

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Қазақстан Республикасының Ғылым
Академиясының Әл-Фараби атындағы
Қазақ ұлттық университетінің

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
Al-Farabi Kazakh
National University

SERIES
PHYSICO-MATHEMATICAL

3 (337)

MAY – JUNE 2021

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series physico-mathematical journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы «ҚР ҰҒА Хабарлары. Физикалық-математикалық сериясы» ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАНПК сообщает, что научный журнал «Известия НАНПК. Серия физико-математическая» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАНПК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.

Бас редактор:

МҰТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан) Н=5

Редакция алқасы:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан) Н=7

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жаңабайұлы (бас редактордың орынбасары), техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сатпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан) Н=3

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша) Н=23

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=10

QUEVEDO Hernando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика) Н=28

ЖҮСПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина) Н=5

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі (Минск, Беларусь) Н=2

РАМАЗАНОВ Тілекқабыл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) Н=26

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=5

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова) Н=42

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=10

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=12

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), Наноқұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) Н=26

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 2224-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген № 16906-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика-математика ғылымдары және ақпараттық техникалар саласындағы басым ғылыми зерттеулерді жариялау.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19, 272-13-18
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2021

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Главный редактор:

МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан) Н=5

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан) Н=7

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, (заместитель главного редактора), доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, университет Сатпаева (Алматы, Казахстан) Н=3

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша) Н=23

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=10

QUEVEDO Hemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика) Н=28

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина) Н=5

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь) Н=2

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=26

ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=5

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова) Н=42

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан) Н=10

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=12

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия) Н=26

«Известия НАН РК. Серия физика-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 2224-346X (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № 16906-Ж выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *публикация приоритетных научных исследований в области физико-математических наук и информационных технологий.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19, 272-13-18

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2021

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan) H=5

Editorial board:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich (Deputy Editor-in-Chief), doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan) H=7

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, (Deputy Editor-in-Chief), doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan) H=3

WOICIK Waldemar, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland) H=23

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=10

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico) H=28

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=7

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine) H=5

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS of Belarus (Minsk, Belarus) H=2

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=26

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=5

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova) H=42

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan) H=10

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=12

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy) H=26

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Physical-mathematical series.

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 2224-346X (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan **No. 16906-Ж**, issued 14.02.2018

Thematic scope: *publication of priority research in the field of physical and mathematical sciences and information technology.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2021

Address of printing house: ST «Aruna», 75, Muratbayev str, Almaty.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 337 (2021), 85 – 95

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.50>

УДК 523.98

Г.С. Минасянц¹Т.М. Минасянц¹, В.М. Томозов²¹Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова НАН РК (АФИФ), Алматы, Казахстан²Институт солнечно-земной физики СО РАН, (ИСЗФ) Иркутск

E-mail: gennadii_minasya@mail.ru

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО РАЗВИТИЯ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ
ВСПЫШЕК В 23 ЦИКЛЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В 24 ЦИКЛЕ АКТИВНОСТИ**

Аннотация. Выполнено изучение физических и структурных особенностей вспышечных событий 24-го цикла активности (2011 - 2017 г.), которые были источниками длительных потоков гамма-излучения с энергиями фотонов > 100 МэВ. Для анализа были использованы данные, полученные в ходе регулярных наблюдений на космических аппаратах (КА) FERMI, GOES и SOHO. Показано, что солнечные события с наиболее мощными и продолжительными потоками гамма-излучения с энергией > 100 МэВ связаны с явлениями GLE и вспышками рентгеновских классов $\geq X1.7$, которые обычно сопровождаются корональными выбросами массы (КВМ) с большими линейными скоростями $V_{\text{КВМ}} \geq 1200$ км/сек. На основе полученных характеристик мощных гамма-вспышек в 24 цикле активности удалось выявить наиболее вероятные события с мощными потоками гамма-излучения > 100 МэВ в 23 солнечном цикле, когда регулярных наблюдений вспышек с гамма-излучением не проводились. В период с 1997 года по 2006 год было выявлено 35 вспышек: из них 16 - событий с GLE и 19 - с необходимыми параметрами баллов вспышек и скоростей выбросов КВМ. Результаты проведенного анализа продемонстрировали более высокую солнечную вспышечную активность в 23 солнечном цикле по сравнению с 24-м циклом, что проявилось, прежде всего, в большем количестве мощных вспышек, сопровождавшихся потоками гамма-излучения с энергиями > 100 МэВ.

Ключевые слова: солнечные вспышки, гамма излучение, протоны

Введение.

Солнечные вспышки, которые часто сопровождаются появлением потоков высокоэнергичных протонов в околоземной среде, относятся к наиболее мощным геоэффективным событиям, и приводят к сильным возмущениям в магнитосфере и атмосфере Земли. Вследствие этого, изучение характеристик потоков энергичных частиц от вспышек и проявлений их геоэффективности является важной задачей солнечно-земной физики.

По современным представлениям, возникновение вспышек и сопровождающих их выбросов корональной плазмы обусловлено нарушением равновесия магнитных структур активных областей и комплексов активности в ходе их эволюции. Выходящие на поверхность Солнца магнитные поля подвергаются воздействию конвективных элементов различных масштабов, формируя активные области и более сложные структуры - комплексы активности. В результате этого топология магнитных полей всей солнечной атмосферы становится сложной и многомасштабной. В ходе эволюции активных областей их магнитная структура непрерывно усложняется, в поле возникают особые X-точки, образуются токовые слои и, вследствие процесса магнитного пересоединения,

включаются диссипативные процессы с выделением свободной магнитной энергии в активной области. Взрывное освобождение накопленной в магнитных структурах свободной магнитной энергии в токовых слоях приводит к началу вспышечного процесса, который сопровождается интенсивным нагревом плазмы, ускорением частиц и выбросами плазмы [1-3]. Активизация волокон магнитного потока, расположенных над линиями раздела полярностей в фотосфере, может стать причиной потери их устойчивости с последующей эжекцией и образованием корональных выбросов массы (КВМ) [4]. Выброс КВМ представляет собой крупномасштабную плазменную структуру с магнитным полем, передний ударный фронт которой с удалением от Солнца часто приобретает форму расширяющейся магнитной петли, в центральной части которой (ядре КВМ) находится выброшенное волокно.

