



ХҒТАР 37.15.23

<https://doi.org/10.32523/2616-6836-2025-153-4-112-125>

Ғылыми мақала

Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ космофизикалық кешен қондырғысының деректері бойынша ғарыштық сәулелер қарқындылығының өзгеруін тіркеу және талдау

М.Ш. Салауатова[✉], Е.А. Тулеков*[✉]

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

(E-mail: *yerzhan_ta@mail.ru. smsh688@gmail.com)

Андатпа. Бұл жұмыста Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің (ЕҰУ) космофизикалық эксперименттік кешенінің қрамына кіретін CARPET қондырғысының негізгі техникалық сипаттамалары келтірілген. 2017-2024 жылдар аралығындағы жүргізілген эксперименттік зерттеулердің нәтижелері келтірілген, сондай-ақ ғарыштық сәулелер ағындарының тіркелген вариацияларын және геомагниттік және планетаралық орта параметрлерін талдаудың жекелеген аспектілері қарастырылған. Мақалада аталған университеттің ғылыми кешендегі CARPET детекторының модульдерімен тіркелген екінші ретті ғарыштық сәулелер ағындарының 2017, 2021, 2024 жылдардағы қуатты геомагниттік қозулар кезінде КРАР, Dst геомагниттік индекстерінің FS Күн желінің плазмалық жылдамдығының және Жер үсті нейтрон мониторлардың деректерімен уақыттық вариацияларының салыстырмалы талдауы келтірілген. Зерттеу үшін Күннің жарқыл белсенділігі туралы деректер де пайдаланылды және оның графигі келтірілді. Геомагниттік қозулардың себебі болып табылатын Күн жарқылының сипаттамалары мен параметрлері қарастырылды. Сонымен қатар, магниттік дауылдар туралы деректер де келтірілді. Талдау нәтижелері көрсетілді, Форбуш-төмендеуі эффектісі айқындалып, оның сипаттамалары мен ерекшеліктері қарастырылды. Алынған нәтижелер ғарыштық сәулелер қарқындылығының вариациялары Күн бетіндегі қозулардан туындап, кейінгі геомагниттік өріс элементтерінің өзгерістеріне байланысты екені айтылды және көрсетілді.

Түйін сөздер: космофизикалық кешен, детектор, Күн белсенділігі, Күн жарқылы, геомагниттік қозулар, галактикалық ғарыштық сәулелер, Форбуш-төмендеуі

Кіріспе

Ғарыштық сәулелер ағындарының әртүрлі уақыттық және вариациялық өзгеру табиғаты, соның ішінде тәуліктік, 27 күндік, жылдық, 11 жылдық және тағы да басқалары, сонымен бірге атмосфера және ауа-райдың күйлерімен Күн және геофизика факторларының өзара байланысы бұрыннан ерекше назарға ие.

Жіберілді 21.11.2025. Өзгертілді 25.11.2025. Қабылданды 27.11.2025. Онлайн қол жетімді 25.12.2025.

Қазіргі уақытта Күн – Жер физикасының ең өзекті мәселелерінің бірі – ғарыштық сәулелердің төменгі атмосфераға әсері болып табылады. Ғарыштық сәулелер ауа райы және климатқа ықпал ететін атмосфералық процестерде негізгі рөлдерді атқарады. Жалпы қоршаған орта мәселелері қашанда маңызды болғандықтан атмосферадағы болатын құбылыстар көптеген жылдар бойы ғалымдардың негізгі зерттеу объектісіне айналды. Сондықтан атмосфералық құбылыстар туралы зерттеулер аясында алынған деректер мен мәліметтерді түсіну және оны түсіндіруде екінші ретті ғарыштық сәулелер ағыны вариацияларына атмосфералық процестердің әсерін зерттеу де маңызды болып табылады. Бір жағынан, Күн – геофизикалық факторлар төменгі атмосферадағы болатын құбылыстарға әсері бар. Мысал ретінде 11 жылдық Күн белсенділігі циклының Жердегі ауа райы мен климатқа әсері және олардың байланысы туралы зерттеулерді келтіруге болады [1]. Сонымен бірге, Күн протон оқиғалары және галактикалық ғарыштық сәулелер ағындарының қарқынды өзгерістері кезінде циклондық құбылыстардың күшеюі байқалатыны дәлелденген [2].

Күн бетіндегі жарқылдар процестері кезінде күндік желдердің қозуы байқалады, бұл қозулар өз кезегінде Күн бетінен короналды масса шығарындысы (СМЕ) құбылысына әкеледі. Күндік желдер галактикалық ғарыштық сәулелерге әсер етеді, осылайша олар ғарыштық сәулелердің қарқындылығының вариациясын тудырады. Мұндай вариациялар түріне Форбуш-эффект (қысқа уақытты және кенеттен ғарыштық сәулелердің қарқындылығының төмендеуі). Аталған эффект өте күрделі құбылыс және ол терең зерттеуді қажет етеді.

Галактикалық және Күн ғарыштық сәулелердің ауа райы, климат және төменгі атмосферадағы процестерге әсері әртүрлі Күн – геофизикалық байланыс параметрлерінің өзгерістерінен болуы мүмкін. Алайда, аталған геофизикалық және планетаралық кеңістік өзгерістердің төменгі атмосфераға әсері механизмі толықтай зерттелмеген. Осыған орай, қазіргі уақытта Күн-Жер байланысы физикасы аясында расталмаған механизмдерді зерттеу бойынша жұмыстарды жүргізу өте маңызды.

Ғарыштық сәулелерді зерттеу үшін бірінші ретті ғарыштық сәулелердің атмосферамен өзара әрекеттесуінен пайда болатын екінші ретті ғарыштық сәуле бөлшектерін тіркейтін жер үсті қондырғылары қолданылады.

Осы мақсатта, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университетінде Ресей ғылым академиясының П.Н.Лебедев атындағы Физика институтымен (Ресей Федерациясы, Мәскеу облысы) бірлесіп құрамына иондаушы бөлшектерді тіркейтін CARPET детекторы, нейтрондарды тіркейтін нейтрондық детектор және EFM-100 электростатикалық флюксметр кіретін ғылыми космофизикалық кешен құрылды.

CARPET қазіргі уақыттағы қолданыстағы басқа нейтрондық мониторлармен салыстырғанда барлық зарядталған бөлшектерге, оның ішінде бірінші ретті галактикалық және күндік ғарыштық сәулелердің Жер атмосферасына енгенде түзілетін төменгі энергиялы ғарыштық сәулелердің зарядталған екінші ретті компоненттеріне де өте сезімтал.

