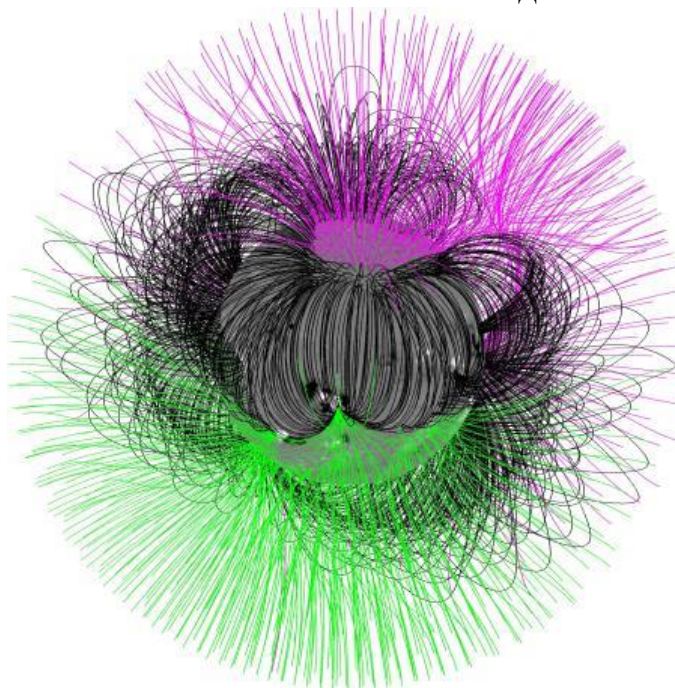


Рисунок 1. Смоделированное магнитное поле короны методом PFSS за 4 апреля 2003 года.

Далее дано краткое описание метода конволюции изображений, примененного для моделирования изображений с телескопов с разной апертурой.

Использование современных методов обработки и анализа данных, а также сопоставление наблюдений, полученных разными инструментами, обеспечивает надежность и достоверность результатов исследования. Применённые методы были выбраны на основе их актуальности и

эффективности для решения поставленных задач и ориентированы на достижение высокой точности и надёжности результатов. Такой комплексный подход обеспечил корректность последующего анализа и обоснованность выводов.

Во втором параграфе главы II подробно описана модифицированная программа автоматического нахождения КЯТ на снимках полного диска Солнца в крайнем ультрафиолете. Описаны основные шаги данной процедуры.

Далее приводятся аргументы в пользу существования двух отдельных типов КЯТ с различными механизмами формирования и характеристиками, и обсуждается значимость этого открытия для понимания физики солнечной короны и прогнозирования солнечной активности.

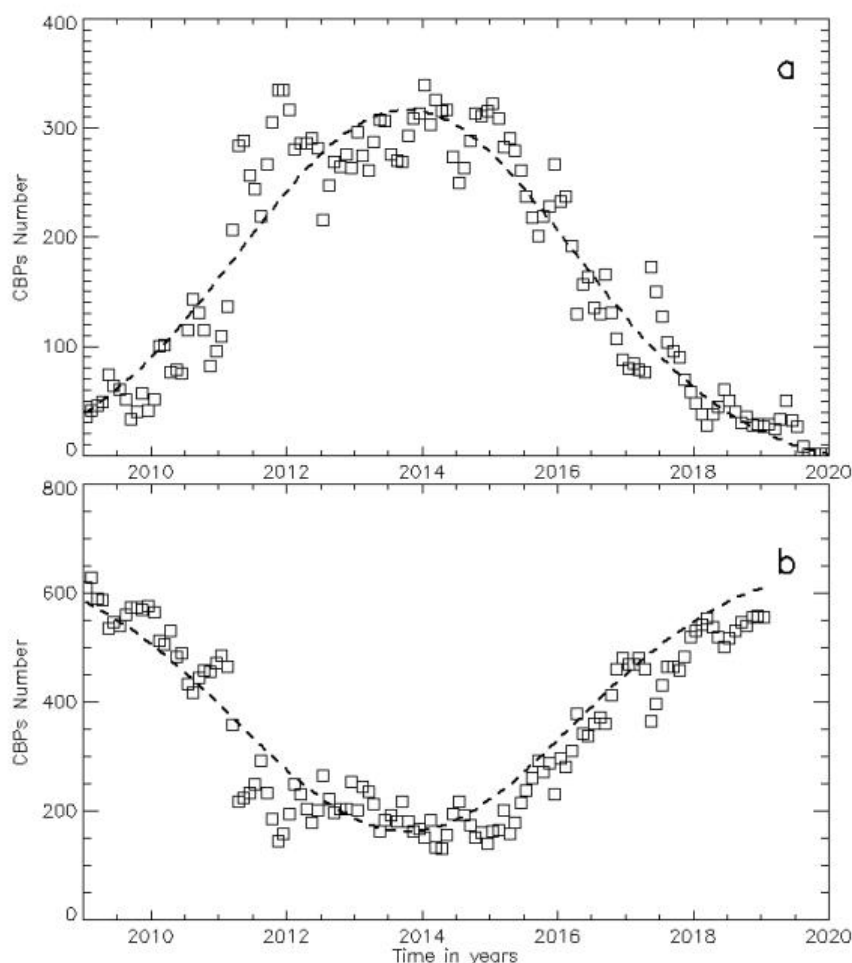


Рисунок 2. Изменение числа (а) «ярких» и (б) «тусклых» КЯТ (среднемесячное, квадраты) в 24 цикле солнечной активности. Пунктирные линии — аппроксимации распределений гауссовыми функциями.

Использована классификация КЯТ в зависимости от их максимальной интенсивности на яркие и тусклые. Обнаружены противоположные тенденции в изменении цикла тусклых и ярких КЯТ. Тусклые КЯТ, связанные со спокойным Солнцем, изменяются обратно пропорционально циклу солнечных пятен, в то время как изменение ярких КЯТ (относящихся к активным областям Солнца) показывает положительную корреляцию с циклом.

Широтное распределение тусклых КЯТ предполагает их равномерное распределение по Солнцу, в то время как яркие КЯТ показывают увеличение числа на широтах, связанных с поясами активности солнечных пятен.

Изменение числа тусклых и ярких КЯТ было аппроксимировано с помощью гауссовых функций (см. рисунок 2). Сумма этих двух функций показывает небольшое 30% падение около максимума цикла солнечной активности, тем самым поддерживая идею обратного изменения числа КЯТ с числом солнечных пятен. Высказано предположение, что уменьшение числа тусклых КЯТ в солнечном максимуме вызвано в основном уменьшением площади спокойных регионов Солнца со смешанной полярностью. Эффект видимости, когда яркая корона мешает обнаружению КЯТ, тоже дает свой вклад в уменьшение наблюдаемого числа точек в периоды высокой активности.

В пятом параграфе исследовано поведение КЯТ каждого типа и общего числа за 23 и 24 циклы солнечной активности. Показано, что обнаруженные тенденции для каждого типа на данных за 23 цикл проявляются и в 24 цикле. Хотя общее число КЯТ в годы максимума 23 и 24 циклов меняется незначительно (менее 3%), относительный вклад каждого типа значительно отличается.

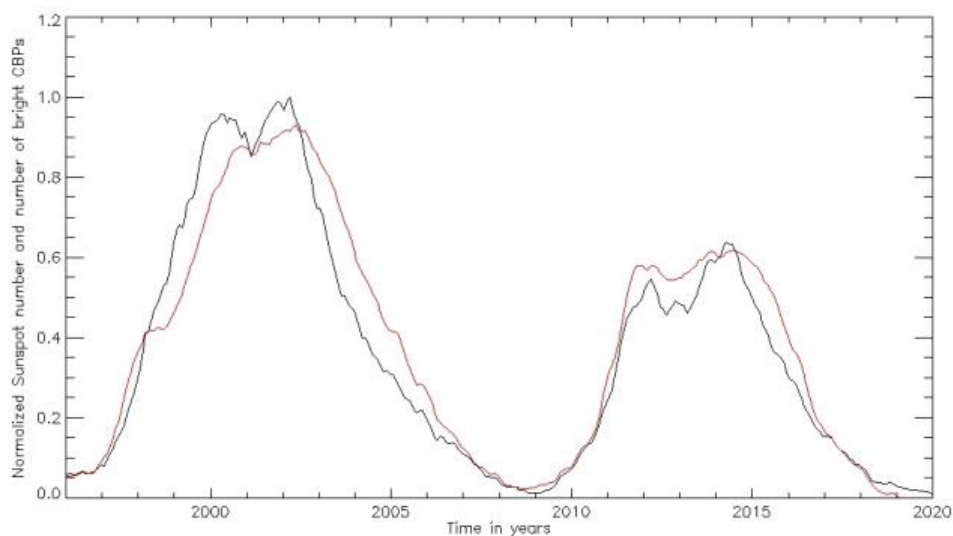


Рисунок 3. Изменение нормированного числа ярких КЯТ (красный) и международного числа солнечных пятен (черный).

