

**АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР
БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**
САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

МИРТОШЕВ ЗАВҚИДДИН ДАВРОНОВИЧ

**КОРОНАЛ МАССА ТАШЛАНМАЛАРИ: УЛАРНИНГ ҚУЁШ ЦИКЛИ
ДАВРИДАГИ ВАРИАЦИЯСИ ВА КОСМИК ОБ-ҲАВОГА ТАЪСИРИ**

01.03.01 – Астрономия

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

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

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
физико-математических наукам**

Миртошев Завкиддин Давронович

Коронал масса ташланмалари: уларнинг қуёш цикли давридаги вариацияси
ва космик об-ҳавога таъсири 3

Mirtoshev Zavkiddin Davronovich

Coronal mass ejections: their solar cycle variation and impact on space
weather 21

Миртошев Завкиддин Давронович

Корональные выбросы массы: их вариации в течение цикла солнечной
активности и влияние на космическую погоду 38

Эълон қилинган ишлар рўйхати

List of published works
Список опубликованных работ 47

**АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР
БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**
САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

МИРТОШЕВ ЗАВҚИДДИН ДАВРОНОВИЧ

**КОРОНАЛ МАССА ТАШЛАНМАЛАРИ: УЛАРНИНГ ҚУЁШ ЦИКЛИ
ДАВРИДАГИ ВАРИАЦИЯСИ ВА КОСМИК ОБ-ҲАВОГА ТАЪСИРИ**

01.03.01 – Астрономия

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.3.PhD/FM155 рақам билан олинган.

Диссертация Самарқанд давлат университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, инглиз, рус (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.astrin.uz) ва «Ziynet» ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Маҳмудов Баҳром Маҳмудович,
физика-математика фанлари доктори, профессор

Nandita Srivastava,
физика-математика фанлари бўйича PhD, профессор
Удайпур Куёш Обсерваторияси, Физикавий
Тадқиқотлар Лабораторияси, Ҳиндистон

Расмий оппонентлар:

Ильясов Собит Пўлатович,
физика-математика фанлари доктори

Marilena Mierla,
PhD, Бельгия Қироллик обсерваторияси, Бельгия

Етакчи ташкилот:

**Россия фанлар академияси Пушкин номидаги Ер
магнетизми, ионосфера ва радиотўлқинларнинг
тарқалиши институти (ИЗМИРАН), Россия**

Диссертация ҳимояси ЎзР Фанлар Академияси Астрономия институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «_____» _____ соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100052, Тошкент шаҳри, Астрономия кўчаси, 33-уй. Тел.: (+99871) 235-81-02; факс: (+99871) 234-48-67); e-mail: info@astrin.uz

Диссертация билан Самарқанд давлат университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 140104, Самарқанд шаҳри, Университет хиёбони, 15-уй. Тел.: (+99866) 239-11-51).

Диссертация автореферати 2022 йил «_____» _____ куни тарқатилди.
(2022 йил «_____» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси).

Ш.А. Эгамбердиев
Илмий даражалар берувчи Илмий
кенгаш раиси, ф.-м.ф.д., академик

И.А. Ибрагимов
Илмий даражалар берувчи Илмий
кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф.н.

А.Б. Абдикамалов
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
ҳузуридаги илмий семинар раиси, ф.-м.ф.д.

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда коронал масса ташланмалари (КМТ) ва уларнинг космик об-ҳавога таъсирини тадқиқ этишда замонавий илмий ва технологик воситаларни қўллаш етакчи ўринлардан бирини эгалламоқда. Дунё миқёсида бир неча ўн йиллар давомида КМТлар интенсив тадқиқотлар объекти бўлиб келмоқда ва эришилган тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этишни тақозо этади. Шу жиҳатдан Қуёшдан сайёралараро фазога отилиб чиқиб турадиган магнитланган плазманинг улкан булутлари ҳисобланган КМТ тадқиқотлари учун коинот ва Ердаги обсерваториялар қурилмаларидан фойдаланиш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади.

Жаҳонда КМТларнинг Ер магнитосферасига таъсири натижасида Ер яқинидаги фазода кучли геомагнит бўронларни келтириб чиқариши ва уларнинг техносфера ва биосферанинг турли элементларига салбий таъсирларини ўрганишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу тадқиқотлар қуёш доғлари циклининг табиати, тож магнит майдони конфигурацияси, Қуёш моддасининг сайёралараро фазога улоқтирилиши, уларнинг сайёралараро эволюциясини аниқлашга имкон беради ва космик об-ҳаво таъсирларини олдиндан баҳолашга хизмат қилиши мумкин. Шунингдек, КМТ ва сайёралараро КМТ (СКМТ) параметрларини олдиндан баҳолаш учун турли эмперик ва магнитогидродинамик моделлар ишлаб чиқилган ва чиқилмоқда. Лекин бир неча ўн йиллаб олиб борилган тадқиқотларга қарамай, Ерда СКМТ келишини башорат қилишнинг ўртача муддати (3-5 кун) аниқлиги етарли эмас ва кузатилган параметрларнинг башорат қилинган параметрлардан сезиларли даражада оғиш ҳолатлари мавжуд. Бунинг сабаби Қуёш тожида КМТ нинг ҳосил бўлиш жараёнлари тўғрисида етарлича маълумотга эга эмаслиги ва гелиосферадаги СКМТ тузилиши ҳақида маълумотларнинг етишмаслигидадир. Шунинг учун башорат қилишнинг аниқлигини ошириш мақсадида КМТларнинг Қуёшга яқин хусусиятларини, уларнинг сайёралараро эволюциясини, шунингдек космик об-ҳаво билан боғлиқ оқибатларни тушуниш учун Ер яқинида тўғридан-тўғри (in-situ) кузатувлар ёрдамида ўрганиш жуда муҳимдир. Бу борада, жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва тадқиқот муассасалари илмий лойиҳалари доирасида (Миллий аэронавтика ва фазо маъмурияти (NASA), Европа космик агентлиги (ESA), Япония аэрокосмик тадқиқотлар агентлиги (JAXA) ва бошқалар) КМТ тадқиқотларига алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамызда Қуёшнинг Ер ва унинг яқинидаги космик фазога таъсирларини тадқиқ этиш ва уларнинг салбий таъсирларини камайтириш технологияларини ишлаб чиқиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. “Ўзбеккосмос” агентлигининг космик тадқиқотлар ва технологиялар соҳасидаги асосий вазифалари ва функцияларида фундаментал ҳамда амалий фанларни

ривожлантириш манфаатлари бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган¹. Ушбу вазифаларни амалга оширишда космик фаолият, космик тадқиқотлар ва технологиялар соҳасида илмий тадқиқотлар, тажриба-конструкторлик ва инновация ишларини ривожлантириш бўйича комплекс чора-тадбирларни ишлаб чиқиш ва амалга ошириш, шунингдек Ер, космик фазо, сайёралар ва Қуёшни тадқиқ этишни ташкил этиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги, 2019 йил 30 августдаги ПФ-5806-сонли “Ўзбекистон Республикасида космик фаолиятни ривожлантириш тўғрисида” ги фармонлари ва 2021 йил 19 мартдаги ПҚ-5032-сонли «Физика соҳасидаги таълим сифатини ошириш ва илмий тадқиқотларни ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида» қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Фан ва Технологиялари ривожланиши II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ҳозирги кунда дунёдаги етакчи илмий марказларнинг бир қатор олимлари, шу жумладан, ҳиндистонлик (N. Srivastava, W. Mishra, D. Chakrabarty, P. Manoharan, P. Subramanian, P. Venkatakrishnan, D. Nandy), хитойлик (Y. Wang, J. Zhang, R. Liu, P. Chen, C. Shen, Y. Liu), франциялик (P. Lamy, O. Floyd), россиялик (V. Obridko, V. Kuznetsov, V. Fomichev, B. Shelting, D. Sokoloff, V. Fainshtein, Y. Egorov, I. Kuzmenko, A. Kochanov, Yu. Yermolaev, N. S. Nikolaeva, I. Lodkina), америкалик (N. Gopalswamy, D. Webb, R. Howard, A. Vourlidas, R. Colaninno, P. Hess, S. Yashiro, C. Farrugia, N. Lugaz, T. Zurbuchen, I. Richardson, D. Hathaway, G. Petrie), австриялик (A. Veronig, M. Temmer, C. Möstl), хорватиялик (B. Vrsnak, M. Dumbovic), англиялик (R. Harrison, J. Davies), белгиялик (L. Rodriguez, E. D’Huys, M. Mierla), германиялик (S. Solanki, R. Schwenn, D. Schmitt) ва бошқа кўплаб олимлар томонидан Қуёш активлиги цикли, КМТлар ва уларнинг манба минтақалари, эволюцияси, кинематикаси, космик об-ҳавога таъсири ҳамда космик об-ҳаво ҳодисаларини олдиндан башорат қилиш моделларини ўрганиш учун жуда кўп назарий ва кузатув тадқиқотлари олиб борилган ва ўрганилган.

Ҳозирда ўзбекистонлик олимлар (акад. Ш. Эгамбердиев, Н. Карачик, З. Тўракулов, Ч. Шерданов ва бошқалар) Қуёш активлиги ва тож физикаси, айниқса тож туйнуклари ва ёруғ тож нукталари бўйича тадқиқотлар олиб

¹ Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2019 йил 17 сентябрдаги 781-сонли “Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги космик тадқиқотлар ва технологиялар агентлиги фаолиятини ташкил этиш чора-тадбирлари тўғрисида” қарори

боришмоқда. Аввалроқ Самарқанд давлат университетида (Б. Махмудов ва Т. Алимов) нейтрон монитор ёрдамида галактик космик нурларнинг вариацияси ва флукутациялари ўрганилган. Ҳозирда улар турли структурали СКМТлар билан боғлиқ бўлган Форбуш пасайиш (ФП) ҳодисаларини ўрганиш ва турли хил ФПларнинг пайдо бўлиш механизмларини аниқлаш устида изланишлар олиб бормоқдалар.

Қуёш доғлари фаоллиги космик об-ҳавонинг асосий ҳал қилувчи омили бўлгани учун уни башорат қилиш жуда катта аҳамиятга эга. Кўпгина тадқиқотчилар ўтмишда турли хил башорат қилиш усулларида фойдаланиб, Қуёш активлигини олдиндан айтиб беришга ҳаракат қилишди. Қуёш активлигининг ўзгаришлари Қуёшнинг барча хусусиятларида, масалан, қуёш доғлари сони, қуёш чакнашлари, протуберанецлар, КМТлар ва ҳоказолар ёрдамида топилган. Қуёш доғлари циклининг табиати ва сабаблари Қуёш физикасининг энг катта жумбоқларидан биридир. Биз ҳозирги кунда қуёш доғлари циклининг кўп тафсилотларини (шунингдек, динамик жараёнлар) билсак-да, биз ҳали ҳам асосий физик принциплардан фойдаланган ҳолда келажакдаги қуёш доғлари сонини ишончли башорат қилишга имкон берадиган моделни ярата олганимиз йўқ.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши СамДУнинг № 105 К (1) рақамли буйруғи ва университет илмий кенгаши томонидан 12.01.2017 да тасдиқланган 2017-2019 йилларда таянч докторантурада диссертация мавзуси бўйича илмий ишлар режаси ҳамда UZB-Ind-2021-95 “Коронал масса ташланмаларининг космик об-ҳавога таъсири” (2021-2023) мавзусидаги Ўзбекистон-Ҳиндистон қўшма илмий лойиҳаси доирасида ҳам олиб борилган.

Тадқиқотнинг мақсади КМТлар, уларнинг турли хил Қуёш активлиги циклларидаги узоқ даврли вариацияларини ва Ердаги космик об-ҳавога таъсирларини тадқиқ қилиш, шунингдек, қуёш шамоли ва КМТлар орқали Қуёшнинг масса йўқотиш даражаси эволюциясини 23- ва 24-қуёш цикллари давомида алоҳида ўрганишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

кузатувлардан КМТ ва СКМТларнинг турли Қуёш активлиги цикллари давомида содир бўлиш даражасини аниқлаш;

КМТлар ва қуёш шамоли орқали Қуёшнинг масса йўқотиш кўрсаткичини қуёш доғлари сони ва қуёш рентген фон ёрқинлигига нисбатан аниқлаш;

Қуёш активлиги цикли давомида қуёш шамоли орқали йўқотилган массага КМТларнинг нисбий улушини топиш;

in-situ кузатувлар ва нейтрон мониторлар ёрдамида ўзаро таъсирлашувчи КМТлар ва уларнинг геомагнит эффектларини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти Ердаги космик об-ҳаво таъсирининг асосий манбаи бўлган КМТ, СКМТ ва қуёш шамоли ҳисобланади.

Тадқиқотнинг предмети КМТларнинг коронографик ва қуёш шамолининг in-situ кузатувлари, қуёш доғлари сони ва қуёш рентген фон ёрқинлиги билан КМТ ва СКМТларнинг ҳосил бўлиш даражаси, Қуёш массасининг КМТ ва қуёш шамоли орқали йўқотиш кўрсаткичи, сўнгги икки Қуёш активлиги цикли давомида КМТлар массасининг қуёш шамоли массасига қўшган ҳиссаси, шунингдек КМТларнинг геомагнит натижалари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари узоқ муддатли коронографик, in-situ ва Ерга асосланган КМТ кузатувларини таҳлил қилиш, вақт сериясини таҳлил қилиш усуллари ва ўзгарувчилар ўртасидаги чизикли муносабатлар ҳисобланади.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

23- ва 24-қуёш активлиги циклида ойлик КМТ массасининг йўқотиш кўрсаткичи ва ойлик қуёш доғлари сони орасидаги корреляция коэффиценти мос равишда 0,74 ва 0,76 га тенглиги топилган;

23- ва 24-қуёш активлиги циклида рентген фон ёрқинлиги билан КМТ массасининг йўқотиш кўрсаткичи орасидаги корреляция коэффиценти мос равишда 0,78 ва 0,80 га тенглиги аниқланган;

қуёш шамолининг масса йўқотиш кўрсаткичи 23-қуёш активлиги циклида йилига ўртача $2,1 \times 10^{-14} M_{\odot}$ га тенг қиймат атрофида бўлиши ва 24-циклда тахминан 10% га камайганлиги ҳамда қуёш активлиги цикли билан боғланмаганлиги аниқланган;

КМТларнинг қуёш шамоли масса оқимидаги нисбий улуши Қуёш активлик цикли максимумида тахминан 5 фоизни ташкил этиши аниқланган ва бу Қуёш активлик цикли минимумида анча кичиклиги кўрсатилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

масса йўқотиш кўрсаткичини чизикли функция сифатида қуёш доғларининг ўртача ойлик сонига ва қуёш рентген фон ёрқинлигига боғлиқлиги аниқланган;

рентген фон ёрқинлиги КМТнинг масса йўқотиш кўрсаткичи учун қуёш доғлари сонига қараганда яхшироқ кўрсаткич эканлиги топилган;

аниқланган юлдуз рентген фон ёрқинлиги юлдузларда КМТларнинг ҳосил бўлиш кўрсаткичини аниқлашда ва Қуёш типигаги юлдузлардан масса йўқотиш кўрсаткичини баҳолашда фойдаланилиши мумкинлиги кўрсатилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги диссертация ишида КМТларнинг узоқ муддатли коронографик кузатувларини қайта ишлаш ва таҳлил қилишнинг янги усулларида фойдаланилганлиги, олинган натижалар бошқа муаллифларнинг кузатув маълумотлари ва натижаларига мувофиқлиги текширилганлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти Қуёшда КМТларнинг юзага келиш қонуниятларини тушуниш, турли қуёш активлиги цикли давомида КМТларнинг содир бўлиш даражасини қуёш магнит ўзгарувчанлиги боғланишидан аниқлаш билан белгиланади. Бундан ташқари, диссертация ишида олинган натижалар Қуёш типигаги юлдуз КМТларининг содир бўлиш

кўрсаткичини ҳамда юлдуз масса йўқотиш кўрсаткичини баҳолашга имкон беради.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти КМТларнинг Ер магнитосферасига таъсири натижасида Ер яқинидаги фазода кучли геомагнит бўронлар эффектларини ва космик об-ҳаво ҳодисаларини тушунишда қўллаш мумкинлиги билан аниқланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. КМТларнинг Қуёш активлиги циклидаги вариацияси, Қуёшнинг КМТлар ва қуёш шамоли орқали масса йўқотиш кўрсаткичини асослаш бўйича олинган натижалар асосида:

қуёш шамоли ва КМТлар орқали Қуёш масса йўқотиш даражасини қуёш доғлари сони ва қуёш рентген нурлари фони ёрқинлиги жиҳатидан ифодаланган қуёш магнит ўзгарувчанлиги функцияси сифатида ўрганиш бўйича олинган натижалар SCOPUS базасидаги илмий журналларда (Astronomy & Astrophysics, 2021; The Astrophysical Journal Letters, 2020; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2020; Astronomy & Astrophysics, 2020; Chinese Journal of Space Science, 2020; Geomagnetism and Aeronomy, 2020, The Astrophysical Journal, 2019; The Astrophysical Journal Letters, 2019) фойдаланилган. Илмий натижаларининг қўлланилиши бошқа Қуёш типидagi юлдузларда масса йўқотиш кўрсаткичини баҳолаш ва Қуёш масса йўқотиш кўрсаткичи билан таққослаш имконини берган;

КМТларнинг эклиптикада ва ундан ташқарида умумий қуёш шамоли массаси оқимиға қўшган ҳиссасини ва унинг Қуёш активлиги даврларининг турли босқичларида ўзгаришини аниқлаш бўйича олинган натижалар “The Sun Today” (С. Vita-Finzi, Springer, 2018) китобида фойдаланилган. Илмий натижаларнинг фойдаланилиши Қуёшда КМТларнинг ҳосил бўлиш даражаси ва улар билан боғлиқ масса йўқотиш кўрсаткичини аниқлаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 3 та халқаро ва 4 та маҳаллий илмий анжуманларда муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси доирасида жами 12 та илмий ишлар нашр қилинди, шундан 5 та илмий мақола Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация Комиссияси томонидан PhD диссертацияси асосий илмий натижаларини нашр этиш учун тавсия этилган илмий журналларда чоп этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 138 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати, асосий мақсад ва вазифалари асосланган, диссертациянинг объекти ва предмети тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устивор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, тадқиқот натижаларининг ишончлилиги, илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши берилган.