Аталған космофизикалық жер үсті кешеннің деректері атмосфера физикасын зерттеу, оның ғарыштық сәулелермен өзара байланысы мен әрекеттесуін, ұзақ мерзімді

уақыттық перспективада зерттеулер жүргізуге жақсы мүмкіндік береді және де екінші ретті ғарыштық сәулелер бойынша қазіргі уақытта қолданылатын космофизикалық жер үсті детекторларының желісінің деректеріне қосымша дерекқор ретінде жалпы әлемдік деректер базасын сапалы түрде толықтыра алады.

Әдіснама

CARPET екінші ретті ғарыштық сәуле детекторы [3-5] екі бірдей типтегі CARPET1 және CARPET2 модульдерінен тұрады, бұл өлшеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді. Бір модульдің құрамында жалпы саны 120 Гейгер есептегіштері орналасқан. Эксперименттік деректерді жазу 1мс импульстің периодтық қарқынында N1, N2, N12 үш каналдар арқылы жүргізіледі. Бірінші канал (N1, UP) 60 есептегіштен тұратын жоғары қабаты арқылы өтетін зарядталған бөлшектердің интегралды санына сәйкес келеді. Екінші канал (N2, LOW) 60 есептегіштен тұратын төменгі қабаты арқылы өтетін зарядталған бөлшектердің интегралды санына сәйкес келеді. Детектордың телескопиялық құрылымы барлық жоғарғы есептегіштердің (N1 каналы) жалпы санау қарқынын, барлық төменгі есептегіштердің (N2 каналы) санау қарқыны және жоғарғы есептегіш, алюминий фильтрі және төменгі есептегіш (N12 немесе TEL каналы) арқылы өтетін зарядталған бөлшектердің санау қарқыны туралы ақпарат алуға мүмкіндік береді.

Деректердің алғашқы аталған екі каналы протондарды ($E > 5$ МэВ), электрон мен позитрондарды ($E > 200$ кэВ), мюондарды ($E > 1,5$ МэВ), және фотондарды ($E > 20$ кэВ) (протон, электрон, позитрон, мюондарды тіркеу тиімділігі $\sim 100\%$, фотондарды тіркеу тиімділігі $< 1\%$) жалпы санау қарқынына сәйкес келеді. Үшінші арна үшін тіркеудің энергиялық шекаралары – протондар үшін $E > 30$ МэВ, электрондар мен позитрондар үшін $E > 5$ МэВ және мюондар үшін $E > 15,5$ МэВ. Сонымен қатар, CARPET қондырғысының құрамына атмосфералық қысым және температура сияқты метеорологиялық ақпараттарды жинауға арналған телеметрия платасы кіреді.

Радиометрияда бірнеше есептегіштерден тұратын және сәйкестік схемасына қосылған қондырғылар кеңінен қолданылады. Есептегіштің бұл түрі әдетте телескоп деп аталады. Бұл сәйкестік схемасы импульстардың келуінің бір мезгілде шынайы оқиғаларын ажыратады. Мұндай қондырғыларда сигнал тек тіркелетін бөлшек екі есептегіштен өткен кезде ғана пайда болады. Яғни, тіркелген бөлшек телескоптың белгілі бір бұрыштық конусынан өтеді. Ол дискреттік бірнеше кіріс және бір шығыстан тұратын коммутациялық құрылғы ретінде жұмыс істейді, мұнда барлық кірісте импульс тек бір уақытта тіркелген кезде ғана сигнал пайда болады. Бір шығыс және бір уақыттағы сигналдардың келуіне арналған бірнеше кірістердің мақсаты сәулелену нәтижесінде пайда болған импульстар уақыт бойынша сәйкес келсе – онда схемада сигнал түзіледі. Егер де уақыт бойынша сәйкес келмесе, схема «үнсіздік» танытады, яғни сигнал түзілмейді.

CARPET детекторында бар Гейгер есептегіштеріндегі телескоп каналы (TEL) сонымен қатар фондық және кездейсоқ импульстардың іске қосылып кетуінен тазартады, осылайша сәуле бөлшектері бір уақытта бірнеше есептегіштерден өту арқылы шынайы оқиғаларды тіркейді. TEL каналы бұл бір бағытта бірінен соң бірі орналасқан екі

есептегіштің жүйесі. Электроника (сәйкестік схемасы) барлық есептегіштерден өткен сигналдардың сәйкестігін тіркейді. Осылайша, телескоптық жүйе жалған сигналдардың пайда болуын айтарлықтай төмендетеді, өйткені сигнал пайда болу үшін бір уақыттық импульстардың бар болуы қажет. Сәйкесінше, TEL каналын қолдану – бұл алынатын деректердің шынайылығын арттырудың маңызды әдісі.

Нәтижелер мен талқылау

Корональды масса шығарындысы (СМЕ) сияқты Күн белсенділігі локалды планетаралық магнит өрісін айтарлықтай күшейтетін жоғары энергиялы бөлшектер ағынын тудырады. Уақытша қозған магнит өрістері галактикалық ғарыштық сәулелердің таралуын тежейді, бұл галактикалық ғарыштық сәулелер ағындарының күрт төмендеуіне ықпал етеді. Бұл құбылыс Форбуш-төмендеуі деп аталады [6, 7].

Форбуш – төмендеуді өлшеу және оны зерттеу галактикалық ғарыштық сәулелердің таралуын және олардың гелиосферадағы күрделі ортамен әрекеттесуін диагностикалауға мүмкіндік береді. Галактикалық ғарыштық сәулелердің Форбуш – төмендеуі ондаған жылдар бойы әртүрлі геомагниттік кесу қаттылығы әртүрлі аймақтарда орналасқан нейтрондық мониторлар арқылы кеңінен өлшенді [8]. Соңғы жылдары Форбуш – төмендеулерді зерттеу үшін екінші ретті ғарыштық сәулелердің жалпы иондаушы компоненттерін тіркейтін детекторлар белсенді түрде қолданыла бастады [9, 10].

Бұл жұмыста талдау үшін нейтрондық мониторлардың әлемдік желісінің деректері, сонымен бірге гелиосфералық және магнитосфералық қозулар кезіндегі планетаралық кеңістіктің электромагниттік жағдайы туралы деректер пайдаланылды [8, 11].