Возможная причина – заметное снижение уровня активности в 24 цикле. Обнаружено среднее запаздывание числа ярких КЯТ по сравнению с вариациями числа солнечных пятен на 1 месяц (рисунок 3), что может быть следствием формирования данного типа КЯТ на остатках распадающихся активных областей.

В третьей главе диссертации представлены результаты статистического анализа пространственно-временного распределения ярких и тусклых КЯТ за 2 солнечных цикла, исследована северно-южная асимметрия числа и площади КЯТ двух типов, приведена дополнительная валидация существования двух

типов КЯТ, а также предложена их физическая интерпретация, основанная на связи с процессами глобального и локального динамо.

Установлено, что яркие КЯТ демонстрируют пространственно-временное распределение, подобное солнечным пятнам, подчиняясь закону Шпёрера. Наглядно данная закономерность представлена на рисунке 4 в виде диаграммы «бабочек» Маундера.

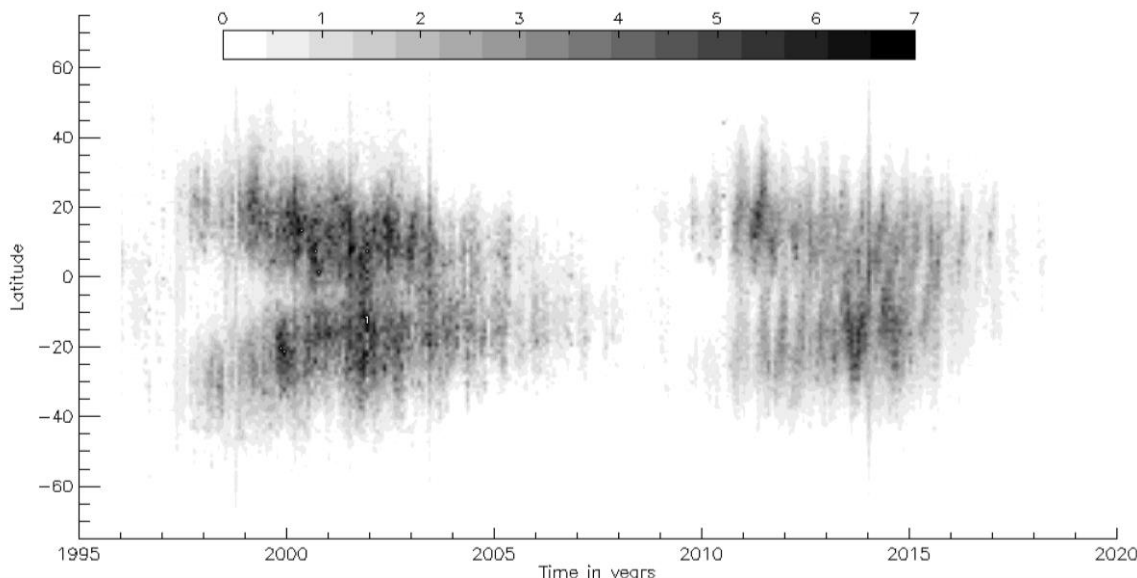


Рисунок 4. Пространственное распределение ярких КЯТ. Цветом обозначено среднее число ярких КЯТ на каждой снимке на соответствующей широте.

Для тусклых КЯТ такая закономерность отсутствует, что подтверждает существование двух различных механизмов их формирования.

В третьем параграфе главы проанализирована северо-южная асимметрия общего числа и площади КЯТ по типам. Перед анализом была проведена оценка статистической значимости северо-южной асимметрии. Для этого использовался t-критерий Стьюдента, определяемый как:

$$T = \frac{\sum \frac{D_i}{n}}{\sqrt{(\sum D_i^2 - \frac{(\sum D_i)^2}{n}) / (n(n-1))}} \quad (2)$$

где D_i — разность парных значений, а n — количество элементов в каждой группе, на которые мы разбиваем соответствующий временной ряд, причем $(n-1)$ — количество степеней свободы. Мы разбили все данные о количестве и площади КЯТ на 27 групп — по одной группе на каждый год в период 1996–2022 гг. В среднем в каждой группе около 24 значений — по два значения в месяц. Все параметры показали статистически значимую асимметрию в более чем 80 процентах групп.

Помимо индекса асимметрии как разницы параметров для северного и южного полушариев ($N-S$), был вычислен нормированный индекс асимметрии, который можно записать как:

$$N_A = \frac{N-S}{N+S}, \quad (3)$$

где N - общее количество или площадь КЯТ в северном полушарии, а S — число или площадь КЯТ в южном полушарии. На рисунке 5 показано изменение нормированного индекса асимметрии для тусклых КЯТ и числа солнечных пятен. Из рисунка видно, что число тусклых КЯТ постоянно выше в южном полушарии в течение всего периода (при этом нормализованный индекс асимметрии остается отрицательным), за исключением короткого периода в 2014 году, в отличие от солнечных пятен, у которых доминирующее полушарие сменяется в среднем более пяти раз.

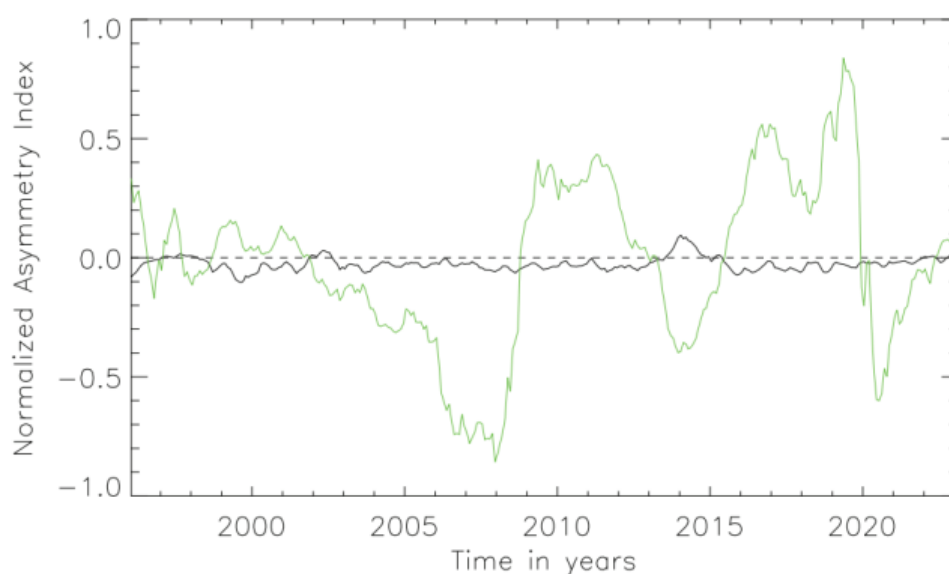


Рисунок 5. Изменение нормированного индекса асимметрии для тусклых КЯТ (черным) и числа солнечных пятен (зеленым).

Показано, что заметная асимметрия наблюдается как в общем числе, так и в площади КЯТ. Яркие КЯТ демонстрируют изменения общего числа и асимметрии, которые отражают изменения активных областей, что подтверждает гипотезу о том, что такие КЯТ являются миниатюрными активными областями, сформированными посредством аналогичных механизмов, хотя и в меньших масштабах. Равномерная асимметрия тусклых КЯТ, независимая от 11-летнего солнечного цикла, может свидетельствовать в пользу гипотезы о циклически-независимом (или зависящем от более длительного периода) компоненте солнечного динамо, в частности, мелкомасштабном турбулентном динамо, которое образует мелкомасштабные диполи равномерно по всему Солнцу.