Ускорение электронов до высоких энергий обычно связывают с процессами энерговыделения в токовых слоях (рождение сильных электрических полей, плазменной и МГД турбулентности), а энергичные протоны наиболее эффективно ускоряются ударными волнами, порожденными корональными выбросами массы [3]. Ускоренные электроны высоких энергий вследствие тормозного механизма генерируют рентгеновское излучение вспышек, причем мягкое рентгеновское излучение трассирует магнитную структуру вспышек, а излучение в жесткой части рентгеновского спектра регистрируется преимущественно в областях локализации выделения энергии вспышек (подножия магнитных петель и область каспа при перестройке магнитной конфигурации). Тормозное рентгеновское излучение энергичных электронов со степенным спектром (до энергий в десятки и сотни МэВ) регистрировалось в мощных вспышках в экспериментах GRS/SMM [5], ГАММА/ГАММА-1 и по нарастанию фронта излучения было определено, что ускорение электронов до таких энергий происходит за доли секунды [6]. Энергичные протоны с энергиями > 300 МэВ в ходе ядерных взаимодействий с плотным веществом солнечной атмосферы приводят к генерации нейтральных и заряженных пионов, при распадах которых возникает гамма-излучение со спектральной особенностью в области энергий ~ 70 МэВ. Гамма-излучение генерируется в достаточно мощных вспышечных событиях. Полный каталог солнечных вспышек с длительным гамма-излучением с энергиями > 100 МэВ по измерениям на КА FERMI/LAT в 24 цикле солнечной активности был представлен в работах Share et al. [7,8]. На основе проведенного анализа характеристик вспышек этого каталога Минасянц и др. [9] пришли к выводу, что максимальные потоки гамма-излучения регистрируются в подобных вспышках в тех случаях, когда выброс КВМ происходит одновременно с импульсной фазой вспышки. После окончания вспышки в рентгеновском диапазоне спектра наблюдается значительное снижение интенсивности потоков гамма-излучения.

С целью определения наиболее вероятных источников развития потоков длительного гамма-излучения с энергиями выше 100 МэВ от вспышек в 23 цикле активности (при отсутствии систематических наблюдений в гамма - диапазоне спектра) проведено сопоставление выявленных физических параметров и характеристик гамма-вспышек в 24 цикле с характеристиками вспышечных процессов 23-го цикла активности.

Развитие вспышечных потоков высокоэнергичных протонов в событиях 23 и 24 циклов активности

Наиболее важным параметром, который характеризует способность вспышки быть источником гамма-излучения >100 МэВ – это регистрация потоков энергичных протонов > 700 МэВ вблизи Земли с КА GOES/NEPAD. Однако, как было показано нами в предыдущей работе [10], это наблюдается лишь в незначительном числе случаев. Для 32 событий с длительным гамма-излучением >100 МэВ, происшедших в течение 24 цикла активности, лишь четыре вспышки породили усиленные потоки протонов с энергиями >700 МэВ (табл. 1) в околоземном пространстве. Причем событие 22 мая 2013 года, также показавшее подобное возрастание потоков протонов, не относится к вспышкам с продолжительным гамма-излучением, поскольку в этом случае наблюдался

лишь кратковременный фоновый подъем гамма-излучения ($3 \cdot 10^{-6} - 9 \cdot 10^{-6}$) $\gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ в 16:00 UT 22 мая.

Таблица 1

№	Дата развития вспышек, время начала вспышки (UT)	X-ray балл и координаты вспышки	Скорость KBM V (км/сек)	Proton max flux >700 MeV $\text{p} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$	LAT Flux (MLP) >100 MeV $\gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
	1	2	3	4	5
1	27.01.2012,17:37	X1.7 N35W81	2508	$2.3 \cdot 10^{-4}$	$3.5 \cdot 10^{-5}$
2	07.03.2012,00:02	X5.4 N17E15	2684	$2.5 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$
3	17.05.2012,01:25 G	M5.1 N05W77	1582	$3.0 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-5}$
4	10.09.2017,15:44 G	X8.2 S08W83	3163	$3.6 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-3}$
5	22.05.2013,13:08	M5.0 N15W70	1466	$2.0 \cdot 10^{-4}$	-

В состав четырех выделенных вспышек входят два события солнечных космических лучей (GLE), которые произошли в течение 24-го цикла активности – в таблице 1 они помечены индексом G (в столбце 1).

В качестве примера на рис. 2 представлено развитие двух событий с возрастаниями потоков протонов в области энергий: 375 МэВ, 465 МэВ, 605 МэВ и >700 МэВ (КА GOES/NEPAD) и с гамма-излучением >100 МэВ по данным наблюдений на Fermi/LAT, обработанных с помощью методики «maximum-likelihood-plots» (MLP).

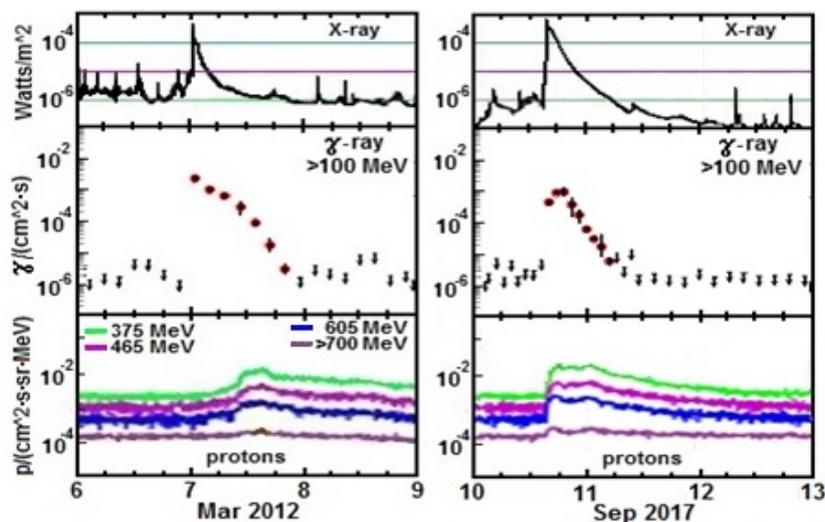


Рис. 1 - Эволюция рентгеновского излучения вспышек (верхний график), значения потоков гамма-излучения >100 МэВ (средний график) и потоков энергичных протонов (нижний).