Жұмыс барысында бастапқы эксперименттік деректер әрбір канал үшін алынған қысым бойынша түзету коэффициенттер арқылы түзетілді. Барометрлік қысымға түзету β коэффициенті

$$N = N_0 \cdot e^{-\beta \cdot (P - P_0)} \quad (1)$$

формуласы арқылы эксперименттік мәндерге сызықтық регрессия әдісі қолданыла отырып анықталады. Бұл әдіс [12] жұмыста толығырақ көрсетілген.

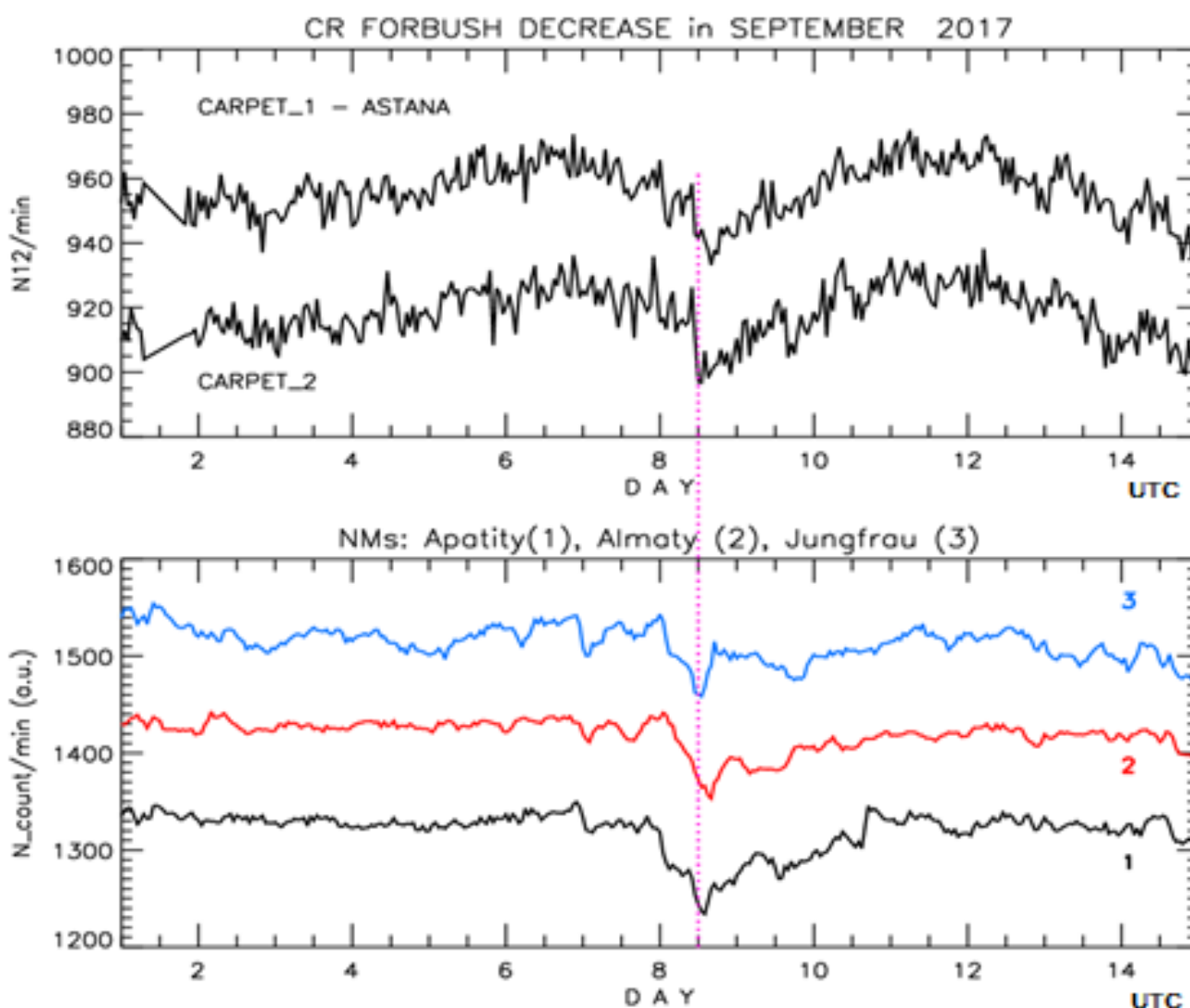
Сонымен бірге, бағдарламалық жасақтаманың көмегімен берілген режимде есептеу уақытындағы импульстардың жалпы санын суммалауға (интегралдауға) мүмкіндік бар. Жалпы алғанда, орташа мәндер

$$R_t = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{\sum_{i=1}^N T_i} \quad (2)$$

формула бойынша тиімді өлшеу уақытына нормаланған есептік уақыт ішінде тіркелген импульстардың саны бойынша анықталады, мұндағы n_i – секунд ішіндегі есептеу саны (немесе басқа базалық интервал), T_i – есептік уақыт, N – орташалау сағат бойынша алынған жағдайдағы берілген сағаттағы секундтар саны. Пуассонның статистикалық қателігі:

$$\sigma(R_t) = \frac{\sqrt{\sum n_i}}{\sum T_i} \quad (3)$$

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті ғылыми кешеніндегі CARPET детекторының екі модулі көмегімен алынған өлшеу деректері айтарлықтай дұрыс. Алынған деректердің дұрыстылығын сәуле қарқындылығының 2017 жылғы 1 қыркүйегі мен 15 қыркүйегі аралығындағы қатты геомагниттік дауыл кезінде алынған уақыттық өзгерістер нәтижелерін басқа нейтрондық мониторлардағы өлшеу деректерімен салыстырудағы үйлесімділік көрсетеді (1-суретте: 1 қисық – 67.57°N, 33.39°E геомагниттік кесу $R_s = 0.65$ ГВ қаттылығында орналасқан Ресей Полярлық геофизикалық институтындағы «Апатиты» нейтрон монитору, 2 қисық – 43,1°S, 76,6°E геомагниттік кесу $R_s = 6,69$ ГВ қаттылығында орналасқан Қазақстандық Ионосферы институтындағы «Алматы» нейтрон монитору, 3 қисық – 46.55°N, 7.98°E геомагниттік кесу $R_s = 4,49$ ГВ қаттылығында орналасқан Швейцариялық «Jungfrau Joch IGY» нейтрон монитору).