В четвертом параграфе главы III выполнена независимая проверка существования двух различных популяций КЯТ методом, разработанным для классификации мелкомасштабных магнитных элементов. На основе данных EIT/SOHO за 1996–2020 гг. были построены временные ряды для 80 подгрупп, разделённых по интенсивности. Далее были вычислены линейные коэффициенты корреляции между числом солнечных пятен и числом КЯТ из

каждой подгруппы. Результаты распределения коэффициентов в зависимости от интенсивности каждой подгруппы представлены на рисунке 6. Корреляционный анализ между числом КЯТ каждой подгруппы и числом солнечных пятен показал наличие трёх категорий КЯТ: положительно коррелирующих, антикоррелирующих и некоррелирующих с солнечным циклом. Данная структура полностью согласуется с поведением двух популяций магнитных элементов, выявленных ранее для фотосферных полей.

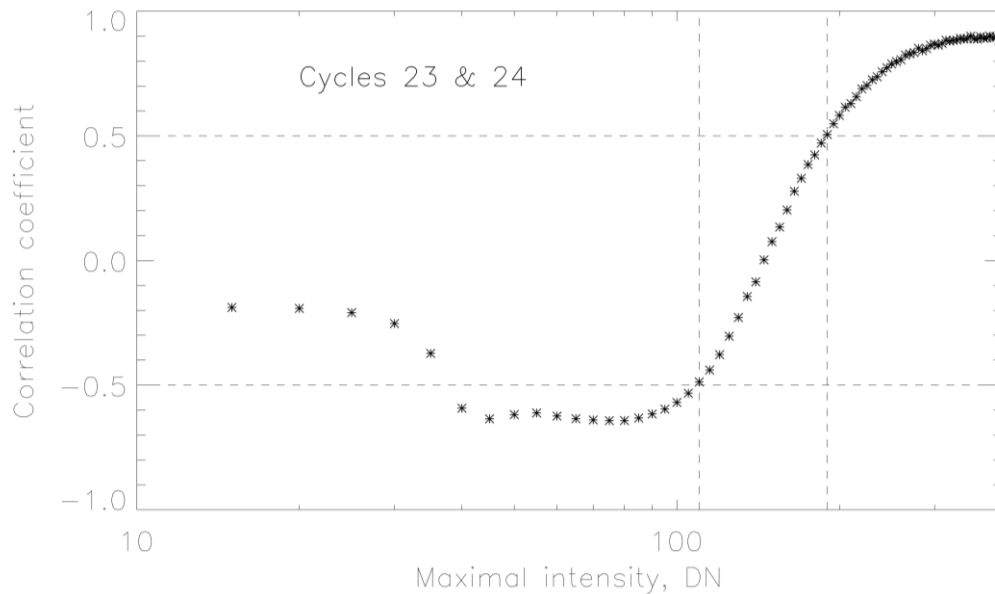


Рисунок 6. Коэффициенты корреляции между числом солнечных пятен и числом КЯТ за 23 и 24 солнечных циклы. Пунктирные линии указывают принятый порог $|r| = 0.5$, используемый для разделения положительно коррелированных, антикоррелированных и некоррелированных (или переходных) групп.

Полученные зависимости подтверждают существование двух типов КЯТ: ярких, количество которых растёт в соответствии с циклом солнечной активности, и тусклых, число которых либо антикоррелирует с циклом, либо не демонстрирует чёткой зависимости. Переходная группа КЯТ проявляет смешанные свойства, однако её вклад мал и не влияет на общий вывод. Анализ, выполненный по данным AIA/SDO, подтвердил устойчивость выявленных закономерностей. Тем самым проведённая валидация надёжно подтверждает существование двух популяций КЯТ и устанавливает количественные границы интенсивностей для их разделения в циклах 23 и 24.

В пятом параграфе третьей главы представлена физическая интерпретация двух типов КЯТ. Предложено связывать яркие КЯТ с более сильными магнитными элементами, включая остатки активных областей и эфемерные биполи, возникающие под действием глобального циклического динамо. Их количество положительно коррелирует с числом солнечных пятен и несколько запаздывает относительно него, что согласуется с формированием ярких КЯТ на стадии распада активных областей.

Тусклые КЯТ ассоциируются со слабыми магнитными элементами, генерируемыми локальным турбулентным динамо, действующим независимо от 11-летнего цикла. Эти КЯТ демонстрируют слабую или отрицательную корреляцию с солнечными пятнами, более равномерное распределение по диску, а их динамика определяется мелкомасштабными процессами.

Сравнение поведения КЯТ в циклах 23 и 24 показало, что уменьшение эффективности глобального динамо в слабом 24-м цикле привело к снижению числа ярких КЯТ и смещению порогов интенсивности, соответствующих различным популяциям. Выявленные закономерности хорошо согласуются с трёхмерными моделями совместного действия глобального и локального динамо, согласно которым мелкомасштабное поле может как коррелировать, так и антикоррелировать с крупномасштабным циклом в зависимости от соотношения вкладов двух динамо-механизмов.

Четвёртая глава посвящена взаимодействию КЯТ с корональными дырами (КД) – другими важными структурами солнечной короны. В первом параграфе рассмотрен один из механизмов формирования изолированных КД. Показано, что рассмотренные КД образовались на местах распада активных областей (АО). Один из таких случаев приведен на рисунке 7.

Для всех рассмотренных случаев образования КД были вычислены следующие параметры: вертикальный магнитный поток B_z положительной и отрицательной полярности, полный беззнаковый поток через плоскость, касательную к локальной поверхности, дисбаланс потока, а также компактность. В качестве меры компактности использовался эффективный радиус магнитной полярности, взвешенный по ее магнитному потоку.

Радиус вычислялся относительно центра тяжести положительного/отрицательного потока. Меньший r_{eff} указывает на более компактное распределение потока:

$$r_{eff}^2 = \frac{1}{S} \sum ((x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2) B_z(x, y), \quad (4)$$

где $S = \sum B_z(x, y)$ и $\bar{x}, \bar{y}$ усредненные координаты x, y пикселей отрицательной (положительной) полярности B_z .

Получено, что по мере распада АО разница в скорости рассеивания двух полярностей приводит к дисбалансу потока в остатках рассеивающих АО и приводит к образованию изолированной КД. В результате этого процесса происходит переход от топологии биполярной АО с ориентации E–W к ориентации N–S в КД, что может указывать на трансформацию тороидального поля в полоидальное. Эта трансформация необходима в рамках феноменологической модели солнечного цикла Бэбкока–Лейтона, и мы наблюдаем указанную выше эволюцию во время солнечного минимума или в начале солнечного цикла 24. Наши наблюдения дают наглядный пример того, как может измениться магнитная связность замкнутых потоковых систем и что поток может трансформироваться между ранее независимыми системами.

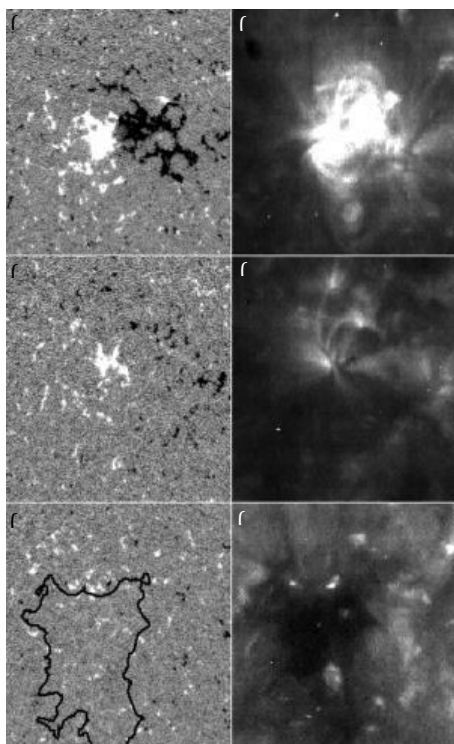


Рисунок 7. Магнитные поля (левая колонка) и изображения (правая колонка), показывающие эволюцию активной области AR 11017 в течение трех солнечных оборотов: 16 мая 2009 г. (панели a и b), 12 июня 2009 г. (c и d) и 9 июля 2009 г. (e и f). Белые (черные) полутона на магнитограммах соответствуют полю положительной (отрицательной) полярности. Черная сплошная линия на панели (e) очерчивает внешнюю границу КД, показанную на панели (f).