Интенсивность интегральных потоков протонов с энергией >700 МэВ представлена в единицах $\text{p}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr})$. Данные наблюдений относятся к событиям 7 марта 2012 г. и 10 сентября 2017 года.

По результатам анализа характеристик потоков энергичных протонов для вспышек в 23 цикле активности, согласно данным наблюдений с КА GOES/NEPAD, было выявлено 18 событий с усиленными потоками протонов у Земли с энергиями >700 МэВ, причем 16 из них относились к классу GLE (таблица 2).

Таблица 2

№	Дата развития вспышек, начало UT GLE	Балл X-ray и координаты вспышки	Начало и скорость КВМ V км/сек	Поток протонов ($p_{fu}>10$ МэВ)	Макс. поток протонов >700 МэВ $p \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$
	1	2	3	4	5
1	06.11.1997,11:49 G	X9.4 S18W63	11:56,1556	490	$7 \cdot 10^{-4}$
2	02.05.1998,13:31 G	X1.1 S15W15	13:36, 938	150	$4 \cdot 10^{-4}$
3	06.05.1998,07:58 G	X2.7 S11W65	07:57,1099	210	$3 \cdot 10^{-4}$
4	24.08.1998,21:50 G	X1.0 N30E07	21:59, –	670	$3 \cdot 10^{-4}$
5	14.07.2000,10:03 G	X5.7 N22W07	10:07,1674	24000	$3 \cdot 10^{-3}$
6	08.11.2000,22:42	M7.4 N05W78	22:53,1738	14800	$4 \cdot 10^{-4}$
7	15.04.2001,13:19 G	X14 S20W85	13:35,1199	951	$8 \cdot 10^{-3}$
8	18.04.2001,02:11 G	? S20W117	02:14,2465	321	$4 \cdot 10^{-4}$
9	04.11.2001,16:03 G	X1.0 N06W18	16:08,1810	31700	$5 \cdot 10^{-4}$
10	26.12.2001,04:32 G	M7.1 N08W54	04:52,1446	779	$3 \cdot 10^{-4}$
11	24.08.2002,00:49 G	X3.1 S08W90	00:54,1913	317	$6 \cdot 10^{-4}$
12	28.10.2003,11:00 G	X17 S18E20	11:07,1054	29500	$4 \cdot 10^{-4}$
13	29.10.2003,20:37 G	X10 S19W09	20:41,2029	5310	$6 \cdot 10^{-4}$
14	02.11.2003,17:03 G	X8.3 S14W56	17:06,2598	1570	$2 \cdot 10^{-4}$
15	17.01.2005,06:59 G	X3.8 N15W26	09:11,2094	5040	$3 \cdot 10^{-4}$
			09:43,2547		
16	20.01.2005,06:36 G	X7.1 N14W61	06:39, 882	1250	$9 \cdot 10^{-3}$
17	07.09.2005,17:17	X17 S06E89	No date	1880	$3 \cdot 10^{-4}$
18	13.12.2006,02:14 G	X3.4 S05W23	02:21,1774	698	$1 \cdot 10^{-3}$

Количество зарегистрированных событий с $E_p > 700$ МэВ является показателем более мощной высокоэнергичной протонной активности 23-го цикла по сравнению с 24-м циклом. Причем для всех событий GLE как в 24-м, так и в 23-м циклах активности наблюдались усиленные потоки энергичных протонов >700 МэВ в околоземном пространстве даже при расположении вспышек вблизи восточного края, а также за западным лимбом Солнца. Это указывает на возможное развитие во вспышечных процессах GLE 23-го цикла активности длительных потоков гамма-излучения >100 МэВ, аналогичных событиям 24-го цикла.

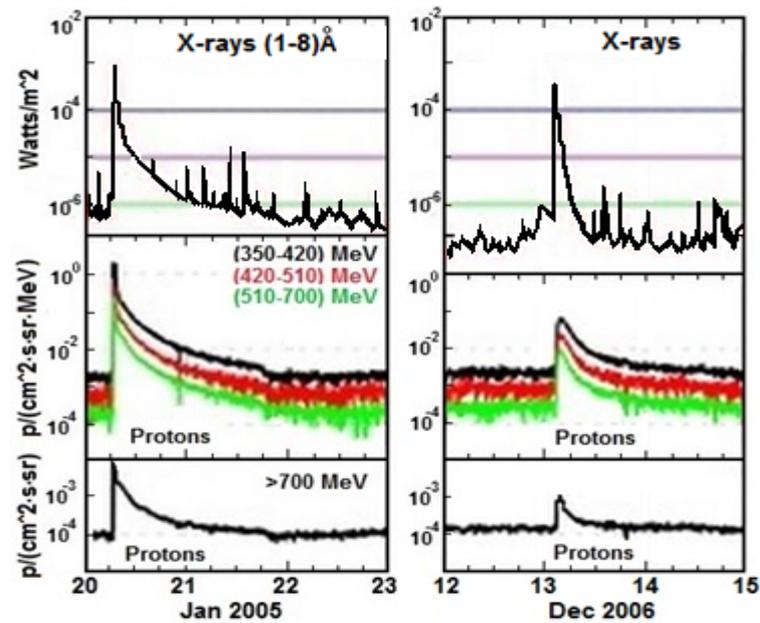


Рис. 2 –Эволюция вспышечных процессов 20 января 2005 г. и 13 декабря 2006 г.: изменения интенсивности рентгеновского излучения (1-8) Å, дифференциальных потоков высокоэнергичных протонов и интегрального потока протонов $p^+ > 700$ МэВ.