Диссертация ишининг **“Қуёш ва унинг фаоллиги”** деб номланган биринчи боби Қуёш, коронал масса ташланмалари (КМТ) ва уларнинг кузатувлари, сайёралараро КМТ (СКМТ)лар ва Қуёш-Ер алоқасини тушуниш, Қуёш фаоллиги цикли, космик об-ҳаво ҳодисаларини батафсил тушунишга ва ўрганишга бағишланган.

Диссертация ишининг **“Кузатувлар”** деб номланган иккинчи бобида Қуёш яқинида КМТларни масофадан туриб кузатиш, Ер яқинидаги фазода *in-situ* кузатувлар ва Ер сиртидаги кузатувларининг тафсилотлари берилган ва диссертация объектини ўрганишда фойдаланилган таҳлил методологияси келтирилган.

Диссертация ишининг **“Коронал масса ташланмаларининг Қуёш циклидаги вариацияси”** деб номланган учинчи боби КМТлар пайдо бўлишининг ўзгарувчанлигини, Қуёш шамоли ва КМТлар орқали Қуёшнинг масса йўқотиш кўрсаткичи эволюциясини Қуёш активлигининг 23- ва 24-цикллари бўйича ўрганишга бағишланган.

Биз кунлик КМТларнинг ўртача сонини, сўнгра КМТларнинг содир бўлиш кўрсаткичини, шунингдек, 23- ва 24-қуёш цикллари учун ойлик қуёш доғлари сонини аниқладик. 23-қуёш цикли учун КМТлар содир бўлиш кўрсаткичининг ўзгариши 2003 йилгача қуёш доғлари сонини кузатиб боришини қайд қилдик. Шундан сўнг, 2008 йил охиригача 23-қуёш доғлари цикли пасайишда давом этган бўлса-да, КМТ пайдо бўлиш кўрсаткичи пасаймади. Ажабланарлиси шундаки, КМТ кўрсаткичи 2007 йил бошида энг юқори чўққини ва кейин фақат бир йил давомида ўртача пасайишни кўрсатди. 24-цикл бошлангандан сўнг, КМТ содир бўлиш кўрсаткичининг вариацияси қуёш доғлари сони ўзгаришини жуда аниқ кузатиб борди. 24-цикл олдинги 23-циклнинг мос фазаларига қараганда анча кичик амплитудага эга. Аммо, 24-цикл давомида КМТ содир бўлиш кўрсаткичи тахминан 23-циклнинг мос фазасидаги кўрсаткичга тенг ёки баъзан бироз юқорироқ. 2012-2014 йиллар мобайнида қуёш доғлари сони 2000-2002 йилларга нисбатан 1,7 мартага камайган вақтда КМТ кўрсаткичлари 1,6 мартага ошганлигини таъкидладик.

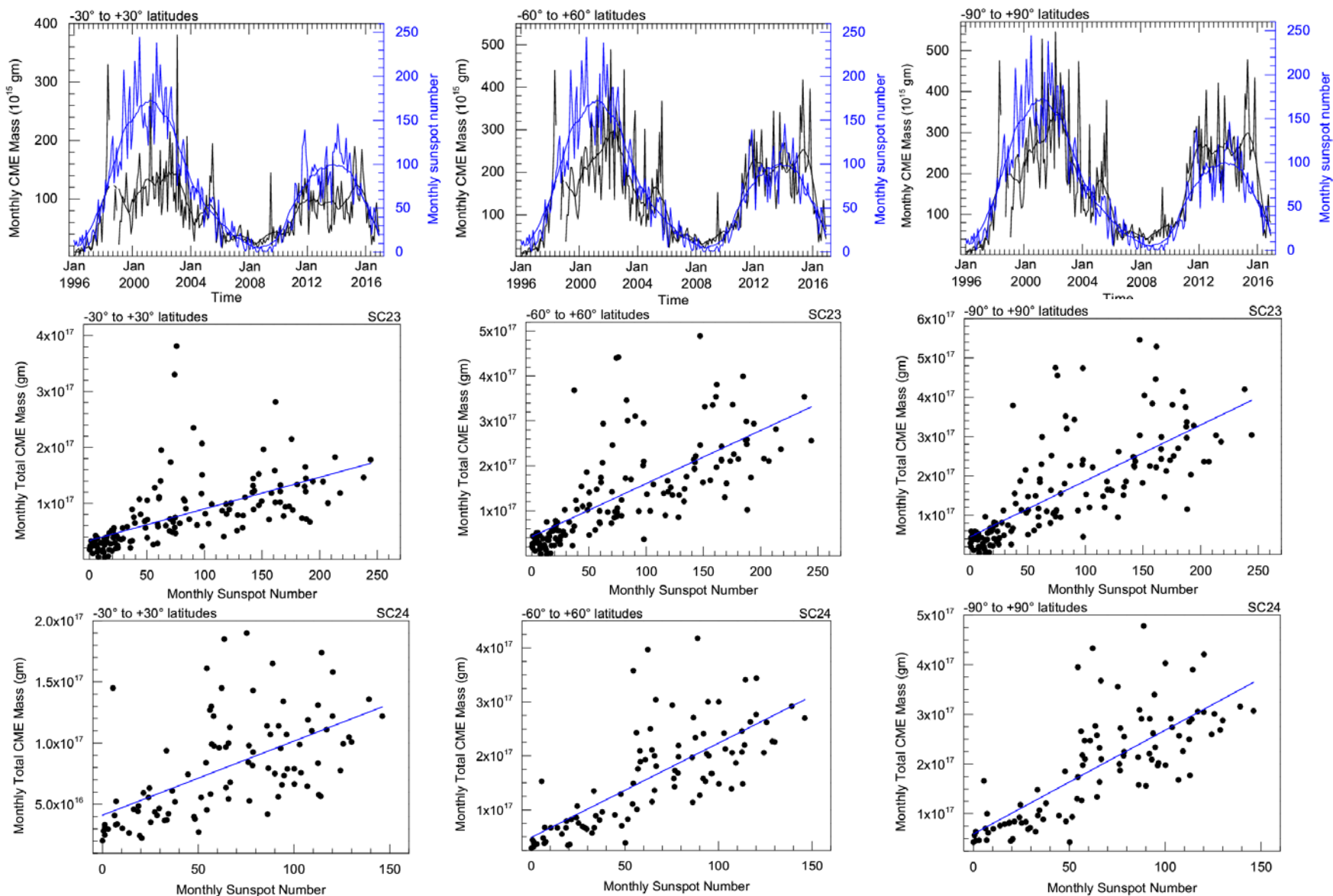
Қуёшда КМТлар содир бўлиш кўрсаткичини яхшироқ тушуниш учун биз 23- ва 24-цикл учун СКМТларнинг содир бўлиш кўрсаткичини ҳам баҳоладик. СКМТ кўрсаткичи 23-циклни кузатиб борганини, аммо 2005-2007 йиллар давомида, яъни 23-циклнинг пасайиш фазасида бу кўрсаткич

нисбатан юқори эканлигини қайд қилдик. СКМТ кўрсаткичи 24-циклнинг кўтарилиш фазасида 23-циклнинг мос фазасига қараганда кичикроқ. 24-циклнинг дастлабки 7 йилидаги СКМТларнинг умумий сони олдинги циклнинг шу оралиғига нисбатан 40% га камайган. Бироқ, 24-циклнинг максимум даврида СКМТ кўрсаткичи 23-циклнинг максимум давридаги кўрсаткич билан бир хил қийматга эга.

Биз -30° дан 30° гача, -60° дан 60° гача ва -90° дан 90° гача бўлган гелиокенгликлардаги КМТлар туфайли календар ойлар давомида куёшдан чиқарилган умумий массани ҳисобладик. 23- ва 24-куёш цикллари давомида КМТларнинг ушбу учта гуруҳга боғлиқ бўлган масса йўқотиш кўрсаткичининг вариациясини кўрсатдик (1-расм, юқори панел). Бундан -30° дан 30° гача бўлган гелиокенгликлардаги КМТ туфайли ойлик масса йўқотиш 1999-2002 йилларда, яъни 23-куёш доғлари циклининг кўтарилиш ва максимум фазаси даврида куёш доғлари сонига нисбатан анча пастлигини аниқладик. Бу кенглик таркибига тобора каттароқ, яъни -60° дан 60° гача ва -90° дан 90° гача бўлган гелиокенгликлардаги КМТлар киритилганда, масса йўқотишнинг бу паст кўрсаткичи камроқ аниқ бўлади. Худди шу тарзда, 24-циклнинг кўтарилиш фазасида, яъни 2012-2014 йилларда массани йўқотиш кўрсаткичи сезиларли даражада пастлигини қайд этдик.

Биз 23-циклнинг максимум даврида -30° дан 30° гача ва -60° дан 60° гача бўлган гелиокенгликлардан ҳосил бўлган КМТлар мос равишда умумий КМТ масса йўқотишнинг тахминан 45% ва 90% ига ҳисса қўшишини аниқладик. Шунингдек, 24-циклнинг максимум даврида -30° дан 30° гача ва -60° дан 60° гача бўлган гелиокенгликлардаги КМТларнинг нисбий улуши умумий КМТ масса йўқотишнинг 40% ва 80% ни ташкил қилиши аниқладик. Бу шундан далолат берадики, 60° дан юқори кенгликларга эга бўлган КМТлар 23- ва 24-циклларда, айниқса циклларнинг кўтарилиш ва максимум даврларида мос равишда умумий масса йўқотиш кўрсаткичининг тахминан 10% ва 20% ни ташкил этади. Шу билан бирга, КМТлар орқали масса йўқотишнинг асосий қисми ўрта ва қуйи гелиокенгликларга ҳам тўғри келади. Биз куёш доғлари сонига нисбатан масса йўқотиш даражаси 24-циклда 23-циклга қараганда юқори эканлигини таъкидладик. 24-цикл максимумидаги куёш доғлари сони олдинги 23-циклга нисбатан 40% га камаяди. Бироқ, 24-куёш доғи циклининг максимуми давомида -30° дан 30° гача, -60° дан 60° гача ва -90° дан 90° гача бўлган гелиокенгликлардаги КМТлар туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи мос равишда атига 25%, 20% ва 15% гача камаяди. Бу шуни англатадики, юқори гелиокенгликлардан масса йўқотиш 24-цикл максимуми давомида олдинги цикл максимуми давридагига нисбатан катта. Бизнинг янгилигимиз шуни кўрсатадики, 24-циклда масса йўқотиш кўрсаткичининг пасайиши куёш доғлари сонига нисбатан унчалик самарали эмас.

Биз 23- ва 24-цикллар учун ойлик масса йўқотиш ва ойлик куёш доғлари сони ўртасидаги муносабатни аниқладик (1-расм, ўрта ва пастки панеллар). Аниқланган регрессия чизиғи билан -30° дан 30° гача, -60° дан 60° гача ва -90° дан 90° гача бўлган гелиокенгликлардаги КМТларнинг учта гуруҳи учун



1-расм. Чап панел: -30° дан 30° гача бўлган гелиокенгликдан КМТ (чапда, Y ўқ, қора рангда) туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи ва ойлик қуёш доғлари сонининг ($ўн$ гда, Y ўқ, кўк рангда) 1996-2016 йиллар (23- ва 24-қуёш цикли) давомида вариацияси юқори панелда кўрсатилган. Ҳақиқий ўлчашларнинг силлиқланган қийматлари ҳам график устига чизилган (юқори панел). 23-цикл ($ўр$ та панел, SC23) ва 24-цикл ($қу$ йи панел, SC24) учун -30° дан 30° гача бўлган гелиокенгликдаги КМТ туфайли ойлик масса ва қуёш доғлари сони ўртасида тарқоқ график регрессия чизиғи ($кў$ к рангда) билан чизилган. **Марказий панел:** чап панелга ўхшаш, лекин -60° дан 60° гача бўлган гелиокенгликдаги КМТ туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи чизилган. **Ўн**г панел: чап панелга ўхшаш, лекин -90° дан 90° гача бўлган гелиокенгликдаги (яъни, қуёшнинг ҳамма тарафидан) КМТ туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи чизилган.

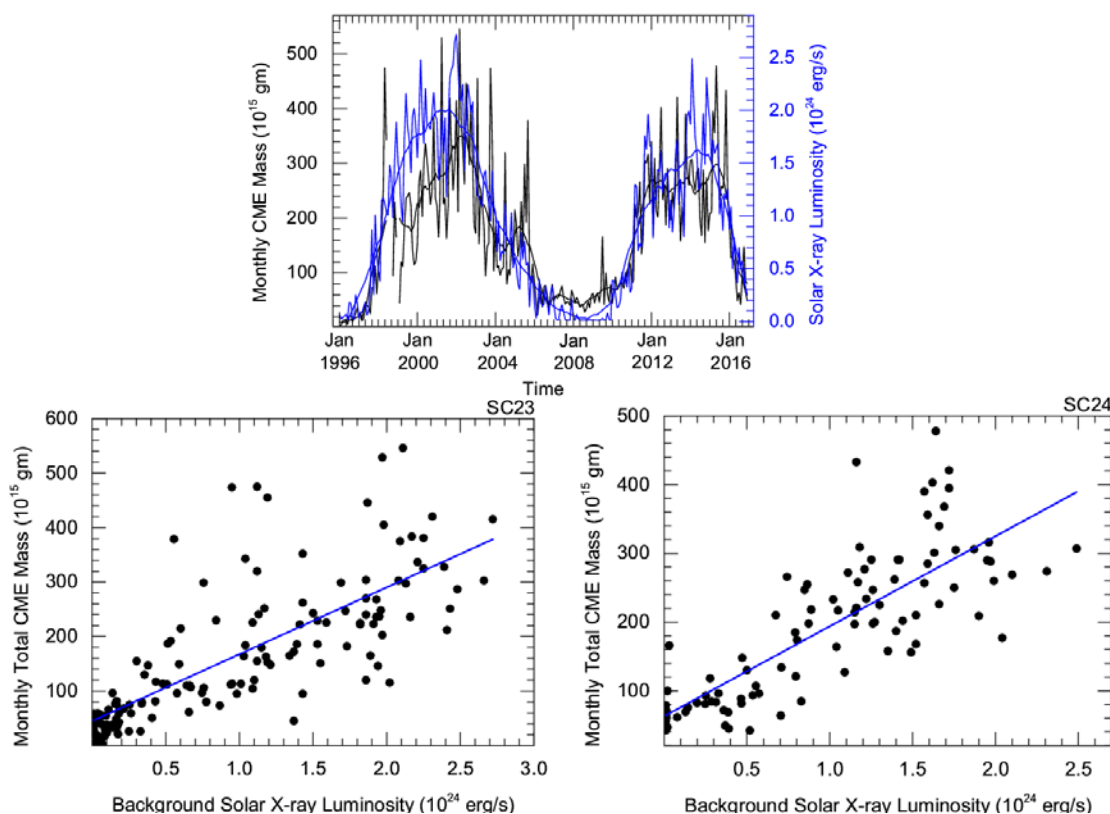
тарқоқ график мос равишда 1-расмнинг чап, марказий ва ўнг панелларида кўрсатилган. Ойлик массани йўқотиш кўрсаткичи (dM_{CME}/dt)ни ойлик ўртача доғлар сони (S) бўйича ифодалаш учун биз кузатувдан олинган натижаларни қуйидаги математик ифода билан мослаштирдик:

$$\frac{dM_{CME}}{dt} = 5 \times 10^{14} (c_1 S + c_2) \quad \text{г} \cdot \text{ой}^{-1} \quad (1)$$

бу ерда c_1 ва c_2 константалар. 23- ва 24-куёш цикллари учун (1) тенглама ёрдамида олинган константалар (c_1 ва c_2), корреляция коэффиценти (r) ва детерминация коэффиценти (r^2) 1-жадвалда кўрсатилган (юқоридан биринчи панел).