Моделирование магнитного поля корональных дыр методом PFSS показало, что во всех рассмотренных примерах магнитные линии изолированных КД замыкаются преимущественно на северной полярной дыре, хотя в одном случае присутствуют и открытые линии. В этот период наблюдался устойчивый дисбаланс полярных полей: магнитное поле северного полюса (отрицательной полярности) превышало поле южного. Соединение изолированных КД с северной полярной дырой способствует снижению избытка открытого потока на северном полюсе и, таким образом, поддержанию глобального баланса магнитного потока на Солнце.

Далее изучена корреляция скорости быстрого солнечного ветра с площадью корональных дыр и числом КЯТ внутри них. Были вычислены различные параметры для каждой КД, включая общую площадь КД (без каких-либо ограничений) в плоскости изображения, депроецированную площадь КД (в квадратных градусах на поверхности Солнца) и общую интенсивность всех пикселей внутри КД. В таблице 1 перечислены коэффициенты корреляции Спирмена и Пирсона между скоростью СВ (V_{sw}) и площадью КД (A_{CH}), интегральной интенсивностью КД (I_{CH}), площадью КД, занимаемой КЯТ (A_{CVR}), интегральной яркостью КЯТ в КД (I_{CVR}), порогом, используемым для определения границы КД (L_{CH}), и общей яркостью солнечного диска (I_{FD}). Показаны коэффициенты корреляции как для полуавтоматического, так и для автоматического (указаны в скобках с пометкой a) методов идентификации границ КД.

Из пяти параметров общая площадь КД наиболее сильно коррелирует со скоростью СВ. Корреляция выше для области, измеренной в плоскости изображения, A_{CH} , по сравнению с депроецированной областью, $A_{CH} (deg)$. Мы интерпретируем это как указание на то, что низкоширотные части КД вносят

больший вклад в СВ, наблюдаемый в плоскости эклиптики, по сравнению с высокоширотными частями КД. Чтобы проверить уникальность каждой корреляции, мы исследовали возможность мультикорреляции в виде:

$$V_{SW} = f(A_{CH}, I_{CH}), \quad (5)$$

где f — линейная функция двух параметров, в данном случае площади КД и общей интенсивности КД.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между скоростью СВ и другими параметрами.

Parameters	Spearman's Rank Correlation Coefficient	Significance of Its Deviation from Zero	Linear Pearson Correlation Coefficient
V_{SW} vs. A_{CH} (deg)	0.480	1.4×10^{-7}	0.494
V_{SW} vs. A_{CH}	0.561 (0.553) ^a	2.7×10^{-10}	0.546 (0.492) ^a
V_{SW} vs. I_{CH}	0.479 (0.465) ^a	1.6×10^{-7}	0.452 (0.343) ^a
V_{SW} vs. A_{CBPs}	0.327 (0.422) ^a	5.6×10^{-4}	0.305 (0.295) ^a
V_{SW} vs. I_{CBPs}	0.383 (0.408) ^a	4.3×10^{-5}	0.327 (0.246) ^a
V_{SW} vs. $f(A_{CH}, I_{CH})$	0.471 (0.447) ^a	2.7×10^{-7}	0.445 (0.318) ^a
A_{CH} (deg) vs. I_{CH}	0.837	1.7×10^{-29}	0.831
A_{CH} vs. I_{CH}	0.892 (0.945) ^a	2.3×10^{-38}	0.915 (0.921) ^a
A_{CH} vs. L_{CH}	-0.037	7.0×10^{-1}	0.026
A_{CH} vs. A_{CBPs}	0.649 (0.865) ^a	3.1×10^{-14}	0.744 (0.851) ^a
A_{CH} vs. I_{CBPs}	0.775 (0.894) ^a	8.1×10^{-23}	0.801 (0.838) ^a
A_{CH} vs. I_{FD}	-0.051	6.0×10^{-1}	0.031
I_{FD} vs. L_{CH}	0.855	5.5×10^{-32}	0.880
I_{FD} vs. I_{CH}	0.304	1.4×10^{-3}	0.331
I_{FD} vs. I_{CBPs}	0.335	3.9×10^{-4}	0.360
I_{CH} vs. I_{CBPs}	0.888	1.7×10^{-37}	0.923
I_{CH} vs. L_{CH}	0.356	1.5×10^{-4}	0.374

Корреляция, полученная в результате этого мультикорреляционного анализа, оказалась не сильнее, чем корреляция между V_{SW} и A_{CH} или I_{CH} . Таким образом, мы приходим к выводу, что корреляция между скоростью СВ и площадью КД является первичной корреляцией, тогда как корреляция между V_{SW} и I_{CH} является результатом интеркорреляции между площадью и интенсивностью КД.

В третьем параграфе исследована корреляция скорости СВ и площади КД в зависимости от уровня солнечной активности, а в четвертом - роль КЯТ в ускорении СВ. Показано, что КЯТ не являются основным фактором ускорения солнечного ветра, исходящего из КД.

В пятой главе диссертации рассмотрены другие проявления солнечной активности, тесно связанные с КЯТ, такие как волокна и солнечные пятна, а также эффекты, влияющие на наблюдения солнечных явлений. Волокна представляют интерес т.к. подобия аналогичных проявлений, но в более мелком масштабе, мы наблюдаем и в КЯТ. Например, формирование мини волокон наблюдается в некоторых КЯТ, особенно при мини-извержениях. Такие мини-волокна формируются, как и обычные волокна, вдоль линии раздела полярностей в биполярной структуре соответствующей КЯТ. Однако, неясно, почему в одних КЯТ такие мини-волокна наблюдаются, а в других нет. Возможно, играет роль конфигурация и особенности магнитного поля в таких структурах. Для изучения особенностей формирования волокон было

проведено статистическое исследование зависимости появления волокон от градиента магнитного поля.

Был обнаружен предпочтительный диапазон градиентов магнитного поля вблизи нейтральной линии (НЛ), где волокна наблюдаются чаще. Он составляет от 0,0025 до 0,019 Гс км⁻¹. Однако, сам факт того, что горизонтальный градиент через магнитную НЛ попадает в «предпочтительный» диапазон, не гарантирует, что волокно сформируется в этом месте, т.к. большая часть НЛ, которые демонстрируют схожие градиенты, остаются пустыми от вещества волокон.

Следующая часть главы посвящена солнечным пятнам как ключевому индикатору глобальной цикличности солнечной активности и связанным с ними индексам. Представлен первый электронный каталог основных индексов солнечной активности по наблюдениям Солнца в Ташкенте за 1932–2000 гг., размещённый в открытом доступе (Harvard Dataverse: <https://doi.org/10.7910/DVN/6XPXC1>). Каталог содержит среднемесячные значения чисел Вольфа, числа групп и площадей солнечных пятен; выполнено их сравнение с существующими международными каталогами, показавшее высокую стабильность и однородность данных. Описана разработанная автоматическая программа идентификации солнечных пятен и вычисления числа Вольфа по цифровым изображениям Солнца.

В шестом и седьмом параграфах исследованы некоторые инструментальные эффекты, влияющие на наблюдение солнечных явлений. В частности, рассмотрены вопросы влияния апертуры телескопа, наличия рассеянного света и качества оптики на различные индексы солнечной активности, основанные на наблюдении солнечных пятен. Для данной цели были смоделированы изображения Солнца, получаемые с телескопов разной апертуры. Для этого использовался метод конволюции или свертки снимка. В качестве ядра свертки была взята Гауссиана. Полная ширина на уровне половины максимума (FWHM) Гауссианы является разрешением моделируемого изображения телескопа.

$$FWHM = 2 \sqrt{2 \ln 2} \sigma \quad (6)$$

Зная данную величину, апертура телескопа была вычислена по формуле критерия Рэлея. Для моделирования эффекта рассеянного света мы выполняли конволюцию снимка с внесением в функцию двух уровней рассеянного света – 2 и 5 % от средней интенсивности солнечного изображения.