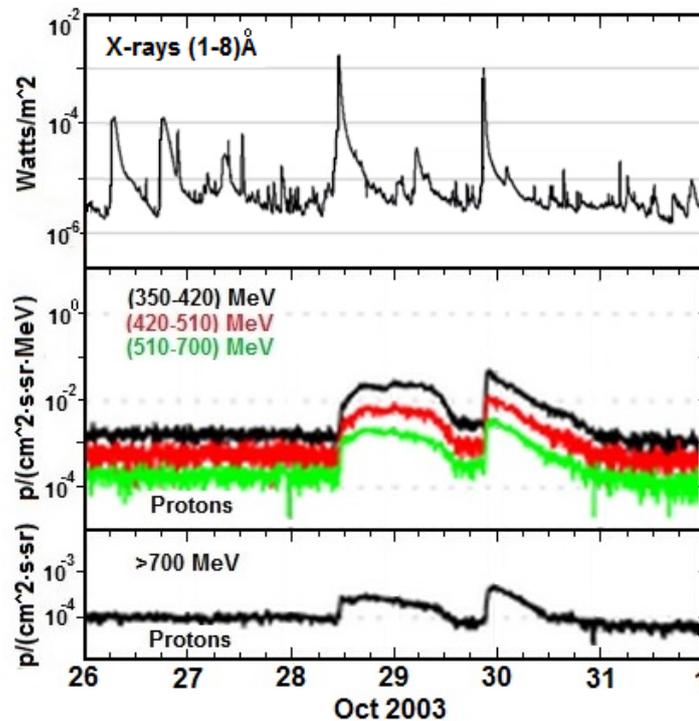


Рис. 3 - Развитие вспышечных процессов 28 и 29 октября 2003 г.: вариации интенсивности рентгеновского излучения (1-8) Å, дифференциальных потоков высокоэнергичных протонов и интегрального потока протонов > 700 МэВ.

Для многих событий 23-го солнечного цикла активности с потоками высокоэнергичных протонов характерным является подъем интенсивности в виде пиков, совпадающих с максимумами развития импульсных фаз вспышек. Согласно выводу, сделанному в нашей предыдущей работе [9],

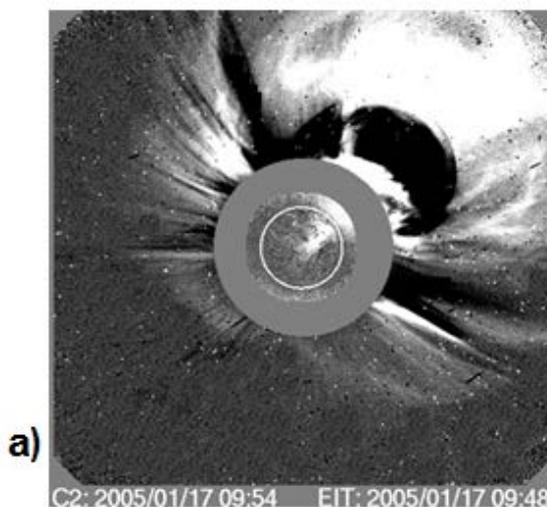
о наиболее эффективном образовании потоков высокоэнергичного гамма-излучения с энергиями >100 МэВ при одновременном развитии вспышки и коронального выброса массы, можно с определенной степенью вероятности предположить, что активные события 23-го цикла с подобным поведением потоков протонов >700 МэВ также были источниками высокоэнергичного гамма-излучения и показывали максимальные значения $F_{\gamma>100\text{MeV}}^{\text{max}}$ в те же периоды развития вспышек.

Вспышки, которые происходили в области восточной полусферы Солнца, отличались более пологими и длительными, но менее значительными возрастаниями потоков протонов с энергиями >700 МэВ (см. рис.3, событие 28 октября 2003 г.).

Количественные оценки рентгеновского балла вспышек и скорости корональных выбросов, приводящие к развитию длительного энергичного гамма-излучения

Среди вспышечных событий (таблица 2), которые привели к возрастаниям потоков энергичных протонов в околоземном пространстве >700 МэВ, особенно выделяется вспышка 17 января 2005 года с рентгеновским баллом X3.8, которая отличалась необычным развитием импульсной фазы (рис.4). Продолжительность стадии подъема эмиссии вспышки составляла почти 3 часа: начало – 06:59 UT, максимум – 09:52 UT. Импульсный скачок эмиссии в развитии вспышки наблюдался в начале вспышки и ограничился лишь незначительным ростом мощности рентгеновского излучения (в пределах рентгеновских классов от C3 до M2). Затем интенсивность излучения постепенно возрастала до значения балла X3.8 в течение 1 часа 49 минут. С учетом того факта, что длительность импульсной фазы вспышек солнечных космических лучей (GLE) обычно составляет 10-20 минут, событие СКЛ 17 января 2005 года оказывается явным исключением. Постепенное развитие вспышечного излучения привело к тому, что корональный выброс массы произошел только через 2 часа 12 минут (09:11 UT), причем затем наблюдался и второй КВМ – через 2 часа 43 минуты (09:42 UT) после начала вспышки.

Вполне вероятно, что вспышечные протоны получили дополнительную энергию под влиянием ударных волн от скоростных корональных выбросов и при взаимодействии с корональной плазмой могли стать источниками энергичного гамма-излучения. С удалением от Солнца и с падением плотности окружающей плазмы, все меньшая часть потоков энергичных протонов взаимодействовала с ней, и все большая часть потоков протонов достигала околоземного пространства. Этому соответствуют и временные изменения значений потоков протонов с энергиями >700 МэВ на рис.4. После 11:00 UT было отмечено возрастание потоков протонов с энергиями $p^+>700$ МэВ, которые достигли наибольших значений в период 14:00 - 18:00 UT.