Сурет 1. CARPET детекторының екі модулінің TEL каналындағы санау қарқындылығы (Форбуш эффектісі, қыркүйек 2017 ж.)

2017 жылдың қыркүйек айындағы CARPET детекторы мен нейтрондық мониторлардың эксперименттік деректері Жер бетіндегі атмосферадағы ғарыштық сәулелер ағыны қарқындылығының төмендегенің көрсетті. Бұл Күн бетіндегі жарқылдар сериялары есебінен Күн белсенділігінің артуына байланысты. Форбуш – төмендеуі 4 қыркүйектен 10 қыркүйекке дейін NOAA12673(S11W16) аймағында Күн сәулесінің жоғары белсенділігінен туындады [10, 13]. Ғарыштық сәулелердің қарқындылығының амплитудасы $\approx 2\%$ төмендеуі 7 қыркүйекте планетаралық қозулар мен геомагниттік дауылдың басталуымен жүреді. Әрі қарай 8 қыркүйекте барлық Жер үсті мониторлардағы ғарыштық сәулелер ағындарының қарқындылығы айтарлықтай төмендеді. Бұл құбылыс CARPET детекторында да байқалды.

Жоғары Күн белсенділігінен кейін 7 және 8 қыркүйекте жылдамдығы жоғары Күн желдері мен Жер маңы кеңістігіндегі планетаралық магнит өрісінің қозуы байқалды. Ғарыштық сәулелер ағынының амплитудасының төмендеуі планетаралық кеңістіктегі қозулардың басталуымен және геомагниттік дауыл фазасына сәйкес келеді.

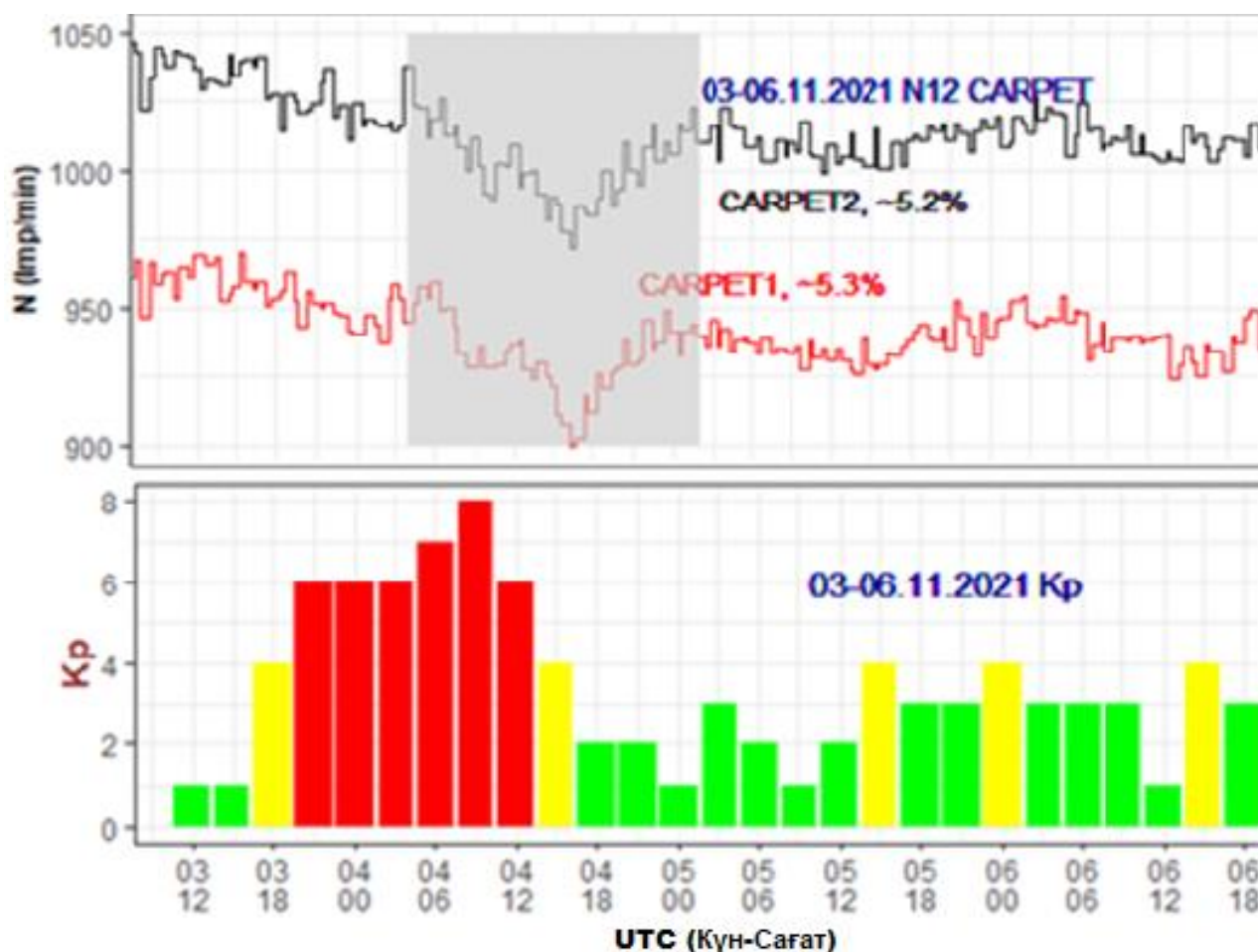
2017 жылдың 8 қыркүйегінде Dst шамасы -142 нТ (1 UTC) дейін төмендеді, ал үш сағаттық планеталық Kp геомагниттік индекс шамасы 9 қыркүйекке дейін жоғары болды (4,7 ден 8,3 аралығында) және максималды мәнге (8,3) 8 қыркүйекте 1-14 UTC аралығында жетті. Күн желі плазмасының жылдамдығы 817 км/сағ мәніне 8 қыркүйекте 8 UTC жетті. Магнит өрісінің B және Bz критикалық мәндері сәйкесінше 7,3 және 24, нТ жетіп, магнит өрісінің тығыздығы 7 қыркүйекте $13,9$ Н/см³ құрады.

Нәтижесінде геомагниттік дауылдың штормдық деңгейге жетті және оның мәні -14 нТл құрады. Мұндай дауылдың үлкен мәні 2017 жылда болған жалғыз жағдай. Өтіп жатқан корональды массашығарындысы (CME) Жерге жететін ғарыштық сәулелер мөлшерінің төмендеуіне ықпал етті, нәтижесінде Жердегі нейтрондық мониторлар 8 қыркүйекте Форбуш – төмендеуі 9% -ке жеткенін тіркеді.