Анализ полученных зависимостей индексов активности от апертуры телескопа показал, что для небольших телескопов апертура играет наиболее значительную роль в ухудшении качества изображений, но для телескопов с большими апертурами наличие рассеянного света является более важным фактором. Полученные зависимости можно аппроксимировать функцией вида $y = a_0 + a_1 \log(x) + a_2 \log^2(x)$. Коэффициенты подобранных кривых приведены в таблице 2 для числа солнечных пятен (SSN), числа групп солнечных пятен (GN) и площади солнечных пятен (Area). Приставка +S означает тот же параметр, но с внесением рассеянного света.

Таблица 2. Коэффициенты функции $y = a_0 + a_1 \log(x) + a_2 \log^2(x)$, подобранные к данным.

	SSN	SSN + S	GN	GN + S	Area	Area + S
a_0	− 0.153	− 0.356	− 0.576	− 0.666	− 0.754	− 0.843
a_1	0.271	0.626	1.210	1.286	1.717	1.747
a_2	0.129	− 0.037	− 0.222	− 0.254	− 0.423	− 0.422

Полученные зависимости могут быть использованы для оценки и сравнения измерений солнечной активности, проводимых сотни лет назад, с современными показателями.

Также проанализированы вариации отношения числа солнечных пятен к числу групп пятен (SSN/GN). Показано, что это отношение зависит от апертуры инструмента и существенно различается для телескопов с диаметром менее и более 80 мм. На основе архивных данных АИ АН РУЗ прослежены изменения SSN/GN в нескольких циклах, выявлена его внутренняя цикличность и межцикловая вариабельность. Учитывая, что расхождения между сериями SN и GN ранее приводили к их пересмотру, при сравнении современных данных с историческими наблюдениями необходимо учитывать как аппаратную нелинейность отношения SSN/GN, так и его изменение от цикла к циклу вследствие эволюции солнечной активности.

В целом, при изучении различных солнечных явлений важно понимать и оценивать вклад инструментальных и наблюдательных эффектов, оказывающих влияние на регистрируемые параметры, и вносить поправки, компенсирующие данное влияние.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

По результатам исследований, проведенных по теме диссертации доктора наук (DSc) «Два типа корональных ярких точек: связь с крупномасштабной и локальной активностью», были получены следующие основные результаты:

1. На основе модифицированной автором автоматической процедуры идентификации КЯТ на изображениях полного диска Солнца с инструмента ЕИТ/SOHO в спектральном диапазоне 195 Å выполнен статистический анализ и построены графические зависимости двух популяций КЯТ. Разделение КЯТ на типы проведено по их максимальной интенсивности с использованием принятого порогового значения $I_{\max} = 150 \text{ DN s}^{-1}$: КЯТ с меньшей интенсивностью отнесены к тусклым, с большей — к ярким.
2. Получено, что пространственное распределение КЯТ разных типов изменяется по-разному с течением цикла солнечной активности: яркие КЯТ подчиняются закону Шпёрера для солнечных пятен, появляясь в начале

солнечного цикла на широтах 30° - 40° и с развитием цикла мигрируют к более низким широтам вплоть до экватора. У КЯТ более низкой интенсивности (тусклые) такой закономерности не наблюдается: они появляются более равномерно на всех широтах на протяжении всего цикла. Данный результат подтверждает предположение о наличии двух типов КЯТ, связанными с разными компонентами магнитного поля Солнца.

3. Показано, что КЯТ обнаруживают северо-южную асимметрию в изменении общего числа и площади по полушариям в течение 23-24 циклов солнечной активности. Получено, что хотя амплитуда различий между числом и площадью КЯТ в разных полушариях не превышает 15% за два цикла, данные различия статистически значимы. Показано, что асимметрия КЯТ вызвана особенностями формирования КЯТ, а не влиянием активных областей.

4. Получено, что асимметрия КЯТ разных типов значительно отличается: асимметрия ярких КЯТ очень близка к асимметрии солнечных пятен, а распределение тусклых более равномерное, свидетельствующее в пользу их связи с независимой от цикла компонентой мелкомасштабного турбулентного динамо.

5. Независимым сравнительным анализом по данным двух космических обсерваторий — SOHO/EIT и SDO/AIA — подтверждено существование статистически различимых популяций корональных ярких точек. Предложена усовершенствованная методика их разделения на популяции на основе распределения корреляционных коэффициентов и максимальной интенсивности.

6. Впервые предложено физическое объяснение существования двух типов корональных ярких точек как проявления двух режимов солнечного динамо: глобального циклического, связанного с активными областями, и локального турбулентного, независимого от 11-летнего цикла.

7. Показано, что процессы пересоединения, происходящие в КЯТ, не служат основным механизмом ускорения быстрого солнечного ветра, исходящего из изолированных внеполярных корональных дыр (КД). Подтверждено, что скорость быстрого солнечного ветра больше всего коррелирует с площадью корональной дыры. Эта корреляция меняется в зависимости от уровня солнечной активности, достигая пика в периоды умеренной активности, немного уменьшаясь при более высоких или более низких уровнях активности.

8. Получены особенности распределения КЯТ внутри изолированных внеполярных корональных дыр: плотность КЯТ, наблюдаемых во внутренней части корональных дыр, выше, чем у границ КД.

9. Описан процесс формирования изолированных неполярных корональных дыр на остатках активных областей. Показано, что КД могут образовываться как на остатках ведущей, так и хвостовой полярности активной области.

10. Показано, что во всех четырех рассмотренных случаях линии магнитного поля КД согласно экстраполяции потенциального поля (PFSS) замыкались на северной полярной корональной дыре, которая находилась в дисбалансе с южной полярной КД, тем самым поддерживая общий баланс потока на Солнце, а также реализуя трансформацию тороидального поля в полоидальное, необходимую в рамках феноменологической модели солнечного цикла Бэбкока–Лейтона.
11. Получены функциональные зависимости вида $y = a_0 + a_1 \log(x) + a_2 \log^2(x)$ для числа солнечных пятен, групп солнечных пятен и площади солнечных пятен от апертуры используемого для наблюдений телескопа для случаев с наличием значительного рассеянного света и без него.
12. Показано, что число солнечных пятен больше всего подвержено влиянию качества телескопа, особенностей человеческого зрения и условий наблюдений, чем число групп солнечных пятен и площадь. Площадь солнечных пятен меньше всего подвержена такому влиянию.
13. Вычислен диапазон предпочтительных значений градиента магнитного поля вдоль нейтральной линии на снимках полного диска Солнца в линии H α , где хромосферные волокна формируются намного чаще. Он составляет от 0,0025 до 0,019 Гс км⁻¹. Показано, что только горизонтальный градиент магнитного поля вдоль нейтральной линии не является определяющим фактором для формирования волокна.
14. Создан первый электронный каталог основных индексов солнечной активности по данным наблюдений из архива Астрономического института АН РУз, охватывающий период с 1932 по 2000 года. Проведен сравнительный анализ данных с существующими каталогами, который показал хорошую согласованность и высокую степень корреляции между различными источниками данных, что указывает на возможность использования каталога в исследованиях солнечной активности, а также междисциплинарных исследованиях.

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL AT THE SCIENTIFIC COUNCIL
AWARDING OF THE SCIENTIFIC DEGREES
PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 AT THE ASTRONOMICAL INSTITUTE**

ASTRONOMICAL INSTITUTE

KARACHIK NINA VALEREVNA

**TWO TYPES OF CORONAL BRIGHT POINTS: LINKS TO
LARGE-SCALE AND LOCAL SOLAR ACTIVITY**

01.03.01 – Astronomy

**ABSTRACT OF DOCTORAL (DSc) DISSERTATION
ON THE PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent– 2026

The theme of the dissertation of doctor of physical and mathematical sciences (DSc) was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2026.1.DSc/FM319.

The Doctoral dissertation was carried out at the Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

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).

Scientific consultant:

Ehgamberdiev Shukhrat Abdumannapovich,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Academician of the Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan

Official opponents:

Ahmedov Bobomurat Juraevich,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Academician of the Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan

Grigoriev Viktor Mikhailovich,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, Corresponding member of the Russian
Academy of Sciences

Toshmatov Bobir Abdumanonovich,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Leading organization:

**Crimean Astrophysical Observatory Russian
Academy of Sciences, Russia**

The defense of the dissertation will be held on « 24 » August 2026 at 14:00 at the meeting of the One-time Scientific Council on the basis of the Scientific Council No. PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 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 (DSc) dissertation can be looked through the Information-Resource Center of Astronomical Institute (registered under No 100-Д). Address: Astronomical Institute, 33 Astronomy st., 100052, Tashkent, phone: (+99871) 235-81-02.