1-жадвалда 23-куёш цикли учун (1) тенглама учта гелиокенгликлардаги КМТлар туфайли ойлик масса йўқотиш маълумотларининг ўзгарувчанлиги тахминан 36%, 51,8% ва 54,8% ни кўрсатди. Худди шундай, 24-цикл учун КМТлар туфайли кузатилган масса йўқотишдаги ўзгарувчанлик 32,5%, 54,8% ва 57,8% атрофида. Шундай қилиб, ойлик ўртача доғлар сони (S) қуйи ва юқори гелиокенгликлардаги КМТлар учун яхши прокси эканлиги аниқланди. 24-цикл учун олинган константаларнинг қийматлари 23-циклнинг мос гелиокенглик оралиқлари учун олинган қийматларидан каттароқдир. Бу КМТлар орқали масса йўқотиш кўрсаткичининг олдинги циклга қараганда 24-циклдаги куёш доғлари сонига кучли боғлиқлигини кўрсатади. 23- ва 24-цикл давомида КМТларнинг содир бўлиш кўрсаткичини ва КМТлар орқали умумий масса йўқотиш кўрсаткичини (1-расм, юқори ўнг панел) таққослаш асосида, кўп сонли кичик ташланмалардан иборат юқори кенгликлардаги КМТларнинг нисбий улуши 2003 йилдан бошлаб ошиб боради ва заиф 24-куёш циклида ҳам давом этади.

Биз 23- ва 24-куёш цикллари давомида барча гелиокенгликлардаги КМТлар туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи ва куёш рентген нурлар фон ёрқинлиги вариацияларини ўргандик (2-расм). Бундан юмшоқ рентген нурлар фон ёрқинлиги куёш фаоллигининг максимуми ва минимуми орасида 10 марта фарқ қилишини аниқладик. 2-расмнинг юқори панелидан биз масса йўқотиш кўрсаткичининг вариацияси, умуман олганда куёш рентген нурлар фон ёрқинлигининг вариациясини кузатиб боришини таъкидладик. Бироқ, 1997 йилдан 2003 йилларда, яъни 23-куёш циклининг кўтарилиш ва максимум фазасида масса амплитудаси рентген нурлар ёрқинлигига нисбатан паст эканлиги қайд этдик. Шунга ўхшаш ўзгариш 24-куёш циклининг максимум даврида ҳам қайд этдик. 24-циклнинг максимум даврида рентген нурлар ёрқинлиги ва ойлик масса йўқотиш кўрсаткичи 23-циклнинг максимум давридагига нисбатан мос равишда 20% ва 15% га камайди. Бу эса 23-циклдан 24-циклгача бўлган даврда тахминан 40% га камайган куёш доғлари сонидан фарқли ўлароқ, КМТ туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи ва рентген нурлар фон ёрқинлиги деярли тенг равишда камайганлигини кўрсатди. Биз рентген нурлар фонида ҳам, куёш доғлари сонидан ҳам худди шундай вақт масштабида циклик фаолликни қайд этдик.



2-расм. 1996-2016 йиллар (яъни, 23- ва 24-куёш цикли) давомидаги вақт бўйича (X ўқда) барча КМТлар туфайли ойлик масса йўқотиши (чап Y ўқда, қора рангда) ва куёш рентген нурлар ёрқинлиги (ўнг Y ўқда, кўк рангда) ўзгариши кўрсатилган. Ҳақиқий ўлчашларнинг силлиқланган қийматлари ҳам график устига чизилган (юқори панел). 23-цикл (чап пастки панел, SC23 деб белгиланган) ва 24-цикл (ўнг пастки панел, SC24 деб белгиланган) учун куёшдан барча КМТлар туфайли ойлик масса йўқотиш ва куёш рентген нурлар фон ёрқинлиги орасидаги тарқоқ график регрессия чизиғи (кўк рангда) билан кўрсатилган.

Биз куёшнинг -90° дан 90° гача бўлган гелиокенгликларидан КМТлар туфайли массани йўқотиш кўрсаткичи (dM_{CME}/dt) ва рентген нурлар фон ёрқинлиги (L_X) нинг аниқланган қийматларига қуйидаги математик функцияни мослаштирдик:

$$\frac{dM_{CME}}{dt} = 5 \times 10^{14} (c_1 L_X + c_2) \quad \text{г} \cdot \text{ой}^{-1} \quad (2)$$

бу ерда c_1 ва c_2 константалар. 23- ва 24-цикллар учун олинган константалар, корреляция коэффиценти ва детерминация коэффиценти 1-жадвалда кўрсатилган (юқоридан иккинчи панел). 1-жадвалдан (2) тенглама 23- ва 24-куёш цикли учун масса йўқотиш даражаси ўзгарувчанлиги мос равишда тахминан 60% ва 64% ни кўрсатишини таъкидладик. Рентген нурлар фон ёрқинлиги билан изоҳланган масса йўқотиш кўрсаткичининг ўзгарувчанлиги ойлик ўртача куёш доғлари сонидан фойдалангандагига қараганда ҳар иккала цикл учун ҳам тахминан 5% га юқори (2-расмнинг пастки панеллари). Бу шуни англатадики, ўлчанган рентген нурлар ёрқинлиги бутун куёш учун КМТ туфайли массани йўқотиш активлиги учун яхшироқ прокси ҳисобланади. Қизиғи шундаки, 2001 йил ўрталарида 23-доғлар цикли ва рентген нурлар ёрқинлиги бир вақтнинг ўзида энг юқори қийматга эришади.

1-жадвал. Панеллар юқоридан пастга қараб: константалар (c_1 ва c_2), корреляция коэффицентлари (r) ва детерминация коэффицентлари (r^2) қийматлари 23- ва 24-қуёш цикллари учун мос равишда (1), (2), (3) ва (4) тенгламалар ёрдамида олинган.

(1) тенгламадан (КМТ ва қуёш доғлари сони)				
Цикл	c_1	c_2	r	r^2 (%)
SC 23 (-30° дан 30° гача)	1.1	67	0.60	36.0
SC 23 (-60° дан 60° гача)	2.4	85	0.72	51.8
SC 23 (-90° дан 90° гача)	2.8	91	0.74	54.8
SC 24 (-30° дан 30° гача)	1.2	82	0.57	32.5
SC 24 (-60° дан 60° гача)	3.4	98	0.74	54.8
SC 24 (-90° дан 90° гача)	4.1	118	0.76	57.8
(2) тенгламадан (КМТ ва рентген нурлар фон ёрқинлиги)				
SC 23	2.5×10^{-22}	90	0.78	60.1
SC 24	2.6×10^{-22}	126	0.80	64.0
(3) тенгламадан (Қуёш шамоли ва доғлар сони)				
SC 23	-0.2	696	0.1	1
SC 24	-0.1	616	0.03	0.09
(4) тенгламадан (Қуёш шамоли ва рентген нурлар фон ёрқинлиги)				
SC 23	-1.2×10^{-23}	694	0.09	0.8
SC 24	1.6×10^{-23}	594	0.09	0.8

Бироқ, 2013 йил сентябрда 24-доғлар цикли энг юқори қийматга эришганда, рентген нурлар ёрқинлиги энг юқори қиймати ярим йилга кечикади. Шунингдек, рентген нурлар фонининг оқими ва масса йўқотиш кўрсаткичи қуёш доғлари сонига нисбатан 23-циклга қараганда 24-циклда юқори эканлиги аниқланди.

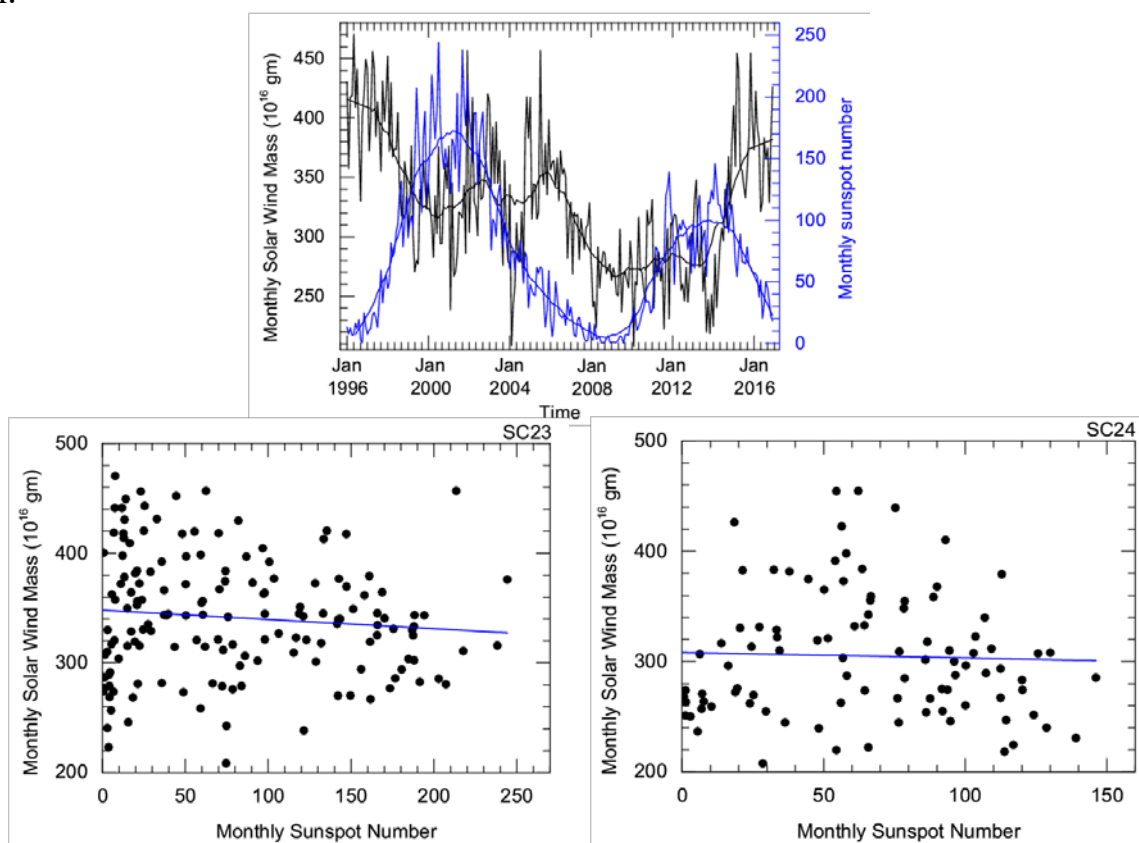
Ушбу бобда биз қуёш доғлари сони ва рентген нурлар фон оқимига нисбатан қуёш шамоли туфайли масса йўқотиш кўрсаткичини ҳам аниқладик. 1 а.б. масофа яқинидаги қуёш шамолининг ўртача соатлик *in-situ* кузатувларидан фойдаланиб, биз ойлик ўртача протон зичлигини (n_p), тезлигини (v_p) ва булар натижасида протон массасининг оқимини ($n_p \times v_p$) 1 а.б. масофада ҳисобладик. Ўлчанган қуёш шамоли массаси оқимини қуёш юзасидан барча йўналишларда 1 а.б. масофада глобал қуёш шамоли массаси оқими деб ҳисоблаб, биз ойлик қуёш шамоли масса йўқотиш кўрсаткичини аниқладик. 23- ва 24-доғлар цикли учун ойлик ўртача доғлар сонининг функцияси сифатида қуёш шамоли туфайли ҳисобланган ойлик масса йўқотишнинг ўзгариши 3-расмда келтирилган. 3-расмнинг юқори панелидан, 23-қуёш циклининг кўтарилиш ва максимум фазаси давомида ойлик масса йўқотиш камайишини аниқладик. Бироқ, 23-циклнинг пасайиш босқичида масса йўқотиш кўрсаткичи бошида бироз ошиб борди ва кейин қуёш доғлар сонини кузатиб бориб, маълум даражада камайди. 24-цикл учун қуёш шамоли масса йўқотиш даражаси кўтарилиш фазасида деярли доимий бўлиб қолди ва 24-цикл максимум даврида бироз пасайди ва пасайиш фазасида ортди.

Биз қуёш шамоли туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи ва қуёш доғлари сонининг аниқланган қийматларига қуйидаги тенгламани мослаштирдик:

$$\frac{dM_{SW}}{dt} = 5 \times 10^{15} (c_1 S + c_2) \text{ г} \cdot \text{ой}^{-1} \quad (3)$$

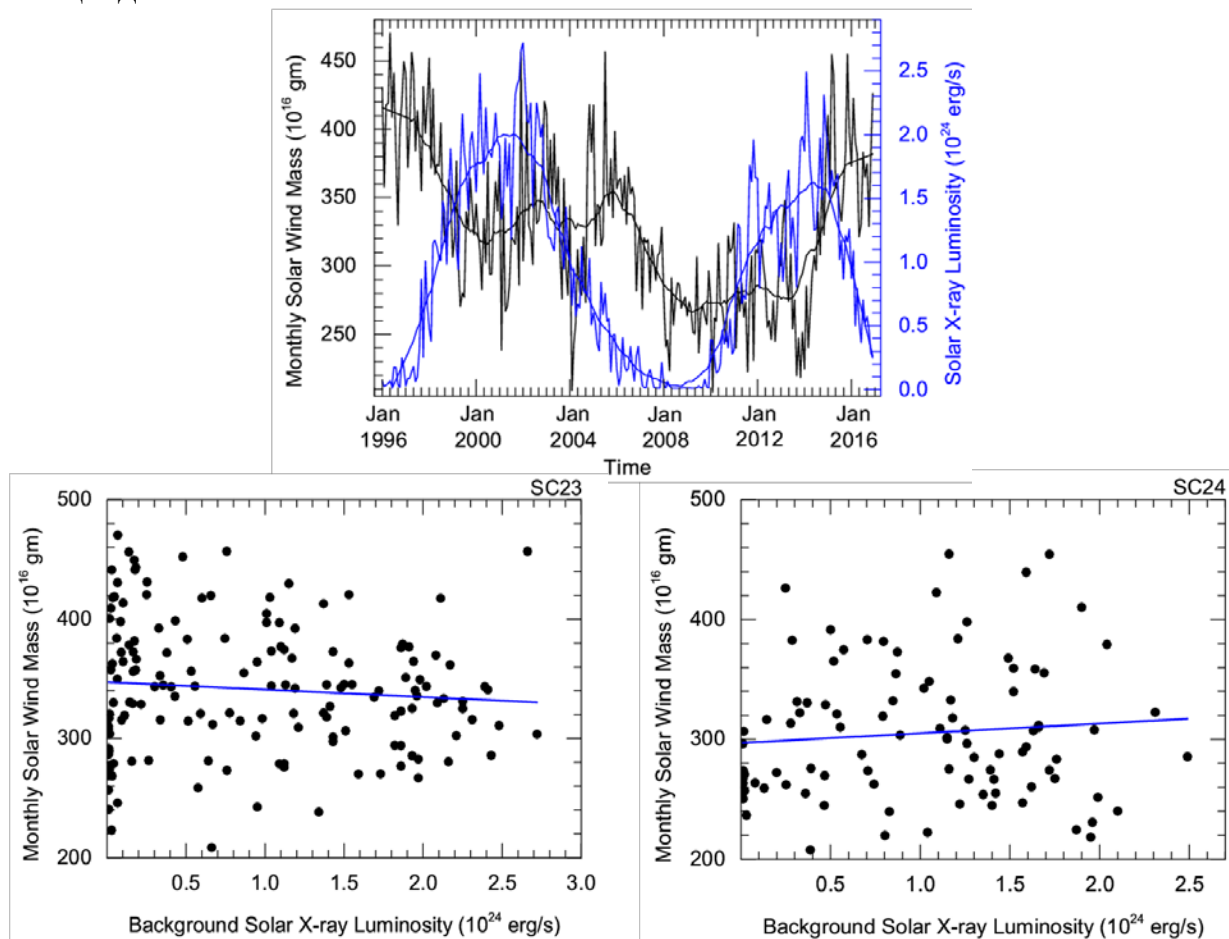
бу ерда S ойлик ўртача қуёш доғлари сони, c_1 ва c_2 константалар.