2021 жылдың қарашасынла (2021 жылғы 4 қараша) Жерде ең қуатты геомагниттік дауыл тіркелді. Ол 2021 жылғы 3 қарашада басталды. 21:00 (UTC) уақытында геомагниттік (Kp) индексі 6 мәніне жетті және ол 2021 жылғы 4 қарашада шамамен $\sim 15:00$ (UTC) Kp = 4 мәніне дейін жалғасты. Геомагниттік индекстің максималды мәні 8 балдық деңгейге дейін көтерілді (9 балл ішінде).

Геомагниттік дауыл туындауының басты себебі – Күн бетіндегі 2021 жылы 2 қарашада тіркелген M1.7/1F жарқылы. Ол Жерге қарай баытталған корональды масса шығарындысымен (CME) жалғасты. Бұл оқиғаның ерекшелігі, орташа классификациялы (M1.7) жарқылынан өте күшті және ұзаққа созылған геомагниттік қозудың пайда болуы.

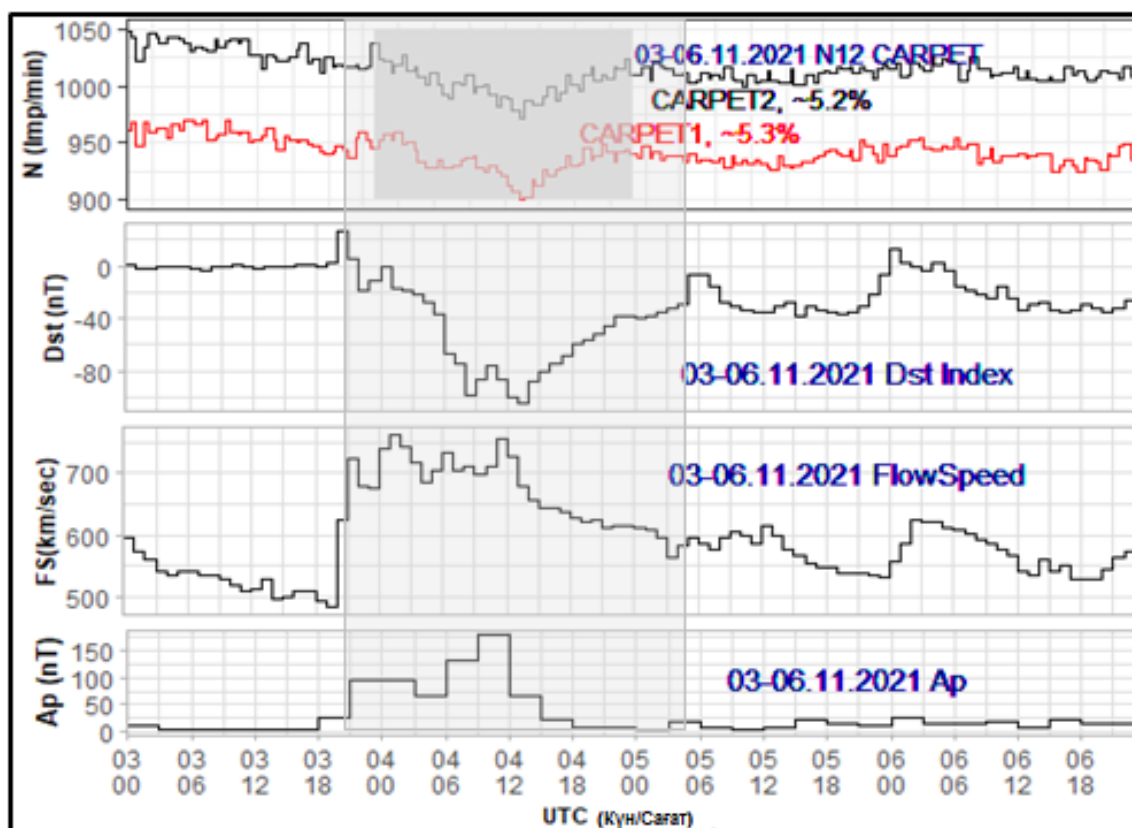
Аталған уақыт аралығындағы геомагниттік қозулары кезіндегі екінші ретті арыштық сәулелердің ағынын талдау мақсатында 2021 жылғы 3 және 6 қараша аралығында алынған CARPET деректері пайдаланылды (2-сурет).



Сурет 2. N12 (TEL) каналының санау қарқыны (жарты сағаттық деректер орташаландырылған) және Kp индексінің өзгеру динамикасы

Төмендегі 3-суретте CARPET модульдерінің N12 (TEL) каналының санау қарқынының деректері және (Ap, Dst) геомагниттік индекстер мен Күн желінің плазма ағынының жылдамдықтарымен корреляциялық талдау графигі келтірілген.

Ғарыштық сәулелер деректері барометрлік қысымға түзетілген. Деректердің орташа мәндері тиісті уақыт аралықтарына (сағаттық деректер) сәйкес талданған.



Сурет 3. CARPET1. CARPET2 модульдерінің телескоп (N12) каналындағы санау жылдамдығының уақыттық өзгеруі, (Dst, Ap) геомагниттік индекстері және Күн желі плазмасы ағынының жылдамдығы (FlowSpeed)