The abstract of dissertation was distributed on « 10 » August 2026.
(Registry record No. 4 dated « 10 » August 2026).

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

K.E. Ergashev,
Scientific Secretary of the One-time Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
PhD., Senior scientific researcher

A.B. Abdikamalov,
Chairman of the Scientific Seminar of the One-time Scientific
Council on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., Senior scientific researcher

INTRODUCTION (Annotation of doctoral (DSc) dissertation)

Relevance and significance of the research topic. In recent years, the study of coronal bright points (CBPs) on the Sun has gained particular importance due to the growing interest in solar–terrestrial relations and space weather. CBPs are important indicators of processes occurring in the solar corona and are associated with manifestations of solar activity such as solar flares, coronal mass ejections, and solar wind acceleration. Their study provides deeper insight into magnetic reconnection processes and contributes to improving models of solar atmospheric dynamics, as well as enhancing the accuracy of space weather forecasting. The solar corona plays a key role in the formation of space weather and is the source of the solar wind. Despite significant progress in observations, many fundamental problems remain unresolved, including coronal heating, solar wind acceleration, and the mechanisms underlying solar activity and its cyclic behavior. Modern high-resolution observations have shown that small-scale structures dominate in the corona, among which coronal bright points occupy a special place. CBPs are systems of small-scale coronal loops with enhanced emission in the extreme ultraviolet and X-ray ranges, connecting magnetic flux concentrations of opposite polarity. Their study is one of the most important directions in modern solar physics, as they reflect the interaction between magnetic fields and plasma in the solar atmosphere.

Degree of study of the problem. CBPs have been actively studied since their discovery in the late 1960s and early 1970s. Space missions such as SOHO, SDO, and Hinode have provided a large volume of observational data on their physical properties, evolution, and connection with magnetic structures. However, several questions remain open, including their role in global solar activity, their contribution to coronal heating and solar wind acceleration, and their formation mechanisms.

Aim and objectives of the research. The aim of this study is to identify the regularities of formation and spatio-temporal distribution of coronal bright points depending on the level of solar activity, as well as to assess their role in solar activity processes.

To achieve this aim, the following tasks were addressed:

- to perform a statistical analysis of CBP characteristics and develop a classification criterion;
- to study the spatio-temporal distribution of different types of CBPs;
- to investigate north–south asymmetry;
- to analyze the relationship of CBPs with coronal holes, solar wind, and sunspots;
- to assess the influence of instrumental factors on observed solar activity parameters;
- to create an electronic catalog of solar activity indices.

The object of the research is the solar corona and the magnetic fields that shape its structure.

The subject of the research is coronal bright points, their properties, evolution, and relationship with other manifestations of solar activity.

Research methods. The study employs modern methods of solar image processing, statistical analysis of time series, image convolution techniques, and magnetic field extrapolation using the Potential Field Source Surface (PFSS) model.

Scientific novelty. For the first time:

- a criterion for classifying CBPs into two types (bright and dim) based on their maximum intensity has been developed;
- a physical explanation for the existence of two types of CBPs is proposed, linking them to global and local dynamo mechanisms;
- differences in the spatio-temporal distribution of CBPs of different types are established;
- features of north–south asymmetry are identified;
- the relationship between CBPs, coronal holes, and solar wind is investigated;
- the influence of instrumental factors on sunspot observations is analyzed;
- an electronic catalog of solar activity indices is created.

Practical significance. The results can be used to improve models of the solar corona, enhance space weather forecasting, and analyze long-term variations in solar activity. The developed electronic catalog represents a valuable resource for further studies and interdisciplinary research.

Reliability of the results is ensured by the use of modern data analysis methods, comparison with observations from different instruments, and consistency with results obtained by other researchers.

Dissemination and publications. The results of the research have been presented at more than 30 international and national conferences and published in peer-reviewed journals indexed in major international databases. The total number of publications related to the dissertation topic exceeds 50, including 22 articles published in peer-reviewed journals approved by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for reporting the main scientific results of dissertations. Sixteen articles have been published in reputable international journals.

Structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, and a list of references. The dissertation comprises 190 pages.

MAIN RESULTS AND CONCLUSIONS OBTAINED IN THE DISSERTATION WORK

Based on the results of the research conducted within the framework of the Doctor of Science (DSc) dissertation entitled “Two Types of Coronal Bright Points: Their Relation to Large-Scale and Local Solar Activity,” the following main results were obtained:

1. A statistical analysis was performed and graphical dependencies for two populations of coronal bright points (CBPs) were constructed using a modified automatic identification procedure developed by the author and applied to full-disk solar images from the SOHO/EIT instrument in the 195 Å spectral range. CBPs were classified according to their maximum intensity using a threshold value of $I_{\max} =$

150 DN s⁻¹: low-intensity CBPs were classified as dim, and high-intensity ones as bright.

2. It was found that the spatial distribution of CBPs of different types varies differently over the solar activity cycle: bright CBPs follow Spörer's law for sunspots, appearing at latitudes of 30°–40° at the beginning of the cycle and migrating toward lower latitudes as the cycle progresses, reaching the equator. In contrast, dim CBPs do not exhibit such behavior and are distributed more uniformly across all latitudes throughout the cycle. This result confirms the existence of two types of CBPs associated with different components of the solar magnetic field.

3. It was shown that CBPs exhibit north–south asymmetry in both total number and area over solar cycles 23–24. Although the amplitude of differences between hemispheres does not exceed 15% over two cycles, these differences are statistically significant. The asymmetry is attributed to intrinsic formation properties of CBPs rather than the influence of active regions.

4. The asymmetry differs significantly between CBP types: bright CBPs show asymmetry similar to that of sunspots, whereas dim CBPs are more uniformly distributed, supporting their connection with a cycle-independent component of small-scale turbulent dynamo action.

5. An independent comparative analysis based on data from two space observatories—SOHO/EIT and SDO/AIA—confirmed the existence of statistically distinct populations of CBPs. An improved method for separating these populations based on the distribution of correlation coefficients and maximum intensity was proposed.

6. For the first time, a physical explanation for the existence of two types of CBPs is proposed, linking them to two regimes of the solar dynamo: a global cyclic component associated with active regions and a local turbulent component independent of the 11-year cycle.

7. It was shown that magnetic reconnection processes occurring in CBPs are not the primary mechanism for accelerating the fast solar wind originating from isolated non-polar coronal holes. It was confirmed that the speed of the fast solar wind correlates most strongly with the area of coronal holes. This correlation varies with the level of solar activity, peaking during moderate activity and slightly decreasing at higher and lower activity levels.

8. Specific features of the distribution of CBPs within isolated non-polar coronal holes were identified: the density of CBPs in the interior of coronal holes is higher than near their boundaries.

9. The process of formation of isolated non-polar coronal holes on the remnants of active regions was described. It was shown that such coronal holes can form on both the leading and trailing polarity remnants of active regions.

10. It was shown that in all four studied cases, the magnetic field lines of coronal holes, according to Potential Field Source Surface (PFSS) extrapolation, connect to the northern polar coronal hole, which is imbalanced relative to the southern polar coronal hole. This maintains the global magnetic flux balance on the Sun and

contributes to the transformation of toroidal magnetic field into poloidal field, as required in the Babcock–Leighton model of the solar cycle.

11. Functional relationships of the form $y = a_0 + a_1 \log(x) + a_2 \log^2(x)$ were obtained for the dependence of sunspot number, sunspot group number, and sunspot area on telescope aperture, both in the presence and absence of significant scattered light.

12. It was shown that the sunspot number is more sensitive to telescope quality, human vision, and observing conditions than the sunspot group number and sunspot area, while the sunspot area is least affected by these factors.

13. A preferred range of magnetic field gradient values along the neutral line in full-disk $H\alpha$ images was determined, where chromospheric filaments form more frequently: from 0.0025 to 0.019 G km⁻¹. It was shown that the horizontal magnetic field gradient alone is not a determining factor for filament formation.