3-расмнинг қуйи чап ва ўнг панелларида мос равишда 23- ва 24-қуёш цикллари учун қуёш доғлари сони функцияси сифатида ойлик масса йўқотиш кўрсаткичининг тарқоқсимон графиги кўрсатилган. Константаларнинг қиймати, корреляция коэффицентлари ва детерминация коэффицентлари 1-жадвалнинг учинчи панелида келтирилган. Жадвалдан қуёш шамоли туфайли масса йўқотишнинг ўзгарувчанлигини (3) тенгламада келтирилган қуёш доғлари сонининг чизикли функцияси нуқтаи назаридан тўғри тушунтириб бўлмаслигини таъкидладик. Қуёш шамоли туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи 23-цикл учун ўртача $3.5 \times 10^{18} \text{ г} \cdot \text{ой}^{-1}$ атрофида тарқалган ва бу қиймат 24-цикл учун тахминан 10% га камайтиди. 24-цикл максимум даврида қуёш доғлари сони ва КМТ туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи 23-циклнинг максимум давридагига қараганда мос равишда тахминан 40% ва 15% га камайтиди. Шунингдек, қуёш шамоли орқали масса йўқотиш кўрсаткичининг цикл ичидаги вариацияси 23- ва 24-қуёш цикллари учун ҳар хил.



3-расм. 1996-2016 йиллар давомидаги вақт бўйича (X ўқда) қуёш шамоли туфайли ойлик масса йўқотиши (чап Y ўқда, қора рангда) ва қуёш доғлари сони (ўнг Y ўқда, кўк рангда) вариацияси кўратилган. Ҳақиқий ўлчашларнинг силлиқланган қийматлари ҳам график устига чизилган (юқори панел). 23-цикл (чап пастки панел) ва 24-цикл (ўнг пастки панел) учун қуёш шамоли туфайли ойлик масса йўқотиш ва қуёш доғлари сони орасидаги тарқоқ график регрессия чизиғи (кўк рангда) билан кўрсатилган.

4-расмда куёш рентген нурлар фон ёрқинлиги билан куёш шамоли туфайли ойлик масса йўқотиш кўрсаткичининг вариацияси келтирилган. Куёш рентген нурлар фон ёрқинлиги куёш доғлари цикллари яқиндан кузатиб боради. 4-расмнинг юқори панелидан биз масса йўқотиш кўрсаткичи 23-куёш циклининг кўтарилиш ва максимум фазаларида пасайишини аниқладик. 23-циклнинг пасайиш фазасида ойлик масса йўқотиш кўрсаткичи бошида бироз катталашиб, кейин рентген нурлар ёрқинлигини кузатиб боради. 24-куёш цикли учун масса йўқотиш кўрсаткичи бошида деярли доимий бўлиб, кейин 24-циклнинг кўтарилиш фазасида пасаяди. Масса йўқотиш кўрсаткичи 24-циклнинг максимум ва пасайиш фазаларида ошади. Бундан куёш шамоли туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи на куёш цикллари тенденциясига мос келишини ва на цикллarning максимум давридан минимум давригача сезиларли вариацияларни кўрсатмаслигини, рентген нурлар фон ёрқинлиги эса катталик жиҳатдан 10 марта ўзгариб туришини аниқладик.



4-расм. 1996-2016 йиллар давомидаги вақт бўйича куёш шамоли туфайли ойлик масса йўқотиш кўрсаткичи ва куёш рентген нурлар фон ёрқинлиги вариацияси кўрсатилган. Ҳақиқий ўлчашларнинг силлиқланган қийматлари ҳам график устига чизилган (юқори панел). 23-цикл ва 24-цикл учун куёш шамоли туфайли ойлик масса йўқотиш ва куёш рентген нурлар фон ёрқинлиги орасидаги тарқоқ график регрессия чизиғи билан кўрсатилган.

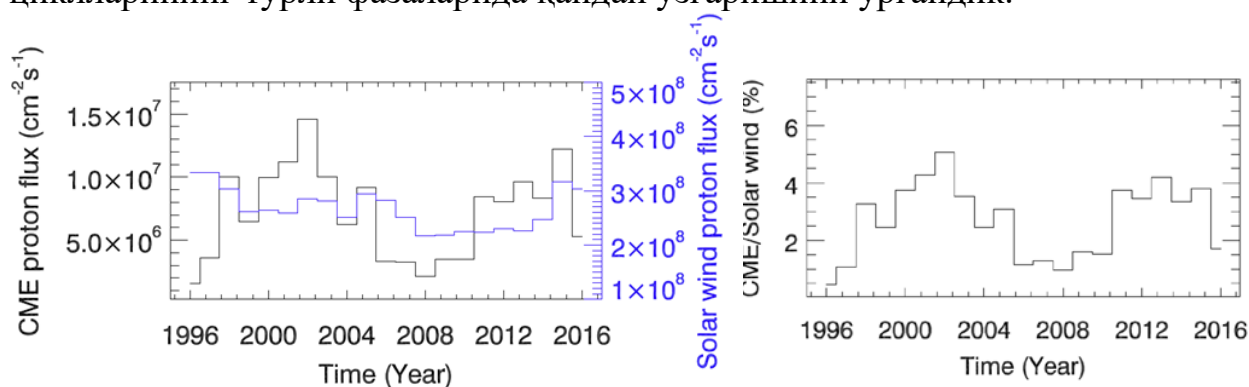
Қуёш шамоли туфайли масса йўқотиш кўрсаткичининг ва рентген нурлар ёрқинлигининг умумий моҳиятини ўрганиш учун уларга қуйидаги (4) тенгламани мослаштирдик:

$$\frac{dM_{SW}}{dt} = 5 \times 10^{15} (c_1 L_X + c_2) \quad \text{г} \cdot \text{ой}^{-1} \quad (4)$$

бу ерда L_X ойлик ўртача рентген нурлар фон ёрқинлиги, c_1 ва c_2 константалар.

23- ва 24-қуёш цикли учун маълумотларнинг энг яхши мослиги мос равишда 4-расмнинг қуйи чап ва ўнг панелларида кўрсатилган. (4) тенгламани мослаштиришдан олинган константалар, корреляция коэффиценти ва детерминация коэффиценти 1-жадвалнинг охири панелида келтирилган. Шунини таъкидлаш керакки, масса йўқотиш коэффиценти ва детерминация коэффиценти 1-жадвалнинг охири панелида келтирилган. Шунини таъкидлаш керакки, масса йўқотиш коэффиценти ва детерминация коэффиценти 1-жадвалнинг охири панелида келтирилган. Шунини таъкидлаш керакки, масса йўқотиш коэффиценти ва детерминация коэффиценти 1-жадвалнинг охири панелида келтирилган. Шунини таъкидлаш керакки, масса йўқотиш коэффиценти ва детерминация коэффиценти 1-жадвалнинг охири панелида келтирилган.

(3) ва (4) тенгламалар ёрдамида ҳисоблаб чиқилган қуёш шамоли орқали масса йўқотиш кўрсаткичи квази-барқарор қуёш шамоли ва қуёшдан эпизодик ташланмалар орқали масса йўқотишни ташкил этади. Квази-барқарор қуёш шамоли бутун қуёш сатҳидан, КМТларнинг аксарияти эса қуйи ва ўрта гелиокенгликлардаги фаол минтақалардан келади. Биз Ерга яқин 1 а.б. да ўлчанган қуёш шамоли массаси оқимиға КМТларнинг улушини ҳисобладик. Бундан ташқари, КМТларнинг нисбий улуши 23- ва 24-қуёш циклиларининг турли фазаларида қандай ўзгаришини ўргандик.



5-расм. Чап панел: Эклиптикага яқин 1 а.б. масофада КМТ протон оқимининг (чап Y ўқида) ва қуёш шамоли протон оқимининг (ўнг Y ўқида кўк рангда) вақт бўйича ўзгариши кўрсатилган. **Ўнг панел:** КМТ нинг қуёш шамоли массаси оқимиға нисбати кўрсатилган.

Шунингдек, биз in-situ кузатувлари асосида 1 а.б. да қуёш шамоли протонларининг масса оқимининг йиллик ўртача қийматини ҳисоблаб чиқдик. 6-расмда қуёш шамоли протонлари оқимининг, КМТлар протонлари оқимининг ва КМТларнинг эклиптикага яқин 1 а.б. да қуёш шамолиға қўшган улушининг қуёш цикли бўйича ўзгаришлари келтирилган. Биз қуёш шамоли массасининг оқими вақт ўтиши билан деярли ўзгармаслигини ва КМТларнинг қуёш шамолиға қўшадиган улуши қуёш цикли минимумида

жуда оз, аммо 23- ва 24-куёш цикллари максимум даврларида $\approx 5\%$ гача кўтарилганлигини аниқладик.

Диссертациянинг **“КМТларнинг космик об-ҳавога таъсири”** деб номланган тўртинчи бобида КМТларнинг космик об-ҳавога таъсири, ўзаро таъсирлашувчи КМТлар муаммоси, уларни in-situ кузатувларда аниқлаш, ўзаро таъсирлашувчи КМТ жараёнларининг сайёралараро ва геомагнит оқибатларини ўрганишга бағишланган.

Ушбу бобда биз турли хил вақтларда содир бўлган ва Ерга йўналган ўнта ўзаро таъсирлашувчи КМТ жараёнларини ўрганиб чиқдик. Бу ҳодисалар 24-куёш циклида ўртача ва кучли геомагнит бўронларни келтириб чиқарди. Ушбу танланган ўзаро таъсирлашувчи КМТ ҳодисаларининг сайёралараро таъсирини таҳлил қилиш учун биз турли сайёралараро, геомагнит, Ермагнетосфера-ионосфера тизими ва ерга асосланган кузатув параметрларини тадқиқ қилди. Тадқиқот натижаларидан ўзаро таъсирлашувчи КМТларнинг оқибатлари 1 а.б. масофада тезлик, ҳарорат ва зичликнинг кескин кўтарилиши билан бир ёки икки зарбали тўлқинли тузилишга эгаллиги аниқланди. Шунингдек, биз кузатув натижаларидан ўзаро таъсирлашувчи КМТлар магнетосферага етиб келганда индивидуал КМТларга қараганда турлича геомагнит оқибатларга олиб келишини таъкидладик. Биз КМТларнинг қўшилиши, йўналишини ўзгартириб қайтиши ёки алоҳида структурали, геомагнит бўронларнинг турлари, яъни бир ёки икки босқичли геомагнит бўронларга олиб келадиган шарт-шароитларни ўргандик.

ХУЛОСА

“Коронал масса ташланмалари: уларнинг қуёш цикли давридаги вариацияси ва космик об-ҳавога таъсири” мавзусидаги диссертация иши бўйича эришилган илмий натижалардан келиб чиққан ҳолда қуйидаги хулосалар келтирилади:

I. КМТларнинг қуёш циклидаги вариацияси

1. Биз 2003 йилдан бошлаб 24-қуёш циклигача нисбатан юқори кенгликлардан кўплаб камроқ массивли КМТларнинг ҳақиқатан ҳам ошганлигини аниқладик. Шу сабабли 24-қуёш цикли учун КМТ фаоллигининг қуёш доғлари сони билан жуда заиф корреляцияси мавжуд.
2. Масса йўқотиш кўрсаткичи учун ойлик ўртача доғлар сони ва қуёш рентген нурлар фон ёрқинлигининг чизиқли функцияси сифатида муносабатларни ўрнатдик. Бундан қуёш цикли давомида қуёш нурлари сонига қараганда рентген нурлар фон ёрқинлиги КМТ туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи учун яхшироқ прокси эканлиги аниқланди. Аммо, қуёш шамоли туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи қуёш айланишига аниқ боғлиқликни кўрсатмаслиги қайд қилинди.
3. Қуёш шамоли туфайли масса йўқотиш кўрсаткичи КМТ туфайли масса йўқотиш кўрсаткичидан тахминан 10 марта каттароқ эканлиги аниқланди. КМТларнинг қуёш шамоли массаси оқимига нисбий улуши эклиптикада қуёш активлиги максимумида тахминан 5 фоизни ташкил этди ва у юқори гелиокенгликларда ёки қуёш активлиги минимумида анча кичик бўлиши кўрсатилди.

II. Ўзаро таъсирлашувчи КМТларнинг космик об-ҳаво таъсири

4. Ўзаро таъсирлашувчи КМТлар космик об-ҳаво нуқтаи назаридан катта аҳамиятга эгаллиги, ушбу ўзаро таъсир узоқ муддатли ва магнит майдон жанубий компонентининг кучайиши сабабли геоэффективликни кучайтириши мумкинлиги таъкидланди.
5. Геомагнит бўрон ва суббўрон фаоллигида магнит майдон жанубий компонентининг барқарорлиги унинг амплитудасидан муҳимроқ эканлиги аниқланди.
6. Ўзаро таъсирлашувчи КМТларнинг геомагнит хусусиятларини ўрганиш натижасида, уларнинг баъзилари икки фазали, баъзилари эса бир босқичли геомагнит бўронлар сифатида содир бўлганлиги аниқланди.
7. СКМТларнинг бирлашган структураси Ерда одатдагидек икки фазали ФП ни ҳосил қилди. ФП шакли ва катталиги СКМТ билан боғлиқ бўлган классик зарбали тўлқин ҳосил қилувчи космик нурлар депрессиясига ва узоқроқ тикланиш фазасига тўғри келиши аниқланди. Космик нурлар ўзгаришини таҳлил қилиш муҳимлиги кўрсатилди, чунки булар қуёш шамолининг турли структураларини ва геомагнит бўронларни яхшироқ тушунишга имкон беради. Бундан ташқари, СКМТнинг турлича структуралари билан боғлиқ бўлган ФП ҳодисаларини текшириш турли хил ФПларнинг пайдо бўлиш механизмларининг аниқлигига ёрдам бериши мумкинлиги кўрсатилди.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREE AT ASTRONOMICAL INSTITUTE**

SAMARKAND STATE UNIVERSITY

MIRTOSHEV ZAVKIDDIN DAVRONOVICH

**CORONAL MASS EJECTIONS: THEIR SOLAR CYCLE VARIATION
AND IMPACT ON SPACE WEATHER**

01.03.01 – Astronomy

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

Tashkent – 2022

The theme of the dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No.B2020.3.PhD/FM155.

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at Samarkand State University.

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

Supervisors:

Makhmudov Bakhrom Makhmudovich,
doctor of physical and mathematical sciences, Professor,
Samarkand State University

Nandita Srivastava,
PhD in Physics, Senior Professor, Udaipur Solar
Observatory, Physical Research Laboratory, India

Official opponents:

Ilyasov Sabit Pulatovich,
doctor of physical and mathematical sciences

Marilena Mierla,
PhD, Royal Observatory of Belgium, Belgium

Leading organization:

**Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism,
Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian
Academy of Sciences (IZMIRAN), Russia**

The defence of the dissertation will be held on “_____” _____ 2022, at the meeting of the Scientific Council No.DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 at Astronomical Institute (Address: 33, Astronomicheskaya street, 100052, Tashkent city. Phone: (+99871) 235-81-02; Fax: (+99871) 234-48-67; e-mail: info@astrin.uz)

The doctoral (PhD) dissertation can be looked through in the Information Resource Center of Samarkand State University (registered under No._____). (Address: 15, University boulevard, 140104, Samarkand city. Phone: (+99866) 239-11-51).