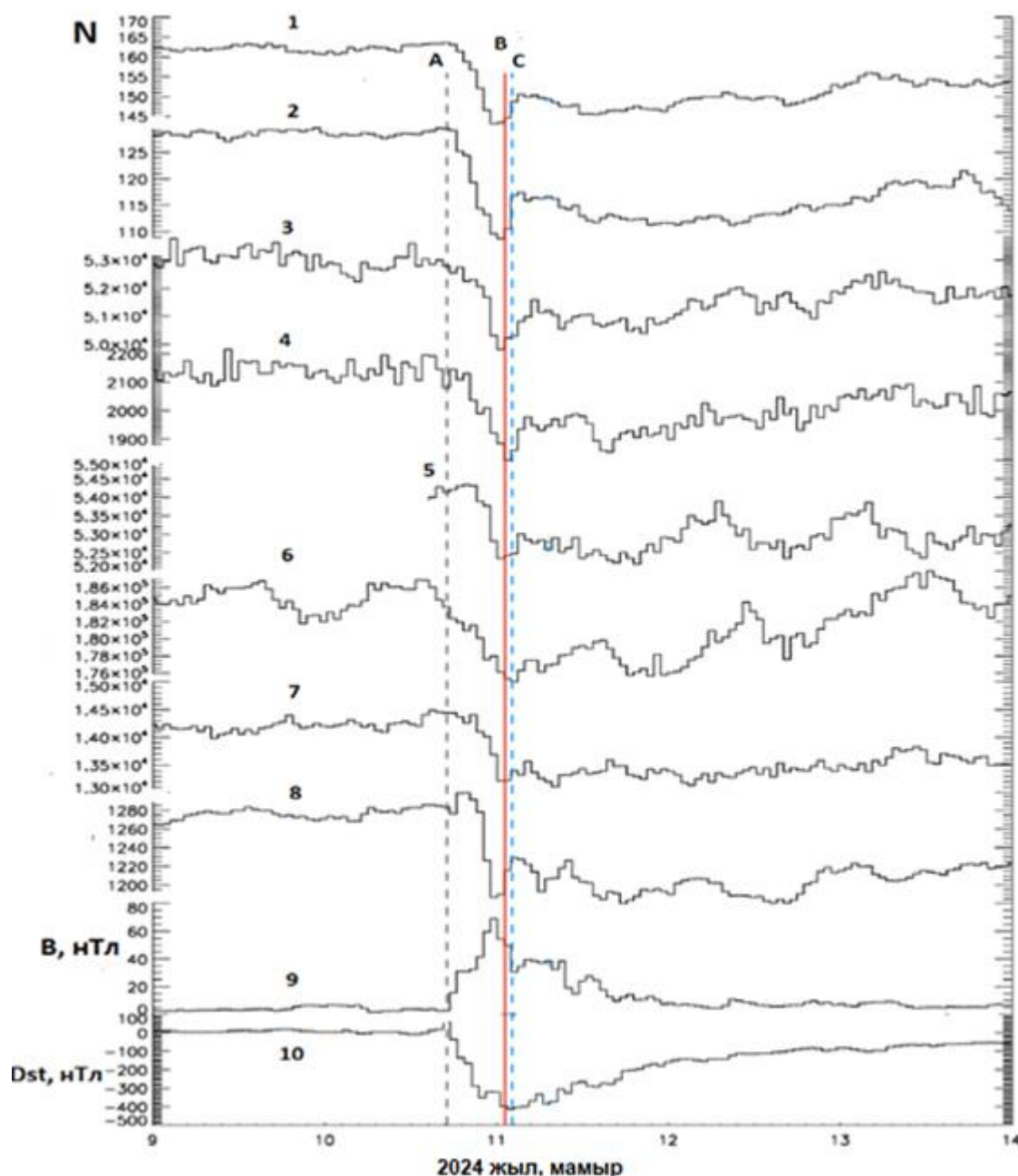
Жоғарыдағы суретке сәйкес 2021 жылғы 4 қараша (~00:00 UTC) – 2021 жылғы 5 қараша (~03:00 UTC) интервалы аралығында барлық каналдар бойынша Форбуш – төмендеуі байқалды. Едәуір үлкен ауытқу амплитудасы байқалатын Форбуш – төмендеуі CARPET детекторы екі модуліндегі N12 (TEL) каналындағы санау қарқындылығының вариацияларында көрінеді.

Ауытқу амплитудасы каналдар бойынша да, модульдер бойынша да ~ 0.2% - дан ~5.3% - ға дейін айтарлықтай өзгереді. Уақыттың өзгеру динамикасында екінші ретті ғарыштық сәулелер ағынының жоғарғы энергиялы бөлшектерін тіркеу шегін ескере келе екі модуль үшін де N12 (TEL) каналы үшін Форбуш – төмендеу амплитудасының үлкен мәні ерекшеленеді.

2024 жылдың мамырында Күн белсенділігінің айтарлықтай артқаны байқалды, ол Күн жарқылдарының көбеюімен ерекшеленді. 2024 жылғы 10 мамырда соңғы 20 жылдағы ең қуатты геомагниттік дауыл орын алды. Ол 2024 жылдың 10-11 мамырында Жерге келіп жеткен, галактикалық ғарыштық сәулелерде Форбуш-төмендеуін тудырған, бірнеше корональды масса шығарындыларының (CME) бірігуінен пайда болды. Бұл құбылыс барлық әлемдік жер үсті нейтрондық мониторлармен тіркелді. Осы периодтың ерекшелігі

геомагниттік дауыл фазасында галактикалық ғарыштық сәулелер ағынының едәуір төмендеуімен қатар Жер маңы кеңістігіне жоғары энергиялы Күн ғарыштық сәулелердің келуі тіркелді. Бұл бөлшектердің шығу көзі – 11 мамырдың сағат 01.10 UTC басталған өте қуатты X5.8/2B баллдық (координатасы S17W44) Күн жарқылы.

Форбуш – төмендеуі 10 мамырдың шамамен ~17.10 UTC басталды және ол осы уақытта Жер маңы кеңістігіне планетааралық соққы толқынының келуімен байланысты болды. Бұл құбылыс нейтрондық мониторларда сәуле бөлшектерінің өсуімен байқалды. Төменде 4-суретте мамыр айындағы өлшеулер деректері бойынша тұрғызылған графиктер келтірілген. Графиктердегі көрсетілген нөмірлерге сәйкес әлемдік нейтрон мониторлары, оның ішінде Апатиты (1-қисық), Оңтүстік полюс (2-қисық), Долгопрудный қаласындағы CARPET детекторы (3-қисық) және нейтрондық детектор (4-қисық), Астана қаласындағы Еуразия Ұлттық университеті базасындағы CARPET детекторы (5-қисық), CASLEO Аргентина астрономиялық обсерваториясында орналасқан CARPET детекторы (6-қисық) және нейтрондық детектор (7-қисық) және Алматы қаласындағы Ионосфера институтындағы нейтрондық монитор (8-қисық) деректерінен алынған көрсеткіштер, сонымен қатар планетааралық магнит өрісінің шамасы (9-қисық) және геомагниттік Dst индексінің шамасы (10-қисық) келтірілген. Геомагниттік қозудің максималды фазасы 11 мамырдың сағат ~ 2-3 UT байқалды. Бұл уақытта Dst шамасы -412 нТл дейін төмендеді (3-сурет, 10 қисық), ал планеталық Кр геомагниттік индекс шамасы ~9 дейін [14] өсті.