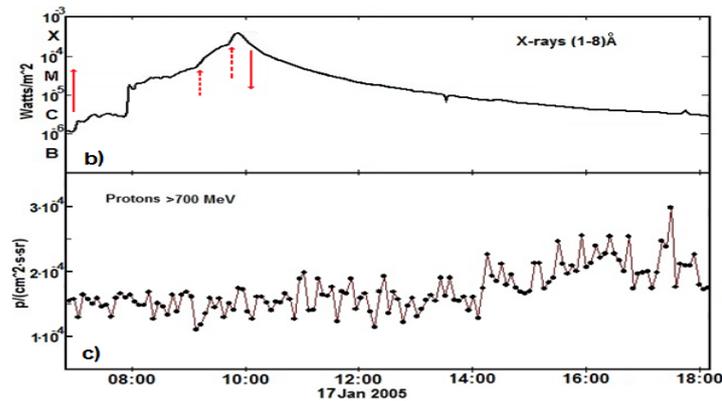


Рис. 4. а) - Моменты развития двух корональных выбросов вспышечного события 17 января 2005 года. Наблюдательные данные с КА SOHO/LASCO: коронограф C2 и телескоп EIT. б) - Рентгеновская кривая развития вспышки СКЛ 17 января 2005 года. Красные сплошные стрелки – начало и конец вспышки. Прерывистые стрелки - моменты начала развития двух корональных выбросов. в) - интенсивность потока протонов с энергиями >700 МэВ при временном разрешении 5 минут. Данные наблюдений с КА GOES и SOHO.

Приведенный пример указывает на важную роль корональных выбросов в образовании потоков энергичных протонов – источников квантов гамма-излучения >100 МэВ.

В работе [7] для 95 вспышечных событий в 24-го цикле активности был проведен статистический анализ по сопоставлению линейных скоростей корональных выбросов массы и баллов рентгеновского излучения вспышек. Был сделан вывод о существовании корреляционной связи между значениями скоростей КВМ, начиная с $V_{CME} > 800$ км/сек, и рентгеновскими классами вспышек. С особым вниманием к наиболее мощным вспышкам с продолжительным гамма-излучением >100 МэВ, мы выявили все вспышки с рентгеновскими классами $\geq X1.7$, которые сопровождалась высокоскоростными корональными выбросами $V_{CME} \geq 1200$ км/сек в течение 24-го цикла активности (2009-2019 годы). Для этого были использованы каталоги: GOES X-ray events и SOHO LASCO CME CATALOG.

Выявленные события с указанными свойствами представлены в таблице 1. Оказалось, что все они являются гамма - вспышками с продолжительным и самым интенсивным излучением >100 МэВ. При этом три вспышки сопровождалась усиленными потоками энергичных протонов >700 МэВ в околоземном пространстве (Тип I), а при развитии остальных восьми – они отсутствовали (Тип II).

Таблица 3

№	Даты развития вспышек, начало UT GLE	X-балл и координаты вспышек Тип р+>700МэВ	Начало и скорость КВМ V км/сек	$F_{\gamma>100\text{МэВ}}^{\text{max}}$ $\gamma.\text{cm}^{-2}.\text{c}^{-1}$
	1	2	3	4
1	09.08.2011,07:48	X6.9 N16W70 II	1610	$7.7 \cdot 10^{-4}$
2	24.09.2011,09:21	X1.9 N14E61 II	1936	$1.6 \cdot 10^{-4}$
3	27.01.2012,17:37	X1.7 N35W81 I	2508	$4.5 \cdot 10^{-5}$
4	07.03.2012,00:02	X5.4 N17E27 I	2684	$5.0 \cdot 10^{-3}$
5	13.05.2013,01:53	X1.7 N11E89 II	1270	$1.5 \cdot 10^{-5}$
6	13.05.2013,15:48	X2.8 N10E80 II	1850	$3.8 \cdot 10^{-5}$
7	14.05.2013,00:00	X3.2 N10E77 II	2625	$4.3 \cdot 10^{-5}$
8	25.02.2014,00:39	X4.9 N00E78 II	2147	$1.5 \cdot 10^{-3}$

9	01.09.2014,10:58	X2.1 N14E126 II	1901	$4.8 \cdot 10^{-3}$
10	06.09.2017,11:53	X9.3 S08W33 II	1571	$1.4 \cdot 10^{-3}$
11	10.09.2017,15:35 G	X8.2 S08W88 I	3163	$1.3 \cdot 10^{-2}$

Таким образом, при одновременном соответствии указанным значениям параметров в ходе эволюции вспышки возникает возможность выделения событий с энергичным гамма-излучением даже при отсутствии наблюдательных данных.

Аналогичная выборка была проделана для всех вспышечных событий 23-го цикла: результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4

	Даты событий Начало вспышки UT GLE	X – балл вспышек и координаты вспышек	КВМ V km/s
	1	2	3
1	06.11.1997 11:49 G	X9.4 S18W63	1556
2	14.10.1999 08:54	X1.8 N11E32	1250
3	14.07.2000 10:03 G	X5.7 N22W07	1674
4	24.11.2000 04:55	X2.0 N23W05	1289
5	24.11.2000 14:51	X2.3 N22W07	1245
6	02.04.2001 21:32	X20 N19W73	2505
7	06.04.2001 19:10	X5.6 S19E31	1270
8	10.04.2001 05:06	X2.3 S23W09	2411
9	25.08.2001 16:23	X5.3 S17E34	1433
10	24.09.2001 09:32	X2.6 S16E28	2402
11	28.12.2001 20:02	X3.4 S34E66	2216
12	20.07.2002 21:04	X3.3 S12E25	1941
13	23.07.2002 00:18	X4.8 S13E72	2285
14	24.08.2002 00:49 G	X3.1 S08W81	1913
15	28.05.2003 00:17	X3.6 S07W17	1366
16	28.10.2003 09:51 G	X17 S19E13	2459
17	29.10.2003 20:49 G	X10 S15W02	2029
18	02.11.2003 17:03 G	X8.3 S14W56	2598
19	03.11.2003 09:43	X3.9 N08W77	1420
20	04.11.2003 19:29	X28 S19W83	2657
21	07.11.2004 15:42	X2.0 N09W17	1759
22	10.11.2004 01:59	X2.5 N09W49	3387
23	15.01.2005 22:25	X2.6 N14W08	2861
24	09.09.2005 19:13	X6.2 S10E58	2257
25	10.09.2005 21:30	X2.1 S13E47	1893
26	13.12.2006 02:14 G	X3.4 S06W23	1774