The abstract of dissertation was distributed on “_____” _____ 2022.
(Registry record No._____ dated “_____” _____ 2022).

Sh.A. Ehgamberdiev
Chairman of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., academician

I.A. Ibragimov
Scientific Secretary of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees, PhD

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

INTRODUCTION (Annotation of PhD dissertation)

Topicality & demand of the dissertation topic. In the world, the use of modern scientific and technological tools occupies one of the leading positions in the research of coronal mass ejections (CMEs) and their impact on space weather. Globally, for several decades, CMEs have been the object of intensive research and require the implementation of the obtained research results into practice. In this regard, it is important to use instruments from space and Earth based observatories for CMEs studies, which are huge clouds of magnetized plasma ejected from the Sun into interplanetary space.

In the world, scientific research work is being conducted to study the impact of CMEs on the Earth's magnetosphere, causing strong geomagnetic storms in the near-Earth space and their negative effects on various elements of the technosphere and biosphere. These studies allow to determine the nature of the sunspot cycle, the configuration of the coronal magnetic field, the ejection of solar material into interplanetary space, their interplanetary evolution, and can serve to predict the effects of space weather.

Currently, various empirical and magnetohydrodynamic models have been developed and are being released for the preliminary estimation of CMEs and interplanetary CMEs (ICMEs) parameters. But despite several decades of research, the accuracy of the average period of prediction of the arrival of ICMEs on Earth (3-5 days) is not enough, and there are cases where the observed parameters deviate significantly from the predicted parameters. The reason for this is that we do not have enough information about the processes of CME formation in the solar corona and about the ICME structure in the heliosphere. Therefore, it is very important to study the near-sun properties of CMEs, their interplanetary evolution, as well as the implications for space weather, using in-situ (direct) observations near-Earth in order to improve the accuracy of predictions. In this regard, special attention is paid to CMEs research within the scientific projects of the world's leading scientific centers and research institutions (National Aeronautics and Space Administration (NASA), European Space Agency (ESA), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), etc.).

In our republic, extensive measures are being taken to research the effects of the sun on the Earth and the space near it and to develop technologies to reduce their negative effects, and certain results are being achieved. In the decision of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan dated September 17, 2019 No. 781 "On measures to organize the activities of the space research and technology agency under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan", one of the main tasks and functions of the "Uzbekcosmos" agency is defined important tasks in the interests of the development of fundamental and applied sciences. In performing these tasks, including organization of studies of the Earth, outer space, planets and the Sun is gaining importance.

This dissertation works to a certain extent to fulfil the tasks defined in the Decrees of the President of the Republic of Uzbekistan No. PF-4947 of February 7, 2017 "On the Strategy of Actions for the Further Development of the Republic of

Uzbekistan", No. PF-5806 of August 30, 2019 "On the development of space activities in the Republic of Uzbekistan", as well as decision No. PQ-5032 of March 19, 2021 "On measures to improve the quality of education in the field of physics and develop scientific research" and other regulatory legal documents related to this activity.

Conformity of the research to the main priorities of science and technology development of the Republic. The dissertation research has been carried out in accordance with the priority areas of science and technology in the Republic of Uzbekistan: II. "Power, energy and resource saving".

Degree of study of the problem. Currently a number of scientists from leading scientific centers around the world, such as N. Srivastava, W. Mishra, D. Chakrabarty, P. Manoharan, P. Subramanian, P. Venkatakrishnan, D. Nandy (India); Y. Wang, J. Zhang, R. Liu, P. Chen, C. Shen, Y. Liu (China); P. Lamy, O. Floyd (France); V. Obridko, V. Kuznetsov, V. Fomichev, B. Shelting, D. Sokoloff, V. Fainshtein, Y. Egorov, I. Kuzmenko, A. Kochanov, Yu. Yermolaev, N. S. Nikolaeva, I. Lodkina (Russia); N. Gopalswamy, D. Webb, R. Howard, A. Vourlidas, R. Colaninno, P. Hess, S. Yashiro, C. Farrugia, N. Lugaz, T. Zurbuchen, I. Richardson, D. Hathaway, G. Petrie (USA); A. Veronig, M. Temmer, C. Möstl (Austria); B. Vrsnak, M. Dumbovic (Croatia); R. Harrison, J. Davies (UK), L. Rodriguez, E. D'Huys, M. Mierla (Belgium); S. Solanki, R. Schwenn, D. Schmitt (Germany) and others have done huge number of theoretical and observational investigations to study of solar activity cycle and CMEs, their source regions, evolution, kinematics and space weather consequences of them, models for predicting of the space weather events.

Currently, Uzbek scientists (academician Sh. Ehgamberdiev, N. Karachik, Z. Turakulov, Ch. Sherdanov and others) are carrying out a research on solar activity and coronal physics, especially coronal holes and coronal bright points. Earlier (B. Makhmudov and T. Alimov) carried out a study of variations and fluctuations of galactic cosmic rays from Neutron Monitor at Samarkand State University. Now they are working on investigation of Forbush decrease (FD) events associated with various structures of Interplanetary CMEs (ICMEs) and identification of the occurrence mechanisms for different types of FDs.

Since the sunspot activity is the major determinant of space weather, its prediction is of utmost importance. Many researchers have attempted to predict the solar activity in the past using different prediction techniques. Solar activity variations have been found in all the solar activity features e.g., sunspot number, sunspot area, solar flares, prominences, CMEs etc. The nature and causes of the sunspot cycle constitute one of the great mysteries of solar astronomy. While we now know many details about the sunspot cycle, (and as well as about the dynamo processes), we are still unable to produce a model that allows us to reliably predict future sunspot numbers using basic physical principles.

Connection of the topic of the dissertation topic to the scientific works of higher educational and research institutions, where the dissertation is carried out. The dissertation work was carried out on the basis of the research plan of PhD

study for 2017-2019 approved by the order of Samarkand state university No.105 K (1) and within the framework of the research topic for 2017-2019 years in the Astronomy division of Physics department which is approved by the academic council of the university on January 12, 2017. Also, the research on the dissertation was carried out in the framework of the Uzbek-India joint research project UZB-Ind-2021-95 “Space weather consequences of coronal mass ejections” (2021-2023).

The aim of the research is the study of CMEs, their long-term variation during different solar activity cycles and space weather consequences in the Earth, as well as the investigation of evolution of mass loss rate of the Sun via solar wind and CMEs separately over solar cycles 23 and 24.

The tasks of the research:

- to determine of occurrence rate of CMEs and ICMEs from long-term observations during different solar activity cycles;

- to identify of solar mass loss rate via CMEs and solar wind versus sunspot numbers and solar X-ray background luminosity;

- to estimate the relative contribution of CMEs to the mass loss of the sun through the solar wind during the solar activity cycle;

- identification of interaction of CMEs and their geomagnetic consequences by in-situ and neutron monitor measurements.

The objects of the research are the prime source of major space weather effects at the Earth, the CMEs, ICMEs and solar wind.

The subjects of the research are observed coronagraphic observations of CMEs and in-situ observations of solar wind, occurrence rate of CMEs and ICMEs with sunspot number and solar X-ray background luminosity, solar mass loss rate via CMEs and solar wind, contribution of CMEs mass to solar wind mass during last two solar cycles, as well as geomagnetic consequences of CMEs.

The methods of the research are analysis of the long-term coronagraphic, in-situ and ground-based observations of CMEs, methods of analysis of the time series and linear relationship between variables.

The scientific novelty of the research is following:

- the relationship between monthly CME mass loss rate and monthly sunspot number, and the correlation coefficient between them is found to be 0.74 and 0.76 for the cycle 23 and 24, respectively;

- the CME mass loss rate in connection with soft X-ray background luminosity is explored, and the correlation coefficient between them is found to be 0.78 and 0.80 for cycles 23 and 24, respectively;

- the solar wind mass loss rate is scattered around the average value of $2.1 \times 10^{-14} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ for cycle 23 and decreased by around 10 % for cycle 24, however the solar wind mass loss rate is not much dependent on the sunspot number and solar X-ray background luminosity is shown;

- it was found that the fractional contribution of CMEs to solar wind mass flux is around 5 percent during solar maximum in the ecliptic and it is much smaller at during solar minimum.

Practical results of the research are following:

it was determined a relationship for mass loss rate as a linear function of monthly averaged sunspot number and solar X-ray background luminosity;

it was found that X-ray background luminosity is a better proxy for CME mass loss rate over the solar cycle than the sunspot number;

it was shown that the measured stellar X-ray background luminosity can probably be used as a prediction tool for determining the occurrence rate of CMEs from solar-type stars.

The reliability of the research results is justified by the fact that the results and conclusions of the dissertation were obtained on the basis of the analysis of long-term coronagraphic observations of CMEs using the new methods of processing and analysis, as well as the coincidence of the results of the work with the conclusions of other authors.

Scientific and practical significance of the research results. The scientific significance of the research results is established a relationship for mass loss rate as a linear function of monthly averaged sunspot number and solar X-ray background luminosity. This suggests that X-ray background luminosity is a better proxy for CME mass loss rate over the solar cycle than the sunspot number. However, the solar wind mass loss rate shows no obvious solar cycle dependency.

The practical significance of the results of research is since it is more difficult to observe the signatures of stellar CMEs and stellar spots than stellar X-ray flux, so the measured stellar X-ray background luminosity can be probably used as prediction tools for determining occurrence rate of CMEs from the stars. Also, study of interplanetary and geomagnetic consequences of interacting CMEs quite significant from the point of view of prediction space weather phenomena.

Application of the research results. Based on the results obtained for justifying the solar cycle variation of CMEs, mass loss rate of the sun via CMEs and solar wind:

the obtained results on investigation of the solar mass loss rate via solar wind and CMEs as a function of solar magnetic variability represented in terms of sunspot number and solar X-ray background luminosity was used by peer-reviewed journals in SCOPUS database (Astronomy & Astrophysics, 2021; The Astrophysical Journal Letters, 2020; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2020; Astronomy & Astrophysics, 2020; Chinese Journal of Space Science, 2020; Geomagnetism and Aeronomy, 2020, The Astrophysical Journal, 2019; The Astrophysical Journal Letters, 2019). The application of scientific results made it possible to estimate the mass loss rate in other solar-type stars and to compare it with the mass loss rate of the Sun;

the results on estimation of the contribution of CMEs to the total solar wind mass flux in the ecliptic and beyond, and its variation over different phases of the solar activity cycles was in the book of “The Sun Today” (C. Vita-Finzi, Springer, 2018). The implication of the scientific results made it possible to determine the occurrence rate of CMEs in the Sun and the mass loss rate associated with them.

Testing of the research results. The research results were reported and discussed at 3 international conferences and 4 local scientific conferences.

Publication of the research results. In the field of PhD topic, 12 scientific works were published, of which 5 papers in scientific journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publishing basic scientific results of PhD theses.

Volume and structure of the dissertation. The PhD dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion and a bibliography. The size of the dissertation is 138 pages.

THE MAIN CONTENTS OF THE DISSERTATION

In the introduction the topicality and demand of the dissertation topic, the main aims and tasks of the thesis are set out, the objects and subjects of the dissertation are formulated, the scientific novelty and the practical results were emphasized, the reliability of the research results and their scientific and practical significance were specified, the application, testing, publication of the research results and the dissertation structure were given.

The first chapter of the dissertation entitled **“The Sun and its activity”** is devoted to give information about the Sun, coronal mass ejections (CMEs) and their observations, interplanetary CMEs and understanding the Sun-Earth connection, solar activity cycle, space weather phenomena in detail.

In the second chapter of the dissertation entitled **“Observations”**, the details of remote sensing observations of CME near Sun, in situ observations near Earth, and ground-based observations is given briefly. Then the analysis methodology used to carry out the objectives.

The third chapter of the dissertation entitled **“Solar cycle variation of coronal mass ejections”** is devoted to investigating the variability in occurrence of CMEs and the evolution of mass loss rate via solar wind and CMEs from the Sun separately over solar activity cycles 23 and 24.

We estimated the average number of CMEs per day and then the occurrence rate of CMEs, as well as monthly sunspot number for solar cycles 23 and 24. For the solar cycle 23, we note that the variation in the CME rate follows the sunspot number till the year 2003. After this, although the sunspot cycle 23 continued to decline up to the end of the year 2008, the CME rate did not decline. Surprisingly, the CME rate shows a prominent peak at the beginning of the year 2007 and then shows a modest decrease for only one year. After entering the solar cycle 24, the variation in the CME occurrence rate follows the number of sunspots closely. The sunspot cycle 24 has significantly smaller amplitude than the corresponding phase of the previous sunspot cycle 23. However, CME occurrence rate during cycle 24 is roughly equal to or sometimes slightly higher than that during the corresponding phase of the cycle 23. It is worth mentioning that the rate of CMEs for the period of 2012–2014 is increased by a factor of ≈ 1.6 while the sunspot number is decreased by a factor of ≈ 1.7 than that in 2000–2002 years.

To better understand the rate of CMEs from the Sun, we estimated the occurrence rate of interplanetary CMEs (ICMEs) for solar cycle 23 and 24. We note that the ICME rate follows the sunspot cycle 23; however, the rate is relatively higher in the declining phase of solar cycle 23 during the year 2005–2007. We note that the ICME rate is smaller during the rising phase of the solar cycle 24 than the corresponding phase of cycle 23. The total count of ICMEs during the first 7 years of cycle 24 is decreased by 40 % of that during the same interval of the previous cycle. However, during the maximum of cycle 24, the rate of ICME reaches up to the same value as during the maximum of cycle 23.

We calculated the total mass ejected from the Sun during a calendar month due to CMEs from the apparent latitude within -30° to 30° , -60° to 60° and -90° to 90° . The variation in mass loss rate due to these three groups of the CMEs along the progression of solar cycle 23 and 24 is shown in the top panel of the Fig. 1. From the top panels of the figure, we note that monthly mass loss due to CMEs from latitudes within -30° to 30° is significantly lower relative to sunspot number for the period of 1999 to 2002, i.e., during the rising and maximum phase of sunspot cycle 23. This lower mass loss rate becomes less obvious when the CMEs from increasingly higher latitudes within -60° to 60° and -90° to 90° are included. Similarly, a significantly lower mass loss rate during 2012–2014, i.e., the rise of sunspot cycle 24 is noted.

We note that during the maximum of the cycle 23, CMEs originating from the latitudes within -30° to 30° and -60° to 60° contribute around 45% and 90% of the total CME mass loss, respectively. It is noted that during the maximum of cycle 24, the fractional contribution of CMEs from the latitudes within -30° to 30° and -60° to 60° to the total CME mass loss is around 40% and 80%, respectively. This suggests that the CMEs having apparent latitudes higher than 60° contribute to approximately 10% and 20% of the total mass loss rate in cycles 23 and 24, respectively, especially during the rise and maximum of the cycles. However, a significant fraction of mass loss via CMEs is from lower-mid latitudes. We also noted that mass loss rate per sunspot number is higher for solar cycle 24 than that in solar cycle 23 (top-right panel of Fig. 1). The sunspot number at the maximum of cycle 24 is decreased by around 40% compared to that during the maximum of previous cycle 23. However, the mass loss rate during the maximum of sunspot cycle 24 due to CMEs from latitudes within -30° to 30° , -60° to 60° , and -90° to 90° is decreased by only around 25%, 20%, and 15%, respectively. This implies that the mass loss from higher latitudes is relatively larger during the maximum of cycle 24 than that during the previous maximum. Our finding suggests that a decrease in mass loss rate in solar cycle 24 is not as efficient as it is for the sunspot number.

We established a relationship between monthly mass loss and monthly sunspot number for the cycle 23 and 24 (middle and bottom panels of Fig. 1). The scatter plots for three groups of the CMEs from latitudes within -30° to 30° , -60° to 60° , and -90° to 90° with fitted regression line is shown in the left-hand, central, and right-hand panels of Fig. 1, respectively. To express the monthly mass loss rate (dM_{CME}/dt) in terms of monthly averaged sunspot number (S), we fit the observations with a mathematical expression given by,

$$\frac{dM_{CME}}{dt} = 5 \times 10^{14} (c_1 S + c_2) \text{ gm month}^{-1} \quad (1)$$

where c_1 and c_2 are the constants. The fitted value of constants (c_1 and c_2), correlation coefficient (r) and coefficient of determination (r^2) obtained using Eq. 1 for solar cycles 23 and 24 are shown in the Table 1 (first panel from the top).