Сурет 4. 2024 жылғы 9-13 мамырдағы өлшеулер деректері

Аталған уақыт диапазонында CARPET детекторларының деректері бойынша ғарыштық сәулелердің вариациялары қарастырылды. 2024 жылғы 9-13 мамырдағы бөлшектерді өлшеу деректері санау қарқынының өзгеруі мен айқындалған Форбуш – төмендеуін көрсетті. Жоғарыдағы 4-суретте тік сызықтар планетааралық соққы толқынының 10 мамырда сағат ~17.06 UT келуімен сәйкес келеді. Геомагниттік қозудың басталуы А әрпімен белгіленген пунктир сызығы бойына сәйкес келеді. X5.8/2В баллдық Күн жарқылы 11 мамырда сағат 01.10 UT басталды (В белгілеуі). Жер маңы кеңістігіне Күн протондарының келу уақыты – 11 мамыр 02.10 UTC (С белгілеуі).

Қорытынды

Л.Н. Гумилев атындағы ғылыми кешендегі орнатылған CARPET детекторларынан алынған эксперименттік деректеріне жүргізілген талдаулар, аталған қондырғының әлемдік нейтрондық мониторлардың нәтижелерімен корреляцияны көрсетті және детектор ғарыштық сәулелер вариациясының табиғатын әртүрлі аралықтары үшін, соның ішінде Форбуш-төмендеуін бақылау үшін зерттеуге мүмкіндік беретіне көз жеткізді:

1. Еуразия ұлттық университеті базасындағы CARPET детекторының модульдерімен қуатты геомагниттік қозулар кезеңінде тіркелген екінші ретті ғарыштық сәулелер ағындарының уақыттық өзгерістеріне геомагниттік индекс шамаларын қолдана отырып салыстармалы талдау жүргізілді.

2. Күн жарқылы белсенділігіне байланысты болған екінші ретті ғарыштық сәулелер ағынының уақыттық өзгеріс динамикасында Форбуштық төмендеулер Жерге бағытталған корональды масса шығарындыларымен (CME) бірге жүретіндігі көрсетілді.

3. Ғарыштық сәулелер бөлшектері ағындарының қарқындылығының өзгеруіне себеп болған Күндік және геомагниттік қозу белсенділіктерінің параметрлері, сипаттамалары және ерекшеліктері қарастырылды.

Қорытындылай келе, алынған нәтижелер ғарыштық сәулелер қарқындылығының вариациялары Күн бетіндегі қозулардан туындап, кейінгі геомагниттік өріс элементтерінің өзгерістеріне байланысты екенін растады және көрсетті.

Сонымен қатар, CARPET детекторларының ЕҰУ-дағы ұзақ мерзімді деректері әлемдік нейтрондық мониторлар желісін толықтырып, Орталық Азия аймағы үшін бірегей ақпарат береді. Бұл Қазақстан аумағында атмосфералық процестер мен климаттық өзгерістерді зерттеуге жаңа мүмкіндік ашып, Күн-Жер байланысы құбылыстарына мониторинг жүргізудің тұтастығын арттырады. Алдағы зерттеулерде алынған деректер ғаламдық және аймақтық деңгейдегі ғылыми талдауларды тереңдетуге негіз болады.

Авторлардың қосқан үлесі.

Салауатова М.Ш. – зерттеу нәтижелерін жинау, мәтін жазу және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қайта қарау;

Тулеков Е.А. – мәтін жазу, деректердің дұрыстығына және мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығына байланысты мәселелерді зерттеу және шешу.

Әдебиеттер тізімі

B.A. Tinsley, G. W. Deen, Apparent tropospheric response to MeV-GeV particle flux variations: A connection via electrofreezing of supercooled water in high-level clouds?, J. Geophys. Res. 96, 22283–22296 (1991), <https://doi.org/10.1029/91JD02473>.

S.V. Veretenenko, P. Theil, Solar proton events and evolution of cyclones in the North Atlantic, Geomagn. Aeron. 48, 542–552 (2008)

E.A. Tulekov et al., Ground-based instrument for the study of cosmic ray variation in Nur-Sultan, Geomagn. Aeron. 60, 693–698 (2020), <https://doi.org/10.1134/S0016793220060166>.

- S. V. Mizin et al., Brief communications on physics, *Kratkie Soobshch. Fiz.* (FIAN, Moscow) 2, 9 (2011).
- R. R. Mendonça et al., Observation of cosmic ray and electric field variations in the near-ground atmosphere, *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Fiz.* 73, 422–424 (2009).
- S. E. Forbush, On the effects in cosmic-ray intensity observed during the recent magnetic storm, *Phys. Rev.* 51, 1108 (1937), <https://doi.org/10.1103/PhysRev.51.1108>.
- V. F. Hess, A. Demmelair, World-wide effect in cosmic ray intensity, as observed during a recent magnetic storm, *Nature* 140, 316–317 (1937), <https://doi.org/10.1038/140316a0>.
- Neutron Monitor Database (NMDB), www.nmdb.eu (accessed October 2, 2025).
- Y. Tulekov, A. K. Morzabaev, and V. S. Makhmutov, The Forbush-decreases in cosmic ray fluxes and solar-proton events in July and September 2017, *Recent Contrib. Phys.* 77, 10–17 (2021), <https://doi.org/10.26577/RCPH.2021.v77.i2.02>.
- V. S. Makhmutov, G. A. Bazilevskaya, Y. I. Stozhkov, M. V. Philippov, and E. V. Kalinin, Solar activity and cosmic ray variations in September 2017, *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.* 83, 543–546 (2019), <https://doi.org/10.3103/S1062873819050228>.
- SWPC Forecast Center, <https://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-features/solar-flares/> (accessed September 10, 2025).
- Paschalis P., Mavromichalaki H., Yanke V., Belov A., Eroshenko E., Gerontidou M., Koutroumpi I. Online application for the barometric coefficient calculation of the NMDB stations, *New Astronomy*. 19, 10-18 (2013).
- SolarMonitor, <https://www.solarmonitor.org> (accessed November 2, 2025).
- OMNIWeb Data Explorer, <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/ow.html> (accessed November 2, 2025).