Если в представленный список добавить остальные 9 событий СКЛ (из таблицы 2), то получается список из 35 вспышек, которые могут быть наиболее вероятными источниками длительных потоков энергичного гамма-излучения >100 МэВ в 23 цикле активности.

Обсуждение результатов. Выводы.

В результате обработки наблюдательных данных с КА КОРОНАС/СОНГ было установлено, что во вспышках 25.08.2001, 28.10.2003, 04.11.2003 и 20.01.2005 годов в течение импульсных фаз вспышек регистрировалась интенсивная широкая линия в спектрах высоких энергий [6]. Эта линия является свидетельством распадов пионов, порожденных ядерными реакциями с энергичными протонами (> 300 МэВ) в солнечной атмосфере. Таким образом, во всех перечисленных вспышках было выявлено гамма-излучение высоких энергий. Вследствие рассмотрения только периодов импульсной фазы вспышек информация о дальнейшем развитии гамма-излучения отсутствует. В то же время следует указать, что все четыре события входят в список наиболее вероятных источников с длительным энергичным гамма-излучением 23-го цикла солнечной активности. Полученный список из 35 вспышек, конечно, не является полным, поскольку в нем не учитывались вспышечные события с отклонениями в значениях баллов рентгеновских вспышек и, соответственно, в скоростях корональных выбросов. Например, вспышки с пониженным рентгеновским баллом M также могли бы быть источниками гамма-излучения при повышенных значениях скоростей выбросов. По-видимому, наиболее важным в предложенной методике является выбор из наиболее вероятных и самых значительных по величинам параметров гамма-событий.

Таким образом, наиболее вероятными событиями, обладающими потоками длительного энергичного гамма-излучения, являются:

1. Вспышки солнечных космических лучей - явления GLE.
2. Активные вспышечные события с одновременным соответствием значений рентгеновских баллов вспышек $\geq X1.7$ и линейных скоростей сопровождающих их корональных выбросов массы с $V_{CME} \geq 1200$ км/сек.

Авторы выражают благодарность коллективам ученых, курирующих проведение экспериментов на КА FERMI/LAT, GOES, SOHO и SDO, за предоставление экспериментальных данных, опубликованных в Интернете.

Работа поддержана Программой целевого финансирования BR05336383 Аэрокосмического комитета МОАП Республики Казахстан и Институтом солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской Академии наук (проект П.16.3.1).

Г.С. Минасянц¹

Т.М.Минасянц¹, В.М. Томозов²

¹В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты ҰҒА ҚР (ФАФИ), Алматы, Қазақстан

²Күн-жер физикасы институты СБ РҒА, (КЖФИ) Иркутск, Ресей

E-mail: gennadii_minasya@mail.ru

**24 ЦИКЛ БЕЛСЕНДІЛІГІНДЕГІ КҮННІҢ ЖАРҚ ЕТУЛЕРІ СИПАТТАМАЛАРЫН
ПАЙДАЛАНУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН 23-ЦИКЛДЕГІ ЖАРҚ ЕТУЛЕРІНІҢ ГАММА
СӘУЛЕЛЕНУІНІҢ ЖОҒАРЫ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ МҮМКІН ДАМУЫН БАҒАЛАУ**

Аннотация. Фотон энергиялары > 100 МэВ болатын гамма-сәулеленудің ұзақ мерзімді ағындарының көзі болған белсенді 24 циклінің (2011 - 2017 ж.ж.) жарқ ету оқиғаларының физикалық және құрылымдық ерекшеліктерін зерттеу жүргізілді. Талдау үшін біз (SC) FERMI, GOES және SOHO ғарыш кемелерін тұрақты бақылаулары кезінде алынған мәліметтерді қолдандық. Энергиясы > 100 МэВ болатын ең қуатты және ұзақ гамма-сәуле ағындары бар күн оқиғалары GLE құбылыстарымен және X1.7 кластарының рентген сәулелерімен жарқ етуіне байланысты болатыны көрсетілген, олар әдетте жоғары сызықтық жылдамдықтар $V_{TMШ} \geq 1200$ км / сек тәждік массалық шығарумен (ТМШ) жүреді. Гамма-сәулеленуінің үздіксіз жарқылдары бақыланбаған кезде, белсенділіктің 24-ші цикліндегі қуатты гамма-сәулелік жарқылдардың сипаттамаларына сүйене

отырып, 23-ші күн циклінде гамма-сәулеленудің қуатты > 100 МэВ ағындарымен ең ықтимал оқиғаларды анықтауға мүмкіндік туды. 1997 және 2006 жылдар аралығында 35 рет жарқ етулер анықталды: олардың GLE-мен 16 оқиғасы және 19 ТМШ жарқылдар балдарының және жылдамдығының қажетті параметрлері бар оқиғалар. Талдау нәтижелері 24-ші циклмен салыстырғанда 23-ші күн циклында күннің жарқылының белсенділігінің жоғарырақ екендігін көрсетті, ол ең алдымен > 100 МэВ энергиямен гамма-сәулелену ағындарымен жүретін қуатты алаудың көп мөлшерінде көрінді.