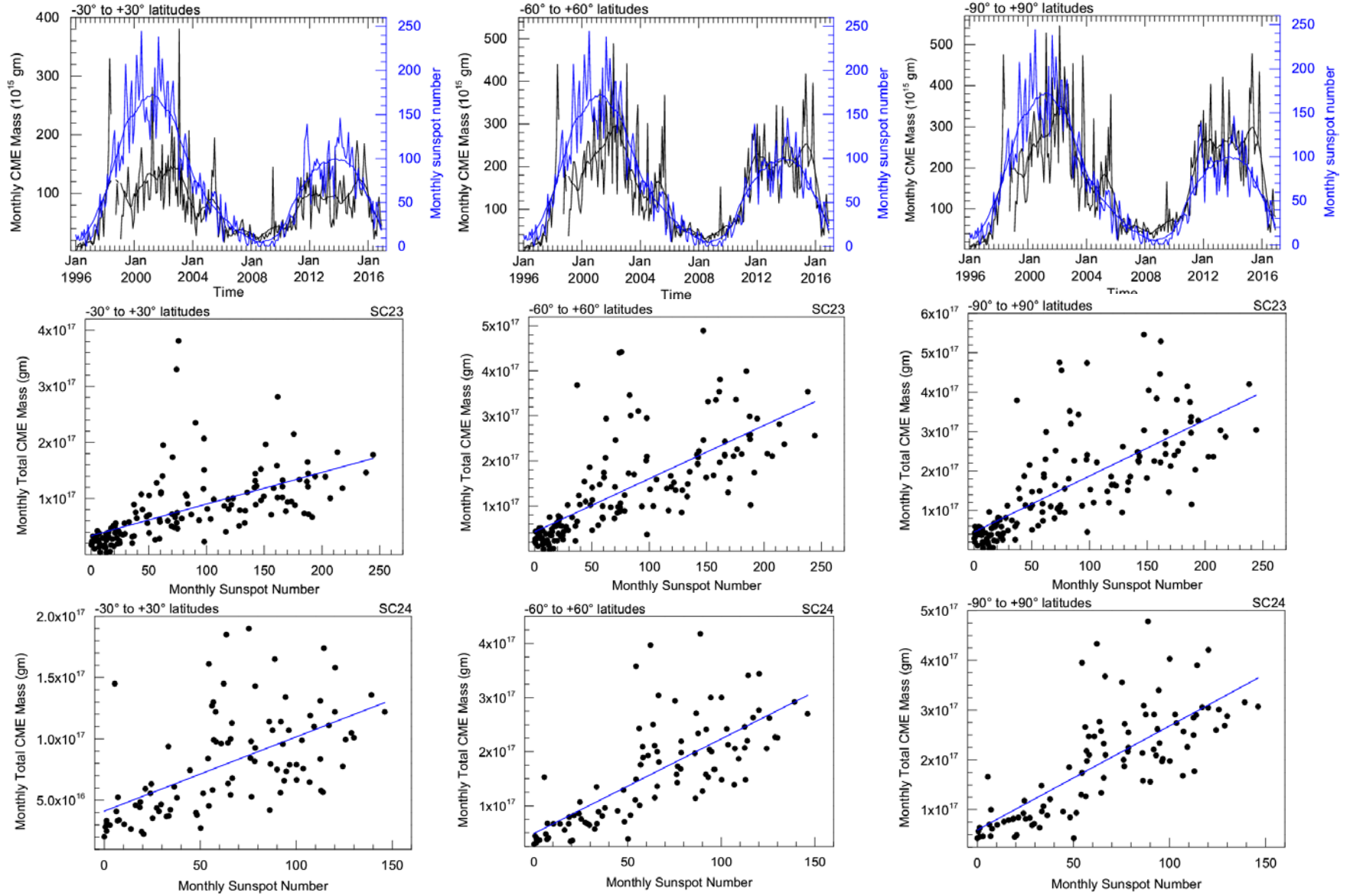


Figure 1. Left-hand panel: the variation of rate of mass loss (on the left Y-axis in black) due to CMEs from latitude within -30° to 30° and monthly sunspot number (on the right Y-axis in blue) with time (on X-axis) during 1996 to 2016 (i.e., solar cycle 23 to 24) is shown in the top panel. The smoothed values of actual measurements are also overplotted (top panel). Scatter plot between monthly sunspot number and monthly mass due to CMEs from latitude within -30° to 30° with a fitted regression line (in blue) for solar cycle 23 (middle panel, labelled as SC23) and solar cycle 24 (bottom panel, labelled as SC24) is shown. **Central panel:** Similar to the **left-hand panel**, but the rate of mass loss due to CMEs from latitude within -60° to 60° is plotted. **Right-hand panel:** Similar to the **left-hand panel**, but the rate of mass loss due to CMEs from latitude within -90° to 90° (i.e., anywhere from the Sun) is plotted.

From Table 1, for solar cycle 23, Eq. 1 explains around 36%, 51.8%, and 54.8% of the variability in data of monthly mass loss due to CMEs from three latitude groups, respectively. Similarly, for solar cycle 24, around 32.5%, 54.8%, and 57.8% of the variability in the observed mass loss due to CMEs. Thus, the monthly averaged sunspot (S) number is a good proxy for the CMEs from lower as well as higher latitudes. The values of constants obtained for cycle 24 are larger than that for the corresponding latitudinal range of cycle 23. This suggests a stronger dependence of mass loss rate via CMEs on the sunspot numbers in cycle 24 than the previous cycle. Based on the comparison of occurrence rate and total mass loss via CMEs during cycle 23 and 24 (top-right-hand panel of Fig. 1), it seems that relative contribution of CMEs, consisting of a large number of smaller ejections, from higher latitudes increases since 2003 and continues during weaker sunspot cycle 24.

We investigate CME mass loss rate and solar X-ray background luminosity during solar cycles 23 and 24. The variation in mass loss rate via all the CMEs and solar X-ray background luminosity during solar cycle 23 and 24 is shown in Fig. 2. We note that the soft X-ray background luminosity varies by a factor of 10 between solar maximum and minimum. From the top panel of the figure, we note that the variation in mass loss rate follows the variations in solar X-ray background luminosity in general. However, it can be seen that during the rising and maximum phase of the solar cycle 23 from the year 1997 to 2003, the amplitude of mass is relatively lower than X-ray luminosity. The similar pattern is also noted during the maximum of solar cycle 24. The X-ray luminosity and the mass loss per month at the maximum of cycle 24 is decreased by around 20% and 15%, respectively, than that during the maximum of the previous cycle 23. This implies almost an equal

Table 1. Panels from the top to bottom: The values of constants (c_1 and c_2), correlation coefficient (r) and coefficient of determination (r^2) obtained using Eq. 1, Eq. 2, Eq. 3 and Eq. 4 for solar cycles 23 and 24, respectively.

Fitting from Eq. 1 (CMEs and sunspot number)				
Cycle	c_1	c_2	r	r^2 (%)
SC 23 (-30° to 30°)	1.1	67	0.60	36.0
SC 23 (-60° to 60°)	2.4	85	0.72	51.8
SC 23 (-90° to 90°)	2.8	91	0.74	54.8
SC 24 (-30° to 30°)	1.2	82	0.57	32.5
SC 24 (-60° to 60°)	3.4	98	0.74	54.8
SC 24 (-90° to 90°)	4.1	118	0.76	57.8
Fitting from Eq. 2 (CMEs and X-ray background luminosity)				
SC 23	2.5×10^{-22}	90	0.78	60.1
SC 24	2.6×10^{-22}	126	0.80	64.0
Fitting from Eq. 3 (Solar wind and sunspot number)				
SC 23	-0.2	696	0.1	1
SC 24	-0.1	616	0.03	0.09
Fitting from Eq. 4 (Solar wind and X-ray background luminosity)				
SC 23	-1.2×10^{-23}	694	0.09	0.8
SC 24	1.6×10^{-23}	594	0.09	0.8

reduction of mass loss rate due to CMEs and X-ray background luminosity in contrast to sunspot number, which is decreased by around 40% from cycle 23 to 24. We note cyclical activity on a similar time scale in both the X-ray background and sunspot number.

We fitted the estimated mass loss rate via CMEs (dM_{CME}/dt) anywhere from the latitudes within -90° to 90° of the Sun and X-ray background luminosity (L_X) with a mathematical function given as,

$$\frac{dM_{CME}}{dt} = 5 \times 10^{14} (c_1 L_X + c_2) \text{ gm month}^{-1} \quad (2)$$

where c_1 and c_2 are the constants. The obtained values of constants, correlation coefficient and coefficient of determination for cycles 23 and 24 are shown in the Table 1 (second panel from the top). From the Table 1, we note that Eq. 2 could explain around 60% and 64% of the variability in mass loss rate for solar cycle 23 and 24, respectively. The variability in mass loss rate explained by X-ray background luminosity is around 5% higher for both the cycles than that using the monthly averaged sunspot number (bottom panels of Fig. 2). This implies that measured X-ray luminosity is a better proxy for the mass loss activity due to CMEs for the whole Sun. Interestingly, the sunspot cycle 23 and X-ray luminosity peaks at the same time around mid-2001. However, the sunspot cycle 24 peaks at September 2013 while the X-ray luminosity peak is delayed by half-year. We also

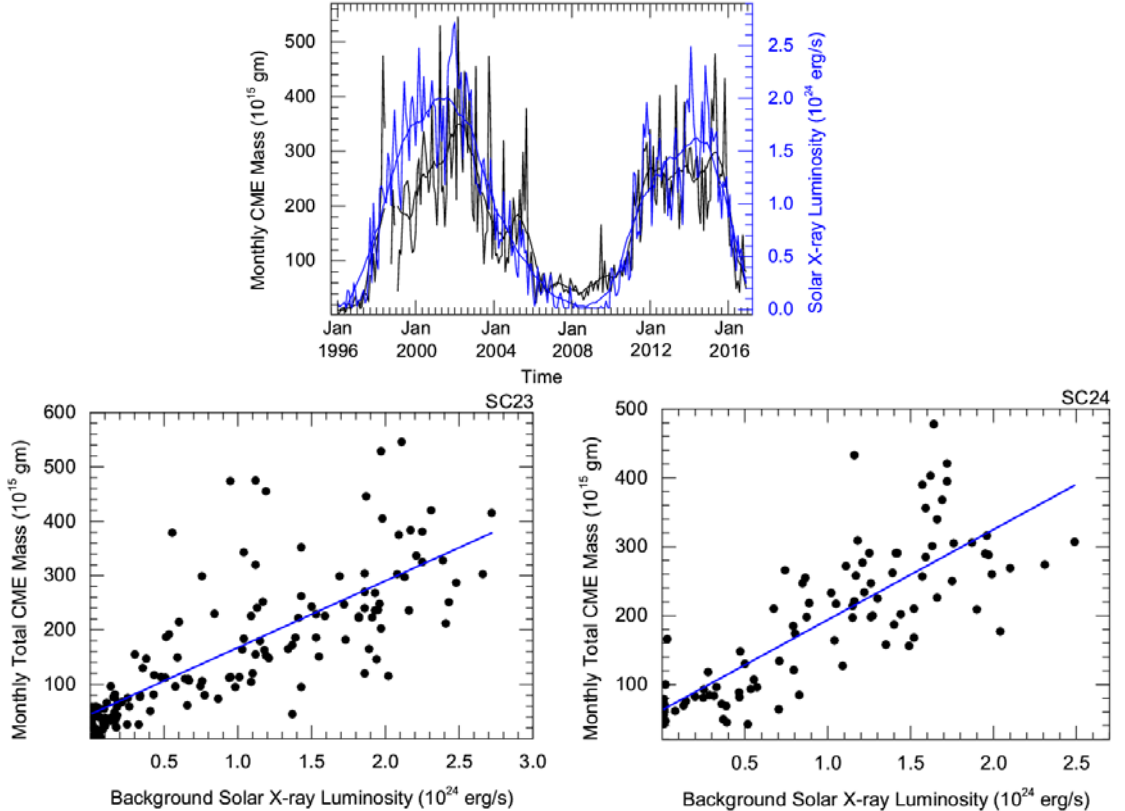


Figure 2. The variation of monthly mass loss (on the left Y-axis in black) due to all the CMEs from the Sun and Solar X-ray background luminosity (on the right Y-axis in blue) with time (on X-axis) during 1996 to 2016 (i.e., solar cycle 23 to 24) is shown. The smoothed values of actual measurements are also overplotted (Top panel). The scatter plots between Solar X-ray background luminosity and monthly mass loss due to all the CMEs from the Sun with a fitted regression line (in blue) for solar cycle 23 (left bottom panel, labelled as SC23) and solar cycle 24 (right bottom panel, labelled as SC24) is shown.

note that X-ray background flux and mass loss rate relative to the number of sunspots is higher for sunspot cycle 24 than the cycle 23.

In this chapter we have estimated also mass loss rate via solar wind versus sunspot number and background solar X-rays flux. Using the hourly averaged in-situ observations of solar wind near 1 AU, we estimated the monthly averaged proton density (n_p), speed (v_p) and resulting proton mass flux ($n_p \times v_p$) at 1 AU. Considering the measured solar wind mass flux as the global solar wind mass flux at 1 AU in all directions from the solar surface, we determined the monthly solar wind mass loss rate. The variation in the estimated monthly mass loss via solar wind as a function of monthly averaged sunspot number for sunspot cycles 23 and 24 is shown in Fig. 3. From the top panel of the Fig. 3, we note that the monthly mass loss decreases during the rising and maximum phase of solar cycle 23. However, in the declining phase of the cycle 23, mass loss rate slightly increases in the beginning and then decreases tracking the sunspot number to some extent. For solar cycle 24, the solar wind mass loss rate remains almost constant during the rising phase and decreases slightly during the maximum and increases during the declining phase.

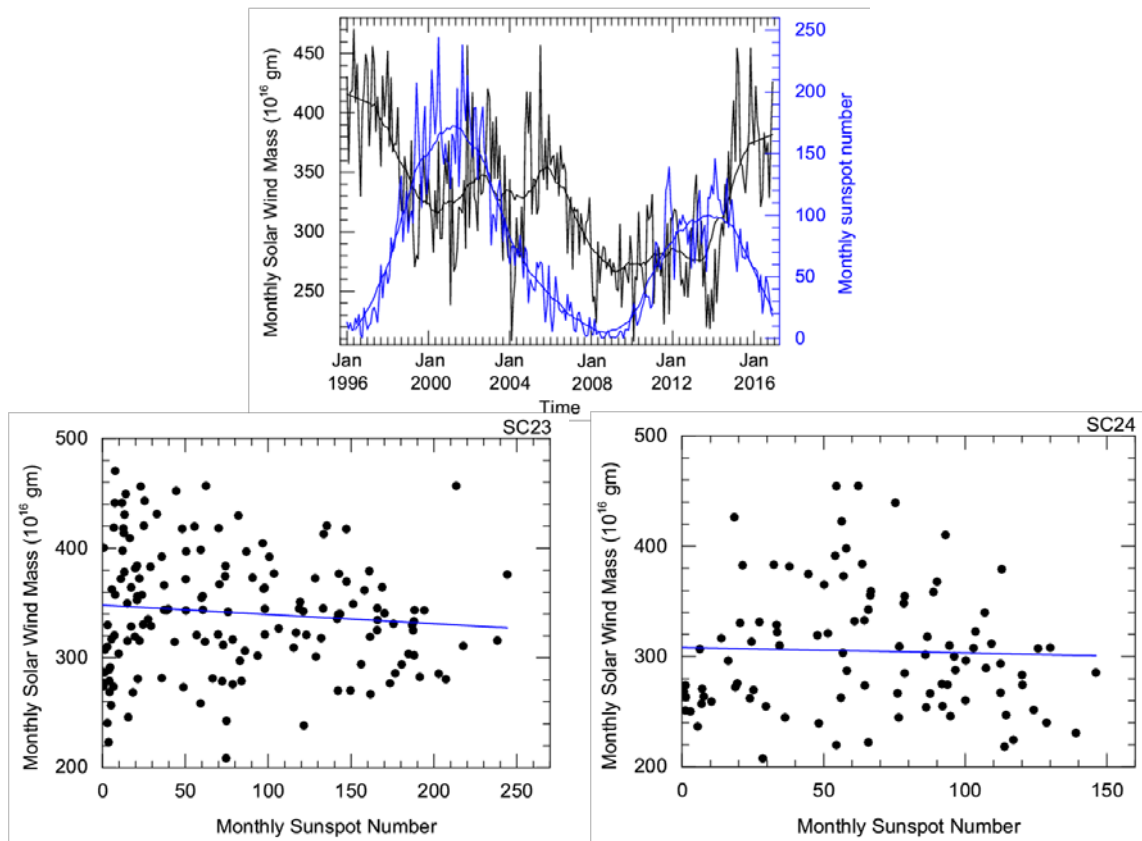


Figure 3. The variation of monthly mass loss (on the left Y-axis in black) due to solar wind and monthly sunspot number (on the right Y-axis in blue) with time (on X-axis) during 1996-2016 is shown. The smoothed values of actual measurements are also overplotted (top panel). The scatter plots between monthly sunspot number and monthly mass loss due to solar wind with a fitted regression line (in blue) for solar cycle 23 (left bottom panel, labelled as SC23) and solar cycle 24 (right bottom panel, labelled as SC24) is shown.