М.Ш. Салауатова, Е.А. Тулеков*

*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
(E-mail: *yerzhan_ta@mail.ru. smsh688@gmail.com)*

Регистрация и анализ изменения интенсивности космических лучей по данным установки космофизического комплекса ЕНУ им. Л.Н. Гумилева

Аннотация. В данной работе приведены основные технические характеристики установки CARPET, входящей в состав космофизического экспериментального комплекса Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. Приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных в период с 2017 по 2024 годы, а также рассмотрены отдельные аспекты анализа зарегистрированных вариаций потоков космических лучей и параметров геомагнитной и межпланетной среды. В статье представлен сравнительный анализ временных вариаций потоков вторичных космических лучей с приведением геомагнитных индексов Kp, Ap, Dst, скорости плазмы солнечного ветра FS и данных наземных нейтронных мониторов в период мощных геомагнитных возмущений 2017, 2021 и 2024 годов, зафиксированных модулями детектора CARPET в научном комплексе данного университета. Для исследования также были использованы данные о вспышечной активности Солнца и приведен его график. Рассмотрены характеристики и параметры солнечной вспышки, являющейся причиной геомагнитных

возбуждений. Кроме того, были приведены данные о магнитных бурях. Были показаны результаты анализа, выявлен эффект Форбуш-понижений, рассмотрены его характеристики и особенности. Полученные результаты показали, что вариации интенсивности космических лучей вызваны возбуждениями на поверхности Солнца и связаны с последующими изменениями элементов геомагнитного поля.

Ключевые слова: космофизический комплекс, детектор, солнечная активность, солнечная вспышка, геомагнитные возбуждения, галактические космические лучи, Форбуш-понижение

M.Sh.Salauatova, Ye.A.Tulekov*

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*(E-mail: *yerzhan_ta@mail.ru. smsh688@gmail.com)*

Registration and analysis of cosmic ray intensity variations based on data from the L.N. Gumilyov ENU cosmophysical complex

Abstract. This paper presents the main technical characteristics of the CARPET installation, which forms part of the Cosmophysical Experimental Complex at L. N. Gumilyov Eurasian National University. It reports the results of experimental studies carried out between 2017 and 2024, along with selected aspects of the analysis of recorded variations in cosmic ray fluxes and parameters of the geomagnetic and interplanetary environment. A comparative analysis of temporal variations in secondary cosmic ray fluxes is provided, employing geomagnetic indices (Kp, Ap, Dst), solar wind plasma velocity (Fs), and data from ground-based neutron monitors during major geomagnetic disturbances in 2017, 2021, and 2024, as registered by CARPET detector modules at the university's scientific complex. The study also incorporates data on solar flare activity, including graphical representation, and examines the characteristics and parameters of solar flares responsible for geomagnetic disturbances. In addition, information on magnetic storms is presented. The analysis reveals the occurrence of Forbush decreases, with their specific features and properties discussed. The findings demonstrate that variations in cosmic ray intensity are driven by solar surface activity and are linked to subsequent changes in elements of the geomagnetic field

Keywords: cosmophysical complex, detector, Solar activity, Solar flare, geomagnetic disturbances, galactic cosmic rays, Forbush-decrease

References

- B.A. Tinsley, G. W. Deen, Apparent tropospheric response to MeV-GeV particle flux variations: A connection via electrofreezing of supercooled water in high-level clouds?, *J. Geophys. Res.* 96, 22283–22296 (1991), <https://doi.org/10.1029/91JD02473>.
- S.V. Veretenenko, P. Theil, Solar proton events and evolution of cyclones in the North Atlantic, *Geomagn. Aeron.* 48, 542–552 (2008)
- E.A. Tulekov et al., Ground-based instrument for the study of cosmic ray variation in Nur-Sultan, *Geomagn. Aeron.* 60, 693–698 (2020), <https://doi.org/10.1134/S0016793220060166>.
- S.V. Mizin et al., Brief communications on physics, *Kratkie Soobshch. Fiz. (FIAN, Moscow)* 2, 9 (2011).
- R.R. Mendonça et al., Observation of cosmic ray and electric field variations in the near-ground atmosphere, *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Fiz.* 73, 422–424 (2009).

S. E. Forbush, On the effects in cosmic-ray intensity observed during the recent magnetic storm, Phys. Rev. 51, 1108 (1937), <https://doi.org/10.1103/PhysRev.51.1108>.

V. F. Hess, A. Demmelair, World-wide effect in cosmic ray intensity, as observed during a recent magnetic storm, Nature 140, 316–317 (1937), <https://doi.org/10.1038/140316a0>.

Neutron Monitor Database (NMDb), www.nmdb.eu (accessed October 2, 2025).

Y. Tulekov, A. K. Morzabaev, and V. S. Makhmutov, The Forbush-decreases in cosmic ray fluxes and solar-proton events in July and September 2017, Recent Contrib. Phys. 77, 10–17 (2021), <https://doi.org/10.26577/RCPH.2021.v77.i2.02>.

V. S. Makhmutov, G. A. Bazilevskaya, Y. I. Stozhkov, M. V. Philippov, and E. V. Kalinin, Solar activity and cosmic ray variations in September 2017, Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 83, 543–546 (2019), <https://doi.org/10.3103/S1062873819050228>.

SWPC Forecast Center, <https://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-features/solar-flares/> (accessed September 10, 2025).

Paschalis P., Mavromichalaki H., Yanke V., Belov A., Eroshenko E., Gerontidou M., Koutroumpi I. Online application for the barometric coefficient calculation of the NMDb stations, New Astronomy. 19, 10-18 (2013).

SolarMonitor, <https://www.solarmonitor.org> (accessed November 2, 2025).

OMNIWeb Data Explorer, <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/ow.html> (accessed November 2, 2025).

Авторлар туралы мәлімет

Салауатова М.Ш. – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті магистранты, Қ.Мұңайтпасов көшесі, 13, 010008, Астана, Қазақстан

Түлеков Е.А. – хат-хабар авторы, PhD, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті Ядролық физика, жаңа материалдар мен технологиялар кафедрасының аға оқытушысы, Қ.Мұңайтпасов көшесі, 13, 010008, Астана, Қазақстан

Салауатова М.Ш. – магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, ул. К.Мунайтпасова, 13, 010008, Астана, Казахстан

Түлеков Е.А. – автор корреспонденции, PhD, старший преподаватель кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, ул. К.Мунайтпасова, 13, 010008, Астана, Казахстан

Salauatova M.Sh. –master's student at L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov St., 010008, Astana, Kazakhstan

Tulekov Ye.A. – the corresponding author, PhD, Senior Lecturer, Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov str., 010008, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).