Түйін сөздер: Күн жарқ етулері, гамма сәулелері, протондар.

G.S. Minasyants¹

T.M. Minasyants¹, V.M. Tomozov²

¹Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Solar-Terrestrial Physics, Irkutsk, Russia.

E-mail: gennadii_minasya@mail.ru

**ASSESSMENT OF THE POSSIBLE DEVELOPMENT OF HIGH-ENERGY
GAMMA-RAY EMISSION FROM FLARES IN 23RD ACTIVITY CYCLE BASED
ON THE USE OF SOLAR FLARE CHARACTERISTICS IN THE 24TH ACTIVITY
CYCLE**

Abstract. The physical and structural features of flare events in the 24th cycle of solar activity (2011-2017 years), which were sources of long-term fluxes of gamma radiation with photon energies > 100 MeV, were studied. Data obtained during regular observations on spacecraft were used for the analysis (FERMI, GOES and SOHO).

It was found that the longest and most powerful fluxes of >100 MeV gamma radiations are connected with GLE events, as well as solar flares with X-ray classes > X1.7 which were usually accompanied by coronal mass ejections (CME) with high linear velocities $V_{CME} > 1200$ km/sec. Using the obtained characteristics of powerful gamma flares in 24 activity cycle, it was possible to identify probable events with the most powerful fluxes of gamma radiation > 100 MeV in the 23rd solar cycle, when regular observations of flares with gamma radiation were not carried out. In the period from 1997 to 2006, 35 flares were detected: of them 16 GLE and 19 with the necessary parameters – flare class and CME velocities. The results of the analysis showed higher flare activity in 23rd solar cycle compared to the 24 cycle which was manifested, first of all, in a greater number of powerful flares, accompanied by fluxes of gamma radiation with energies > 100 MeV.

Key words: solar flares, gamma radiation, protons

Information about authors:

1. Minasyants Gennady Sergeevich, Fesenkov Astrophysical Institute, Leading Researcher, gennadii_minasya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6962-2831>;

2. Minasyants Tamara Mikhailovna, Fesenkov Astrophysical Institute, Senior Researcher, gennadii_minasya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7349-3967>;

3. Tomozov Vladimir Mikhailovich, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute of Solar-Terrestrial Physics, Irkutsk, Russia, tom@iszf.irk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0784-9782>.

Список литературы

- [1] Алтынцев А.Т., Банин В.Г., Куклин Г.В., Томозов В.М. Солнечные вспышки. М.: Наука, 1982. 246 с.
- [2] Прист Э.Р., Форбс Т. Магнитное пересоединение. Магнитогидродинамическая теория и приложения. М.: Физматлит, 2005. 591 с.
- [3] Somov V.V. Plasma Astrophysics: Reconnection and Flares. New York: Springer, 2013. 504 p. DOI: 10.1016/S02731177(97)00968-X
- [4] Antiochos S.K., DeVore C.R., Klimchuk J.A. A model for solar coronal mass ejections // *Astrophys. J.*, V. 510, 1999, p. 485.
- [5] Chupp E.L. Evolution of our understanding of solar flare particle acceleration: (1942-1995). In: R. Ramaty, N. Mandzhavidze and X.-M. Hua (eds.), *High Energy Solar Physics*, AIP, New York, 1996, p. 3.
- [6] Akimov V.V., Leikov N.G., Kurt V.G., Chertok I.M. The GAMMA-1 data on the March 26, 1991 solar flare // In: *High-energy solar phenomena - A new era of spacecraft measurements*. AIP Conf. Proc. V.294, 1994, p. 130-133.
- [7] Share G.H., Murphy R.J., Tolbert A.K., et al. Characteristics of sustained >100 MeV gamma-ray emission associated with solar flares // arXiv: 1711.01511v1 [astro-ph.SR]. 2017a, p. 83.
- [8] Share G.H., Murphy R.J., Tolbert A. K., et al. Characteristics of thirty second-stage >100 MeV γ -ray events accompanying solar flares // *Astrophys. J. Suppl.* in review, arXiv 1711.01511v1, GSFC, 2017b, p.34.
- [9] Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Особенности развития длительных потоков высокоэнергичного гамма-излучения на разных стадиях солнечных вспышек // *Солнечно-земная физика*, 2019, Т. 5, № 3, с. 28-37. DOI: 10.12737/szf-43201803.
- [10] Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Характеристики потоков ускоренных протонов при развитии вспышек с продолжительным гамма – излучением. 2021 (в печати).

References

- [1] Altyntsev A.T., Banin V.G., Kuklin G.V., Tomozov V.M. Solar Flares. M., Nauka, 1982. 246 p.
- [2] Priest E.R., Forbes T. Magnetic Reconnection. Magnetohydrodynamic Theory and Applications. M. Fizmatlit, 2005. 591 p.
- [3] Somov V.V. Plasma Astrophysics. Reconnection and Flares. New York: Springer, 2013, 504 p. DOI: 10.1016/S02731177(97)00968-X.
- [4] Antiochos S.K., DeVore C.R., Klimchuk J.A. A model for solar coronal mass ejections// *Astrophys. J.*, V. 510, 1999, p. 485.
- [5] Chupp E.L. Evolution of our understanding of solar flare particle acceleration: (1942-1995). In: R. Ramaty, N. Mandzhavidze and X.-M. Hua (eds.), *High Energy Solar Physics*, AIP, New York, 1996, p. 3.
- [6] Akimov V.V., Leikov N.G., Kurt V.G., Chertok I.M. The GAMMA-1 data on the March 26, 1991 solar flare // In: *High-energy solar phenomena - A new era of spacecraft measurements*. AIP Conf. Proc. V.294, 1994, p. 130-133.
- [7] Share G.H., Murphy R.J., Tolbert A.K., et al. Characteristics of sustained >100 MeV gamma-ray emission associated with solar flares // arXiv: 1711.01511v1 [astro-ph.SR]. 2017a, p. 83.
- [8] Share G.H., Murphy R.J., Tolbert A. K., et al. Characteristics of thirty second-stage >100 MeV γ -ray events accompanying solar flares // *Astrophys. J. Suppl.* in review, arXiv 1711.01511v1, GSFC, 2017b, p.34.
- [9] Minasyants G.S., Minasyants T.M. Tomozov V.M. Development features of sustained fluxes of high-energy gamma radiation at different stages of solar flares // *Solar-Terrestrial Physics*, 2019, V. 5, No 3, p.p. 28-37. DOI: 10.12737/szf-43201803.
- [10] Minasyants G.S., Minasyants T.M., Tomozov V.M. The characteristics of accelerated proton fluxes at flare development with long-duration gamma radiation// 2021 (in press).