We fitted the estimates of mass loss rate and sunspot number using Eq.3,

$$\frac{dM_{sw}}{dt} = 5 \times 10^{15} (c_1 S + c_2) \text{ gm month}^{-1} \quad (3)$$

where, S is the monthly averaged sunspot number, c_1 and c_2 are the constants.

The left and right bottom panels of Fig. 3 show a scatter plot of the monthly mass loss rate as a function of the sunspot number for solar cycles 23 and 24, respectively. The value of the constants, correlation coefficients, and coefficients of determination are given in the third panel of Table 1. From the table, we note that the variability in mass loss via solar wind could not be properly explained in terms of a linear function of sunspot number as given in Eq.3. The solar wind mass loss rate is scattered around an average value $3.5 \times 10^{18} \text{ gm month}^{-1}$ for cycle 23 and the value decreases by only around 10% for cycle 24. The sunspot number and CME mass loss rate at the maximum of cycle 24 decreased by approximately 40% and 15%, respectively, than that during the maximum of cycle 23. Also, the intra-cycle variation in the mass loss rate via solar wind seems to be different for solar cycles 23 and 24.

The variation in the monthly mass loss via solar wind with solar X-ray background luminosity is shown in Fig. 4. The Solar X-ray background luminosity closely tracks the sunspot cycles. From the top panel of the figure, we note that the mass loss rate decreases during the rising and maximum phase of the solar cycle 23. During the declining phase of cycle 23, the monthly mass loss slightly increases in the beginning and then tracks the X-ray luminosity. For solar cycle 24, the mass loss rate is almost constant in the beginning and then decreases during the rising phase of cycle 24. The mass loss rate increases during the maximum and declining phase of cycle 24. We note that that mass loss rate via solar wind neither follows the solar cycles trend nor shows a significant variation from the maximum to minimum of the cycles while X-ray background luminosity varies by an order of magnitude.

To look into general nature of mass loss rate via solar wind and X-ray luminosity, we fit them using Eq.4,

$$\frac{dM_{sw}}{dt} = 5 \times 10^{15} (c_1 L_X + c_2) \text{ gm month}^{-1} \quad (4)$$

where L_X is the monthly averaged solar X-ray background luminosity, c_1 and c_2 are the constants. The best fit of the data for solar cycle 23 and 24 is shown in left and right bottom panels of Fig. 4, respectively. The constants, correlation coefficient and coefficient of determination derived from the fitting are shown in the Table 1. We note that variance in the mass loss rate is not accounted for by independent covariate (i.e., L_X) used in the mathematical function. The modulations in the solar X-ray background luminosity have not an obvious and significant effect on the mass loss rate via the solar wind.

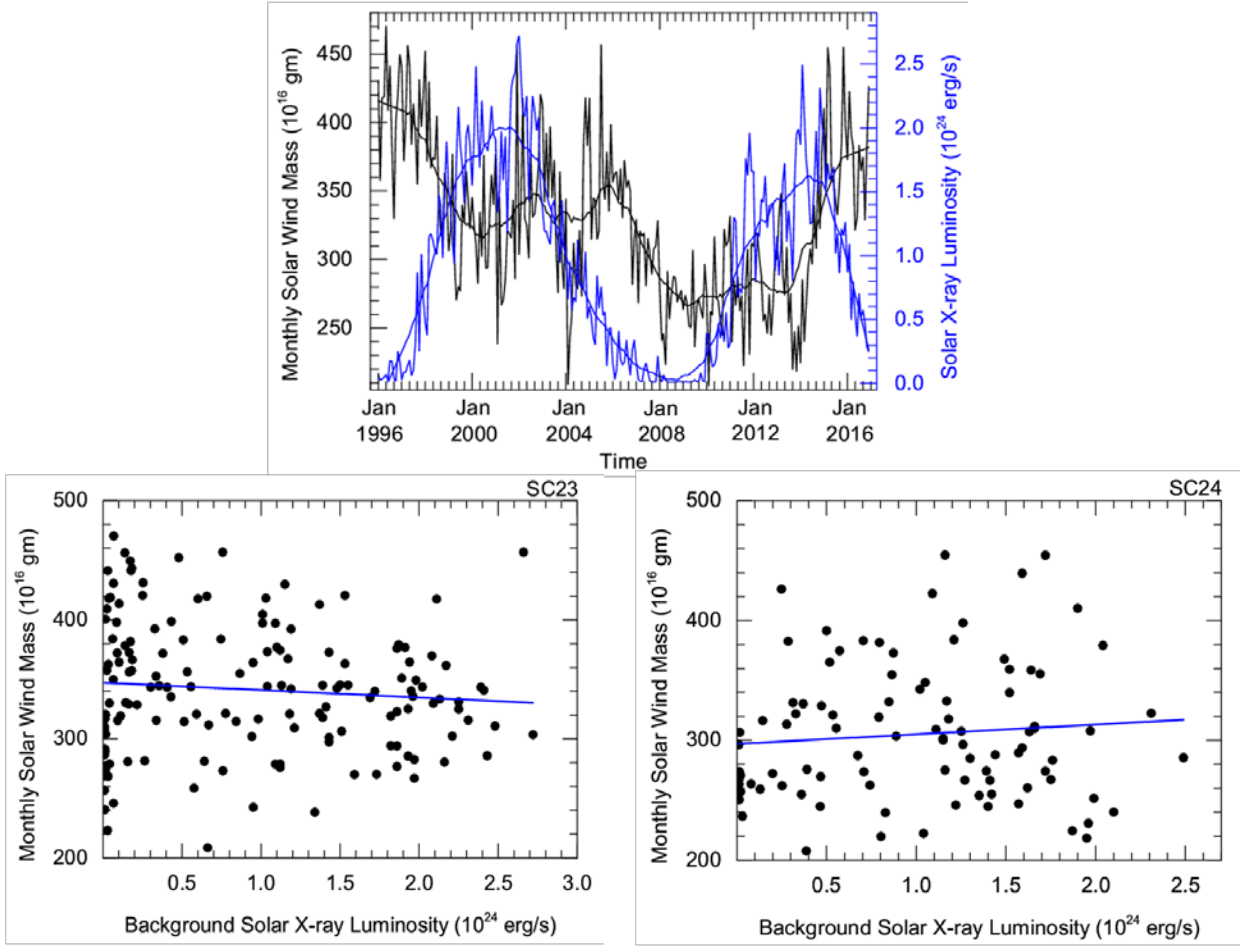


Figure 4. The variation of monthly mass loss due to solar wind and solar X-ray luminosity with time during 1996 to 2016 is shown. The smoothed values of actual measurements are also overplotted (top panel). The scatter plots between solar X-ray luminosity and monthly mass loss due to solar wind with a fitted regression line for solar cycle 23 and 24 is shown.

The mass loss rate via solar wind, as calculated using Eq. 3 and Eq. 4, constitutes the mass loss via quasi-steady solar wind as well as episodic ejections from the Sun. The quasi-steady solar wind comes from all over the solar surface while most of the CMEs are from low-mid latitudes active regions. We attempt to estimate the contribution of CMEs to the solar wind mass flux measured at 1 AU near the Earth. We also examine how the relative contribution of CMEs varies over the different phases of solar cycles 23 and 24.

We also derived the annual average of solar wind proton mass flux at 1 AU based on the in-situ observations. The solar cycle variation of solar wind proton flux, CME proton flux, and the contribution of CMEs to the solar wind at 1 AU in near-ecliptic are shown in Fig. 5. We note that that solar wind mass flux is almost constant over time, and the contribution of CMEs to the solar wind is negligibly small during the solar minimum but increased to $\approx 5\%$ at the maximum of solar cycles 23 and 24.

The fourth chapter of the dissertation entitled “**Space weather impacts of CMEs**” is devoted to study space weather effects of CMEs, problem of interaction of CMEs, their identification in in-situ measurements, interplanetary and geomagnetic consequences of interacting CME events.

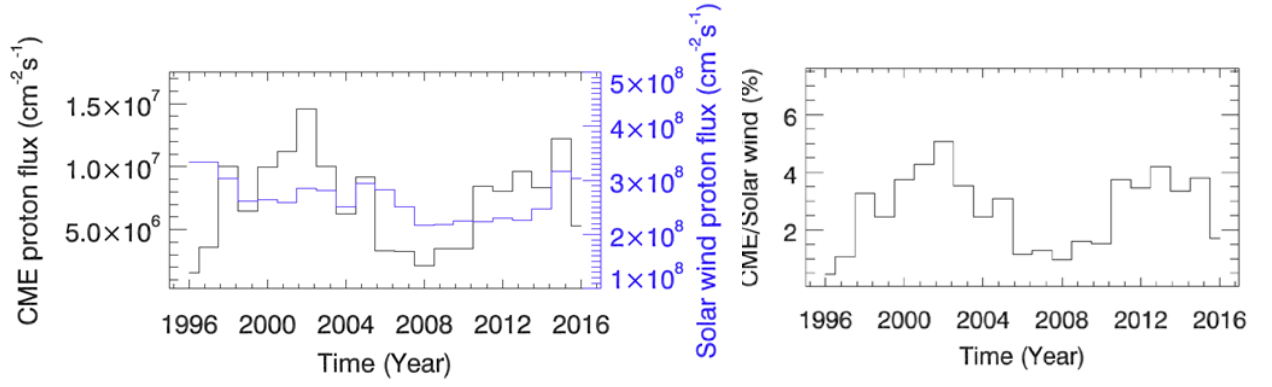


Figure 5. *Left panel:* The variation of CMEs proton flux (on the left Y-axis) and solar wind proton flux (on the right Y-axis in blue) at 1 AU in the near-ecliptic is shown with time (on X-axis). *Right panel:* The ratio of CME to solar wind mass flux is shown.

In this chapter, we have studied ten interacting CME events which occurred on different dates and were directed to the Earth. These caused moderate and strong geomagnetic storms in the solar cycle 24. In order to analyze the interplanetary effects of selected interacting CMEs events, we have examined various interplanetary, geomagnetic, terrestrial magnetosphere-ionosphere system and ground-based observational parameters.

In-situ measurements show that consequences of the interacting CMEs are either a shock or two shock structures at 1 AU with sudden enhancement in speed, temperature and density. By the observations we also suggest that interacting CMEs produce different geomagnetic consequences than individual CMEs on the arrival to magnetosphere. We attempted to understand favourable conditions for CMEs merging, deflecting or separate structure, types of geomagnetic storms, i.e. conditions leading to single or two step geomagnetic storms.

CONCLUSION

According to the results of the carried out on the topic of the PhD thesis “Coronal mass ejections: their solar cycle variation and impact on space weather”, the conclusions are summarized as follows:

I. Solar cycle variation of CMEs

1. We found that there is truly an increased rate of numerous less massive CMEs from relatively higher latitudes since 2003 to the period of solar cycle 24. Therefore, a strongly poor correlation of CME activity with sunspot number exists for solar cycle 24
2. We established a relationship for mass loss rate as a linear function of monthly averaged sunspot number and solar X-ray background luminosity and we found that X-ray background luminosity is a better proxy than the sunspot number for CME mass loss rate over the solar cycles. However, the solar wind mass loss rate shows no obvious solar cycle dependency.
3. The solar wind mass loss rate is roughly larger than the CME mass loss rate an order of magnitude. We showed that the fractional contribution of CMEs to solar wind mass flux is around 5 percent during solar maximum in the ecliptic and it is much smaller during solar minimum.

II. Space weather impacts of interacting CMEs during solar cycle 24

4. CME-CME interactions are great importance from space weather point of view and the interaction can enhance the geoeffectiveness due to the extended period and enhanced strength of southward magnetic field.
5. We found that the persistence of the southward component of the magnetic field is more important than its amplitude in driving the geomagnetic storm and substorm activity.
6. To understand the geomagnetic signatures of interacting CMEs, we found that some of them resulted in two step geomagnetic storms while some occur as a single step storm.
7. The merged structure of ICMEs produced typical two-step FD at the Earth. The shape and magnitude of the FD corresponded to a classical shock/sheath associated ICME produced CR depression and longer recovery period. The analysing of CR variation is more important because it provides better understanding of different solar wind structures and geomagnetic storms. Furthermore, investigation of FD events associated with various structures of ICME might help to clarity of the occurrence mechanisms of different types of FDs.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ
САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

МИРТОШЕВ ЗАВКИДДИН ДАВРОНОВИЧ

**КОРОНАЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ МАССЫ: ИХ ВАРИАЦИИ В ТЕЧЕНИЕ
ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ВЛИЯНИЕ НА
КОСМИЧЕСКУЮ ПОГОДУ**

01.03.01 – Астрономия

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

Ташкент – 2022

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером B2020.3.PhD/FM155.

Диссертация выполнена в Самаркандском государственном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекском, английском и короткая аннотация на русском) размещён на веб-странице Научного совета (www.astrin.uz) и Информационного-образовательного портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Махмудов Бахром Махмудович,
доктор физико-математических наук, профессор

Nandita Srivastava,
PhD, старший профессор, Удайпурская солнечная
обсерватория, Лаборатория физических
исследований, Индия

Официальные оппоненты:

Ильясов Сабит Пулатович,
доктор физико-математических наук

Marilena Mierla,
PhD, Королевская обсерватория Бельгии, Бельгия

Ведущая организации:

Институт земного магнетизма, ионосферы и
распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова
Российской академии наук (ИЗМИРАН), Россия

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2022 года в _____ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 при Астрономическом институте (Адрес: Астрономическая, 33, 100052, г. Ташкент. Тел.: (+99871) 235-81-02; факс: (+99871) 234-48-67; e-mail: info@astrin.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Самаркандского государственного университета (регистрационный номер _____). (Адрес: Университетский бульвар, 15, 140104, г. Самарканд. Тел.: (+99866) 239-11-51).

Автореферат диссертации разослан «_____» _____ 2022 г.
(Реестр протокола рассылки № _____ от «_____» _____ 2022 г.)

Ш.А. Эгамбердиев
председатель Научного совета по присуждению
ученой степени, д.ф.-м.н., академик

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

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Во всём мире исследования корональных выбросов массы (КВМ) и их влияния на космическую погоду занимают лидирующую позицию в объёме использования современных научных и технологических средств. В течение нескольких десятилетий в глобальном масштабе КВМ являются объектом интенсивных исследований и требуют внедрения результатов исследований на практике. В связи с этим, для исследования КВМ, представляющих собой выбрасываемые Солнцем в межпланетное пространство огромные облака магнитной плазмы, важно использование инструментов космических и наземных обсерваторий.

В мире продолжается исследовательская работа, нацеленная на изучение мощных, а порою и катастрофических, событий околоземного пространства – геомагнитных бурь, генерируемых в результате воздействия КВМ на магнитосферу Земли, и также ведётся работа по изучению неблагоприятных воздействия этих событий на различные элементы биосферы и техносферы. Эти исследования позволяют понять природу цикла солнечных пятен, определить конфигурацию коронального магнитного поля, проследить динамику выбросов солнечного вещества в межпланетное пространство, то есть их межпланетную эволюцию, а также они могут служить для предсказания эффектов космической погоды. В настоящее время разработаны и опубликованы различные эмпирические и магнитогидродинамические модели для предварительной оценки параметров КВМ и межпланетных КВМ (МКВМ). Однако, несмотря на несколько десятков лет исследований, точность прогноза среднего времени достижения МКВМ Земли (3-5 дней) недостаточна, и бывают случаи значительных отклонений наблюдаемых параметров от прогнозируемых. Причина этого в том, что у нас всё ещё не хватает информации о процессах формирования КВМ в солнечной короне и о структуре МКВМ в гелиосфере. Поэтому очень важно изучать околосолнечные свойства КВМ, их межпланетную эволюцию, а также их влияние на космическую погоду, используя in-situ (прямые) наблюдения вблизи Земли, чтобы повысить точность прогнозов. В связи с этим, научными проектами ведущих мировых исследовательских центров и исследовательских учреждений (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA), Европейское космическое агентство (ESA), Японское агентство аэрокосмических исследований (JAXA) и др.) отдельное особое внимание уделяется исследованиям КВМ.