14. The first electronic catalog of major solar activity indices based on archival observations from the Astronomical Institute of the Academy of Sciences of Uzbekistan was created, covering the period from 1932 to 2000. A comparative analysis with existing catalogs demonstrated good agreement and a high degree of correlation between different data sources, indicating that the catalog can be effectively used in solar activity studies and interdisciplinary research.

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

I bo'lim (I часть; part I)

1. **Karachik N.** Two types of coronal bright points as indicators of global and local dynamo processes // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2025, Vol. 543, Issue 4, pp. 3975-3980. (№ 1. Web of Science; IF = 4,8) <https://doi.org/10.1093/mnras/staf1666>
2. **Karachik N.V.,** Minenko E.P., Ehgamberdiev S.A. Historical Solar Observations Archive at the Ulugh Beg Astronomical Institute (Tashkent): Catalog of Monthly Averaged Sunspot Activity Indices (1932–2000) // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2025, Vol. 541, Issue 1, pp. 93-100. (№ 1. Web of Science; IF = 4,8) <https://doi.org/10.1093/mnras/staf998>
3. **Karachik N.,** Minenko E.P. Hemispheric asymmetry of coronal bright point's number and area over solar cycles 23-24 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2025, Volume 537, Issue 2, pp. 2090–2096. (№ 1. Web of Science; IF = 4,8) <https://doi.org/10.1093/mnras/staf157>
4. **Карачик Н.,** Миненко Е. К вопросу о перекалибровке основных индексов солнечной активности // «Узбекский физический журнал», 2024, Т. 26, №3, сс. 7-12. (01.00.00; № 5) <https://doi.org/10.52304/v26i3.534>
5. Clette F., Lefèvre L., Chatzistergos T., Hayakawa H., Carrasco V. M., Arlt R., Cliver E.W., Dudok de Wit T., Friedli T., **Karachik N.,** Kopp G., Lockwood M., Mathieu S., Muñoz-Jaramillo A., Owens M., Pesnell D., Pevtsov A., Svalgaard L., Usoskin I.G., van Driel-Gesztelyi L., Vaquero J.M. Recalibration of the Sunspot-Number: Status Report // Solar Physics, 2023, Volume 298, Issue 3, article id.44. (№ 1. Web of Science; IF= 2.7) <https://doi.org/10.1007/s11207-023-02146-0>
6. Миненко Е.П., **Карачик Н.В.** Влияние различных эффектов на вариации числа корональных ярких точек в течение цикла солнечной активности // Вестник молодых ученых, № 4(2), 2023, сс. 7-10. (ОАК Rayosatining 2023 yil 31 oktyabrdagi 345/10-son qarori, 01.00.00) <https://portal.academy.uz/cdn/scientific-journal/edition/34/598d7f5c-718c-4131-af26-26cbc449a7c1-2023%282%29-ЁШ%20ОЛИМЛАР%20АХБОРОТНОМАСИ.pdf>
7. Миненко Е.П., **Карачик Н.В.** Долгопериодические колебания среднемесячного значения площади корональных ярких точек // Вестник молодых ученых, № 4(3), 2023, сс. 8-11. (ОАК Rayosatining 2023 yil 31 oktyabrdagi 345/10-son qarori, 01.00.00) [https://yok.academy.uz/storage/web/source/1/ARXIV/2023\(3\)-ЁИЎЛИМЛАНОМАСИ.pdf](https://yok.academy.uz/storage/web/source/1/ARXIV/2023(3)-ЁИЎЛИМЛАНОМАСИ.pdf)
8. Turakulov Z.Y., **Karachik N.,** 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, 2020, Vol. 60, № 7, pp. 811-815. (№ 3. Scopus) <https://doi.org/10.1134/S0016793220070197>
9. Hayakawa H., Ebihara Y., Pevtsov A.A., Bhaskar A., **Karachik N.**, Oliveira D.M. Intensity and time series of extreme solar-terrestrial storm in March 1946 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2020, Vol. 497, Issue 4, pp. 5507-5517. (№ 1. Web of Science; IF=5.1) <https://doi.org/10.1093/mnras/staa2327>
 10. **Karachik N.V.**, Pevtsov A.A., Nagovitsyn Y. A. The effect of telescope aperture, scattered light, and human vision on early measurements of sunspot and group numbers // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2019, Vol. 448, Issue 3, pp. 3804-3809. (№ 1. Web of Science; IF=5.4) <https://doi.org/10.1093/mnras/stz2486>
 11. Pevtsov A., Tlatova K., Pevtsov A., Heikkinen E., Virtanen I., **Karachik N.**, Bertello L., Tlatov A., Ulrich R., Mursula K. Reconstructing solar magnetic fields from historical observations V. Sunspot magnetic field measurements at Mount Wilson Observatory // Astronomy & Astrophysics, 2019, Vol. 628, A103. (№ 1. Web of Science; IF=5.6) <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935724>
 12. **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, 2018, №3, p. 48-50. (01.00.00; № 7)
 13. Tlatova K., Tlatov A., Pevtsov A., Mursula K., Vasil'eva V., Heikkinen E., Bertello L., Pevtsov A., Virtanen I., **Karachik N.** Tilt of sunspot bipoles in solar cycles 15 to 23 // Solar Physics, 2018, Vol. 293, Issue 8, article id. 118, 12 pp. (№ 1. Web of Science; IF= 2.4) <https://doi.org/10.1007/s11207-018-1330-8>
 14. Миненко Е.П., **Карачик Н.В.** Свойства мелкомасштабных магнитных полей корональных ярких точек в корональных дырах // Узбекский Физический Журнал, 2017, Т.19 (№ 4), сс.189-198. (01.00.00; № 5) <https://inis.iaea.org/records/2yne3-dvm38>
 15. **Карачик Н.В.**, Бердалиева Н.Е., Миненко Е.П. Исследование эволюции и ориентации избранных корональных ярких точек по данным Обсерватории Солнечной Динамики // Узбекский Физический Журнал, 2017, Т.19 (№ 3), сс. 127-133. (01.00.00; № 5)
 16. Minenko E.P., **Karachik N.**, Sattarov I. Main parameters and evolution of coronal bright points connected with magnetic bipolar structures in the photosphere // Astronomical and Astrophysical Transactions, 2016, Vol. 29, Issue 4, pp. 557-566. (№ 3. Scopus) <https://www.aaptr.com/index.asp?menuEx=1125&idEx=660>
 17. **Karachik N.V.**, Minenko E., Sattarov I., Pevtsov A.A., Sherdonov C.T. What SDO tells us about structure and evolution of coronal bright points // Astronomische Nachrichten, 2014, Vol. 335, Issue 10, pp. 1037-1042. (№ 1. Web of Science; IF= 0.9) <https://doi.org/10.1002/asna.201412143>

18. Minenko E.P., **Karachik N.V.**, Sattarov I., and Pevtsov, A.A. Investigation of the evolution of coronal bright points and magnetic field topology // Astronomy Letters, 2014, Vol. 40, Issue 8, pp. 510-518. (№ 1. Web of Science; IF = 1,4) <https://doi.org/10.1134/S1063773714080047>
19. **Karachik N.V.**, Pevtsov A.A. Properties of Magnetic Neutral Lines and Formation of Filaments // Solar Physics, 2014, Vol. 289, Issue 3, pp. 821-830. (№ 1. Web of Science; IF = 4,0) <https://doi.org/10.1007/s11207-013-0358-1>
20. **Karachik N.V.**, Pevtsov A.A. Solar Wind and Coronal Bright Points inside Coronal Holes // Astrophys. Journal, 2011. Vol. 735, article id. 47, 6 pp. (№ 1. Web of Science; IF = 6,0) <https://doi.org/10.1088/0004-637X/735/1/47>
21. **Karachik N.V.**, Pevtsov A.A., Abramenko V.I. Formation of Coronal Holes on the Ashes of Active Regions // Astrophys. Journal, 2010, Vol. 714, pp. 1672-1678. (№ 1. Web of Science; IF = 7,4) <https://doi.org/10.1088/0004-637X/714/2/1672>
22. Sattarov I., **Karachik N.V.**, Tillaboev A.M. Evolution of Coronal Bright Points in Coronal Holes and a possible source of Solar Wind // Izvestiya Krymskoi Astrofizicheskoi Observatorii, 2009, Vol. 104, № 6, pp. 156-161. (№35. CrossRef) <https://jncrao.ru/index.php/izvcrao/article/view/864/805>