В нашей стране принимаются обширные меры по исследованию влияния Солнца на Землю и околоземное космическое пространство, а также разработке технологий для уменьшения негативных последствий этого влияния, и определённые успешные шаги в этом направлении уже сделаны. В постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан № 781 от 17 сентября 2019 года «О мерах по организации деятельности агентства

космических исследований и технологий при кабинете министров Республики Узбекистан», в интересах развития фундаментальных и прикладных наук, приведены основные задачи и функции агентства «Узбеккосмос». Среди них особое значение имеет организация исследований по изучению Земли, космического пространства, планет и Солнца.

Диссертационное исследование в определённой мере служит реализации задач, обозначенных в указах Президента Республики Узбекистан № ПФ-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», № ПФ-5806 от 30 августа 2019 года «О развитии космической деятельности в Республике Узбекистан» и постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-5032 от 19 марта 2021 года «О мерах по повышению качества образования и совершенствованию научных исследований в области физики», а также в других нормативно-правовых документах в этой сфере.

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

Степень изученности проблемы. В настоящее время ряд учёных из ведущих научных центров мира, таких как N. Srivastava, W. Mishra, D. Chakrabarty, P. Manoharan, P. Subramanian, P. Venkatakrishnan, D. Nandy (Индия); Y. Wang, J. Zhang, R. Liu, P. Chen, C. Shen, Y. Liu (Китай); P. Lamy, O. Floyd (Франция); V. Obridko, V. Kuznetsov, V. Fomichev, B. Shelting, D. Sokoloff, V. Fainshtein, Y. Egorov, I. Kuzmenko, A. Kochanov, Yu. Yermolaev, N. S. Nikolaeva, I. Lodkina (Россия); N. Gopalswamy, D. Webb, R. Howard, A. Vourlidas, R. Colaninno, P. Hess, S. Yashiro, C. Farrugia, N. Lugaz, T. Zurbuchen, I. Richardson, D. Hathaway, G. Petrie (США); A. Veronig, M. Temmer, C. Möstl (Австрия); B. Vrsnak, M. Dumbovic (Хорватия); R. Harrison, J. Davies (Великобритания), L. Rodriguez, E. D’Huys, M. Mierla (Бельгия); S. Solanki, R. Schwenn, D. Schmitt (Германия) провели огромное количество теоретических и наблюдательных исследований для изучения цикла солнечной активности и KBM, областей их генерации, кинематики и последствий для космической погоды, моделей для прогнозирования событий космической погоды.

В настоящее время узбекские ученые (акад. Ш. Эгамбердиев, Н. Карачик, З. Туракулов, Ч. Шерданов и др.) проводят исследования в области физики Солнца и солнечной активности, особенно корональных дыр и корональных ярких точек. Ранее (Б. Махмудов и Т. Алимов) провели исследование вариаций и колебаний галактических космических лучей с помощью нейтронного монитора в Самаркандском государственном университете. В настоящее время они работают над исследованием так называемых Форбуш понижений (ФП), событий, связанных с различными

структурами МКВМ, и выявлением механизмов возникновения различных типов этих явлений.

Поскольку активность солнечных пятен является основным фактором, определяющим космическую погоду, её прогноз имеет первостепенное значение. Многие исследователи пытались предсказать солнечную активность в прошлом, используя различные методы прогнозирования. Изменения солнечной активности были обнаружены во всех характеристиках солнечной активности, например, числе солнечных пятен, площади солнечных пятен, солнечных вспышках, протуберанцев, КВМ и т. д. Природа и причины цикла солнечных пятен составляют одну из великих загадок солнечной астрономии. Хотя теперь мы знаем много деталей о цикле солнечных пятен (а также о динамо-процессах), мы всё ещё не можем создать модель, которая позволит нам надёжно прогнозировать будущие числа солнечных пятен, используя основные физические принципы.

Связь темы диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа была выполнена на основании научно-исследовательского плана базовой (PhD) докторантуры на 2017-2019 годы, утверждённого приказом Самаркандского государственного университета № 105 К (1) и в рамках исследовательской темы на 2017-2019 годы кафедры астрономии факультета физики, утверждённое учёным советом университета 12 января 2017 года. Кроме того, исследование по диссертации проводилось в рамках узбекско-индийского совместного исследовательского проекта UZB-Ind-2021-95 «Последствия корональных выбросов массы для космической погоды» (2021-2023 гг.).

Целью исследования является изучение КВМ, их долговременных вариаций в течение различных циклов солнечной активности и последствий влияния космической погоды на Землю, а также исследование эволюции скорости потери массы Солнцем, обусловленная солнечным ветром и КВМ, по отдельности, в течение солнечных циклов 23 и 24.

Задачи исследования:

определить частоту возникновения КВМ и межпланетных КВМ по многолетним наблюдениям в течение различных солнечных циклов;

определить скорость потери массы Солнцем посредством КВМ и через солнечный ветер, в зависимости от числа солнечных пятен и светимости солнечного рентгеновского фона;

оценить относительный вклад КВМ в потерю массы Солнцем через солнечный ветер в течение солнечного цикла;

определить взаимодействия КВМ-КВМ и их геомагнитные последствия с помощью in-situ измерений и нейтронных мониторов.

Объектом исследования являются КВМ, МКВМ и солнечный ветер – основные источники значительных эффектов влияния космической погоды на Землю и околоземное пространство.

Предметом исследования являются наблюдаемые с помощью коронографа KBM и in-situ измерения солнечного ветра, частота появления KBM и межпланетных KBM в зависимости от числа солнечных пятен и фоновой яркостью солнечного рентгеновского излучения, скорость потери массы Солнцем через выбросы KBM и истечение солнечного ветра, вклад массы KBM в массу, уносимого солнечным ветром в течение последних двух солнечных циклов, а также геомагнитные последствия KBM.

Методы исследования: анализ долгосрочных коронаграфических, in-situ и наземных наблюдений KBM, методы анализа временных рядов и нахождения линейной взаимосвязи между переменными.

Научная новизна исследования:

определено, что существует взаимосвязь между ежемесячной потерей массы Солнцем посредством KBM и среднемесячным числом солнечных пятен, коэффициенты корреляции между ними составляют 0,74 и 0,76 для циклов 23 и 24 соответственно;

определено, что имеется связь потери массы Солнцем посредством KBM с фоновой светимостью в мягком рентгеновском диапазоне, коэффициенты корреляции между ними составляют 0,78 и 0,80 для циклов 23 и 24 соответственно;

показано, что скорость потери массы через истечение солнечного ветра имеет среднее значение $2.1 \times 10^{-14} M_{\odot} \text{год}^{-1}$ для цикла 23 и уменьшается примерно на 10% для цикла 24, также она слабо зависит от числа солнечных пятен и фоновой светимости Солнца в рентгеновском диапазоне;

обнаружено, что частичный вклад KBM в поток массы солнечного ветра составляет около 5 процентов во время солнечного максимума в эклиптике и намного меньше во время солнечного минимума.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

установлена связь между скоростью потери массы как линейной функции от среднемесячного числа пятен и фоновой рентгеновской светимостью Солнца;

обнаружено, что рентгеновская фоновая светимость является лучшим показателем скорости потери массы посредством KBM в течение солнечного цикла, чем число солнечных пятен;

показано, что измеренная светимость фонового рентгеновского излучения, вероятно, может быть использовано в качестве инструмента прогнозирования для определения частоты выбросов KBM от звёзд солнечного типа.

Достоверность результатов исследования обоснована тем фактом, что результаты и выводы диссертации были получены на основе анализа длительных коронаграфических наблюдений KBM, используя современные методы обработки и анализа, а также совпадением результатов работы с выводами других авторов.

Научная и практическая значимость результатов исследования заключается в установлении связи между скоростью потери массы как

линейной функции от среднемесячного числа солнечных пятен и яркости солнечного рентгеновского фона. Причём рентгеновская фоновая светимость является лучшим показателем скорости потери массы посредством выбросов КВМ в течение солнечного цикла, чем число солнечных пятен. Однако скорость потери массы через истечение солнечного ветра не показывает явной зависимости от солнечного цикла.

Наблюдение признаков звёздных КВМ и звёздных пятен труднее, чем регистрация звёздного рентгеновского потока, поэтому измеренную светимость фонового рентгеновского излучения можно, вероятно, использовать в качестве инструмента прогнозирования для определения частоты выбросов КВМ от звёзд солнечного типа. Также, изучение межпланетных и геомагнитных последствий взаимодействующих КВМ весьма значимо с точки зрения прогнозирования явлений космической погоды.

Внедрение результатов исследования. На основе приведённых исследований вариаций КВМ, скорости потери массы Солнцем посредством КВМ и через солнечный ветер в течение солнечного цикла:

Полученные результаты по исследованию скорости потери массы Солнцем через истечение солнечного ветра и выбросы КВМ в зависимости от вариаций глобального магнитного поля Солнца, представленной в виде зависимости от числа пятен и рентгеновской яркости фона, использовались в рецензируемых международных научных журналах (Astronomy & Astrophysics, 2021; The Astrophysical Journal Letters, 2020; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2020; Astronomy & Astrophysics, 2020; Chinese Journal of Space Science, 2020; Geomagnetism and Aeronomy, 2020, The Astrophysical Journal, 2019; The Astrophysical Journal Letters, 2019) для сравнения и экстраполяции скорости потери массы Солнцем для других звёзд солнечного типа.

Наши результаты по оценке вклада выбросов КВМ в общий поток истечения массы посредством солнечного ветра в эклиптике и за ее пределами, а также ее изменение в зависимости от фаз циклов солнечной активности были использованы в книге “The Sun Today” (C. Vita-Finzi, Springer, 2018). Внедрение научных результатов сделало возможным определить частоту возникновения солнечных КВМ, и связанной с ней потери массы.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований были представлены и обсуждены на 3 международных и 4 региональных научных конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме PhD опубликовано 12 научных работ, из которых 5 опубликованы в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов PhD диссертаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации 138 страниц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования, проведенного по теме диссертации доктора философии (PhD) «Корональные выбросы массы: их вариации в течение цикла солнечной активности и влияние на космическую погоду», представлены следующие выводы:

I. Вариации солнечного цикла КВМ

1. Мы обнаружили, что с 2003 года до вхождения в 24 цикл, действительно наблюдается повышенное число многочисленных менее массивных КВМ с относительно более высоких широт. Следовательно, для 24-го цикла существует очень бедная корреляция активности КВМ с числом солнечных пятен.
2. Мы установили взаимосвязь для скорости потери массы как линейной функции от среднемесячного числа солнечных пятен и фоновой светимости солнечного рентгеновского излучения. Это говорит о том, что рентгеновская фоновая светимость является лучшим показателем скорости потери массы посредством выбросов КВМ в течение солнечного цикла, чем наблюдаемое число солнечных пятен. Однако, скорость потери массы через истечение солнечного ветра не показывает явной зависимости от солнечного цикла.
3. Скорость потери массы посредством истечения солнечного ветра примерно на порядок больше, чем скорость потери массы через выбросы КВМ. Частичный вклад КВМ в поток массы солнечного ветра составляет около 5 процентов во время солнечного максимума в эклиптике и намного меньше на более высоких солнечных широтах и во время солнечного минимума.

II. Влияние взаимодействующих КВМ на космическую погоду

4. Взаимодействия КВМ-КВМ имеют большое значение с точки зрения космической погоды, их взаимодействие может повысить геоэффективность благодаря увеличенному периоду и усилению южной (отрицательной) компоненты межпланетного магнитного поля.
5. Мы обнаружили, что постоянство (продолжительность действия) южно-ориентированной компоненты магнитного поля играет более важную роль, чем значение его амплитуда, в возникновении геомагнитных бурь и суббурь.
6. Пытаясь понять геомагнитные сигнатуры взаимодействующих КВМ, мы обнаружили, что некоторые из них приводят к двухступенчатым геомагнитным бурям, а некоторые - к одноступенчатым.
7. Объединённая структура МКВМ образовала типичное двухступенчатое ФП на Земле. Форма и величина ФП, вызванного МКВМ, соответствовали классическому шоку/оболочке, что вызвало депрессию космических лучей (КЛ) и более длительный период восстановления. Анализ вариации КЛ более важен, потому что он даёт лучшее понимание различных структур солнечного ветра и геомагнитных бурь. Более того, исследование событий ФП, связанных с различными структурами МКВМ, может помочь прояснить механизмы возникновения различных типов ФП.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
LIST OF PUBLISHED WORKS
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

I бўлим (part I; I часть)

1. Mishra W., Srivastava N., Wang Y., Mirtoshev Z., Zhang J., Liu R. Mass loss via solar wind and coronal mass ejections during solar cycles 23 and 24 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – Oxford (Great Britain), 2019. – vol. 486, Issue 4. – pp. 4671-4685 (№1. Web of Science: IF=5.3).
2. Srivastava N., Mirtoshev Z., Mishra W. Geomagnetic consequences of interacting CMEs of June 13-14, 2012 // (Contributed paper) Proceedings of the International Astronomical Union. – Cambridge (Great Britain), 2017. – vol. 13, S335. – pp. 65-68 (№3. Scopus: IF=0.053).
3. Mishra W., Srivastava N., Mirtoshev Z., Wang Y. Solar cycle variation of coronal mass ejections contribution to solar wind mass flux // Proceedings of the International Astronomical Union. – Cambridge (Great Britain), 2018. – vol. 13, S340. – pp. 175-176 (№3. Scopus: IF=0.053).
4. Махмудов Б., Алимов Т., Ажабов А., Турниязов Р., Миртошев З., Эшбуриев Р. Исследование флуктуации интенсивности физики космических лучей в зависимости от резонансной частоты и жесткости геомагнитного обрезания // Научный вестник Самаркандского государственного университета. – Самарканд (Узбекистан), 2016 - №1 (95). – С. 94-97 (01.00.00. №2).
5. Mirtoshev Z., Makhmudov B., Mirkamalov M. Periodic variations of the X-ray Sun during descending period of solar cycle 23 // Reports of the Academy of Sciences of Uzbekistan. – Tashkent (Uzbekistan), 2017 – № 1. – pp. 29-33 (01.00.00. №7).

II бўлим (part II; II часть)

6. Mirtoshev Z., Mishra W., Srivastava N., Wang Y., Zhang J. Dependency of mass loss rate of the Sun on its magnetic variability over solar cycles // American Geophysical Union, Fall Meeting. – Washington D.C., USA, 2018. – Abstract #SH43F-3725
7. Mishra W., Srivastava N., Mirtoshev Z., Wang Y. Solar cycle variation of coronal mass ejections contribution to solar wind mass flux // Long term datasets for the understanding of solar and stellar magnetic field. IAU Symposium 340. – Jaipur, India, 2018. – p.73
8. Makhmudov B., Mirkamalov M., Mirtoshev Z. Eruptive solar events on January 8, 2014 and the proton flux // Modern problems of Physics. Proceedings of the VI International conference. – Dushanbe, 2018, pp. 260-262
9. Махмудов Б., Алимов Т., Миртошев З., Миркамалов М. Қуёш шамоли массаси оқимиға коронал масса ташланмалари улушининг қуёш циклидаги ўзгариши // Физиканинг ҳозирги замон таълимидаги ўрни.

Республика илмий-амалий анжумани материали. – Самарқанд, 2019, – б.364-365

10. Mirtoshev Z., Mirkamalov M., Makhmudov B. Geomagnetic response of interacting interplanetary coronal mass ejections // Физика ва астрономия фани ва таълими муаммолари. Илмий мақолалар тўплами. – СамДУ, Самарқанд, 2018. – б.13-15
11. Mirkamalov M., Mirtoshev Z. The X-ray Sun observations during solar cycle 23 // Сборник тезисов докладов республиканской научно-практической конференции молодых учёных. – Ташкент, 2015. – с.12-14
12. Mirtoshev Z., Mirkamalov M., Makhmudov B., Alimov T. In situ observations of coronal mass ejections of 2012 June 13-14 // Физиканинг долзарб муаммолари. Республика илмий-амалий конференцияси. – Тошкент, 2017. – с.221-222