II bo'lim (II часть; part II)

23. **Karachik N.V.**, Minenko E.P. Assessment of the digital UBAI Sunspot Index Catalog // Proceedings of International Conference “FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH IN PHYSICS”, Tashkent, May 16-17, 2025, pp. 136-138.
24. **Карачик Н.В.**, Миненко Е. П. Оценка статистической значимости асимметрии образования корональных ярких точек в северном и южном полушариях Солнца// Сборник трудов республиканской конференции «Роль одаренной молодежи в развитии физики», Ташкент, 4-5 апреля, 2025, сс. 90-92.
25. Миненко Е. П., **Карачик Н.В.** Методика выделения границ супергранул на снимках китайской космической обсерватории ASO-S // Academic research in educational sciences, том TIPI Conference, номер 2, 2024, сс. 140-142.
26. **Карачик Н.В.**, Миненко Е. П. Изучение структур хромосферной сетки по данным с китайской космической обсерватории ASO-S: предварительные результаты // Труды XVIII Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом», сентябрь 2024, Иркутск, сс. 37-38. <https://doi.org/10.62955/0135-3748-2024-37>
27. Миненко Е. П., **Карачик Н.В.** Сравнительный анализ изменения числа солнечных пятен по наблюдениям Ташкентской Астрономической Обсерватории: 1932 -2000 годы // Сборник трудов международной научной конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в физике – IFARP-2024», Ташкент, 24-25 мая, 2024 г., сс. 210-212.

28. Minenko E.P., **Karachik N.V.** Temporal distribution of coronal bright points total area in northern and southern hemispheres of the sun during two solar // Сборник трудов республиканской конференции «Роль одаренной молодежи в развитии физики» (Ташкент-2023), Том 1, сс. 98-100.
29. Миненко Е.П., **Карачик Н.В.** Северо-южная асимметрия образования корональных ярких точек двух типов // Труды научной конференции «Актуальные проблемы астрофизики и космогонии – Улугбековские чтения», том 5, 2023, сс. 87-91.
30. Миненко Е. П., **Карачик Н.В.** Северо-южная асимметрия корональных ярких точек в течение 23 и 24 циклов солнечной активности // Всероссийская астрономическая конференция "Магнетизм и активность Солнца и звезд - 2022" (Крым-2022), <https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Minenko.pdf>.
31. Миненко Е. П., **Карачик Н.В.** Исследование асимметрии образования корональных ярких точек в северном и южном полушариях Солнца по данным космической обсерватории SOHO // Сборник трудов международной научной конференции молодых ученых «Наука и инновации 2022», Ташкент, 2022, с. 338.
32. **Карачик Н.**, Миненко Е. Электронный каталог основных индексов солнечной активности за 1932-2000: Ташкентские данные // Труды XXV Всероссийской ежегодной конференции «Солнечная и солнечно-земная физика 2021», 4–8 октября 2021 г., ГАО РАН, Санкт-Петербург, 2021, с. 42.
33. Minenko E.P., **Karachik N.V.** North-South asymmetry of coronal bright points during the solar cycles 23 and 24 // Proceedings of the Conference "Solar and Solar-Terrestrial Physics-2021", October 4-8, 2021, GAO RAN, St. Petersburg, 2021, p. 59.
34. **Карачик Н.** Корональные яркие точки: сравнения теоретических предсказаний с наблюдениями // “Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни” (РИАК14-2021) Республика илмий анжумани материаллари, Тошкент, 2021, сс. 117-119.
35. **Карачик Н.** Исследование отношения числа Вольфа к числу групп солнечных пятен // Сборник научных трудов научно-практической конференции на тему «XXI аср - интеллектуал ёшлар асри», Ташкент, 2021, сс. 52-53.
36. **Карачик Н.** Язык программирования IDL как средство анализа данных дистанционного зондирования Земли // Сборник научных трудов научно-практической конференции на тему «XXI аср - интеллектуал ёшлар асри», Ташкент, 2021, сс. 53-54.
37. **Karachik N.** Problems and prospects of space weather researches in Uzbekistan // Proceedings of the International Scientific-practical Conference "Actual problems of space technologies and satellite communications", November 23-24, 2021, Tashkent, pp. 269-274.

38. Миненко Е.П., **Карачик Н.В.** Эволюция корональных ярких точек в условиях корональной дыры // XXIV конференция «Солнечная и солнечно-земная физика -2020», Санкт-Петербург, сборник тезисов, с. 55.
<https://www.gaoran.ru/russian/solphys/2020/gao2020.pdf>
39. 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 // XXIII конференция «Солнечная и солнечно-земная физика -2019», Санкт-Петербург, с. 411.
https://www.gaoran.ru/russian/solphys/2019/gao2019_abs.pdf
40. **Karachik N.**, Minenko E., Berdaliyeva N. Rotation inside Coronal Holes by tracing Coronal Bright Points // National Astronomy Meeting, 3-7 July 2017 in Hull, UK, Royal Astronomical Society, abstract book, p. 87.
41. **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, с. 95.
42. 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, с. 96.
43. 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), p. 84.
44. Sherdonov Ch., Minenko E.P., Sattarov I., **Karachik N.** The fast solar wind and coronal bright points at coronal hole boundaries // Abstract Volume, XII - IAGA Sci. Assembly, Mérida Yucatán (Mexico), 26-31 August, 2013, p. 50.
45. Minenko E.P., Sattarov I., **Karachik N.**, Sherdonov Ch. Spatial distribution of small-scale magnetic bipoles in solar cycle 24 // Abstract Volume, XII- IAGASci. Assembly, Mérida Yucatán (Mexico), 26-31 August, 2013, p. 75.
46. **Карачик Н.В.**, Саттаров И., Миненко Е.П., Шерданов Ч.Т. Ориентация больших полуосей корональных ярких точек в связи с крупномасштабными магнитными полями на Солнце // Всероссийской конференции по солнечно-земной физике, посвящённой 100-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН В.Е. Степанова 16–21 сентября 2013, г. Иркутск.
47. Sherdanov Ch., Tillaboev A., Minenko E., Sattarov I., **Karachik N.** Latitudinal distribution of Coronal Bright Points// EWASS 2012, “European Week of Astronomy and Space Science “at the Pontificia Università Lateranense, Italy, p. 51.
48. Minenko E.P., Sattarov I., Sherdanov Ch.T., **Karachik N.** Two types of coronal bright points concerned with magnetic bipoles over the solar cycle 23 and 24// EWASS 2012, “European Week of Astronomy and Space Science “at the Pontificia Università Lateranense, Italy, p. 47.

49. **Karachik N.V.**, Pevtsov, A.A. Properties of Magnetic Neutral Lines and Filament Formation // American Geophysical Union, Fall Meeting 2011, abstract #SH31A-1988.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011AGUFMSH31A1988K/abstract>
50. **Karachik N.V.**, Pevtsov, A.A. Properties of Magnetic Neutral Lines and Chromospheric Filament Formation // American Astronomical Society, SPD meeting #42, Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 43, 2011, id.17.28. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011SPD...42.1728K/abstract>
51. **Karachik N.V.**, Pevtsov, A.A Non-polar Coronal Holes and Solar Wind // American Geophysical Union, Fall Meeting 2010, abstract #SH11B-1668. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010AGUFMSH11B1668K/abstract>
52. **Karachik N.V.**, Pevtsov, A.A., Abramenko, V.I. Formation of Coronal Holes on the Ashes of Active Regions // Bulletin of the American Astronomical Society, 2010, Vol. 41, p. 857. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010AAS...21640104K/abstract>
53. Sattarov I., Pevtsov A.A., **Karachik N.V.**, Sherdanov C.T., Tillaboev A.M. Two types of Coronal Bright points: their characteristics and evolution// IAU Sym. 273, Physics of Sun and Star Spots, Program and Abstracts, 22-26 August, 2010, Ventura, California (Los Angeles), p. 343. <https://doi.org/10.1017/S1743921311015511>