МАЗМҰНЫ-СОДЕРЖАНИЕ-CONTENTS

<i>Ахметов Б.С., Нұралбай Қ.</i> ЛОГИСТИКА ЖӘНЕ КӨЛІК АКАДЕМИЯСЫНЫҢ МЫСАЛЫНДА ПЕРСОНАЛДЫ БАСҚАРУ КЕЗІНДЕГІ ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУ АЛГОРИТМІ.....	6
<i>Askarova A.S., Bolegenova S.A., Nugymanova A.O., Bolegenova S.A., Gabitova Z.Kh.</i> NUMERICAL SIMULATION OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES DURING THE COMBUSTION OF SOLID FUEL OF DIFFERENT MOISTURE IN COMBUSTION CHAMBERS OF POWER PLANTS.....	12
<i>Bauyrzhan G.B., Yesmakhanova K.R., Yerzhanov K.K.</i> SOLITON GEOMETRY USING THE LAX PAIR OF ISOMONODROMIC DEFORMATION.....	20
<i>Baishemirov Zh, Kasenov S., Askerbekova J., Beibitkyzy A.</i> NUMERICAL SOLUTION OF THE INVERSE PROBLEM FOR THE ACOUSTIC EQUATION.....	26
<i>Джумагулова К.Н., Сейсембаева М.М., Шаленов Е.О.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УБЕГАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТИВНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА.....	33
<i>Денисюк Э.К., Айманова Г.К., Шомшекова С.А., Рева И.В., Кругов М.А.</i> СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 5548.....	40
<i>Yeskendiroya Y.V.</i> ABOUT STABILITY OF DIFFERENCE DYNAMIC SYSTEMS (DDS) ON THE FIRST APPROACH.....	50
<i>Исмайылова Ф.Б., Исмайылов Г.Г., Новрузова С.Г.</i> ОБ УЧЕТЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МУЛЬТИФАЗНЫХ СИСТЕМ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ТРУБОПРОВОДОВ.....	58
<i>Ibraimova A.T.</i> EVOLUTION EQUATIONS OF THE RESTRICTED THREE-BODY PROBLEM WITH VARIABLE MASSES.....	65
<i>Kondratyeva L.N., Reva I.V., Krugov M.A., Aimanova G.K., Kim V.Y.</i> SPECTRAL AND PHOTOMETRIC STUDY OF SOME WOLF-RAYET STARS.....	75
<i>Минасянц Г.С. Минасянц Т.М., Томозов В.М.</i> ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО РАЗВИТИЯ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ВСПЫШЕК В 23 ЦИКЛЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В 24 ЦИКЛЕ АКТИВНОСТИ.....	85
<i>Манапбаева А.Б., Есімбек Ж., Алимгазинова Н.Ш., Кызгарина М.Т., Атамұрат А.Б.</i> N22 ШАҢ КӨПІРШІКТЕРІ ЖАНЫНДАҒЫ ЖАС ЖҰЛДЫЗ ОБЪЕКТІЛЕРІН АНЫҚТАУ.....	96
<i>Минглибаев М.Дж., Мырзабаева А.Ә.</i> ЕКІ БЕЙСТАЦИОНАР ДЕНЕНІҢ ІЛГЕРІЛМЕЛІ-АЙНАЛМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫСЫ.....	106

<i>Омарова Г.Т., Омарова Ж.Т., Омаров Ч.Т.</i> К ОБРАТНОЙ ЗАДАЧЕ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ.....	113
<i>Tereshchenko V. M.</i> SPECTROPHOTOMETRIC STANDARDS 8 ^m - 10 ^m . IV. THE STARS-STANDARDS ALONG +61 PARALLEL.....	121
<i>Temirbekov A., Malgazhdarov Y., Tleulessova A., Temirbekova L.</i> FICTITIOUS DOMAIN METHOD FOR THE NAVIER-STOKES EQUATIONS.....	128
<i>Телқожа А.Н., Кульджабеков А.Б.</i> УРАН КЕН ОРЫНДАРЫНДАҒЫ ПРОЦЕССТЕРДІ ПАРАЛЛЕЛЬ БАҒДАРЛАМАУ АРҚЫЛЫ МОДЕЛЬДЕУ.....	138
<i>Filippov V.A., Vdovichenko V.D., Karimov A.M., Lysenko P.G., Teifel V.G.,</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF WEAK ABSORPTION BANDS OF AMMONIA AT 552 AND 645 NM IN THE SPECTRUM OF JUPITER.....	148
<i>Шестакова Л.И., Кенжебекова А.И.</i> СУБЛИМАЦИЯ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ ВБЛИЗИ БЕЛОГО КАРЛИКА G29-38.....	156
<i>Yurin D., Kalambay M., Ibraimova A., Mahmet H., Makukov M.</i> TWISTED COSMIC WEB AS THE ORIGIN OF SPIRAL STRUCTURE IN DISK GALAXIES.....	167
ҒАЛЫМДЫ ЕСКЕ АЛУ – ПАМЯТИ УЧЕНЫХ – MEMORY OF SCIENTISTS Геннадий Сергеевич Минасянц.....	179
Эммануил Яковлевич Вильковиский.....	180

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

(Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Редакторы: *М.С. Ахметова, Р.Ж. Мрзабаева, Д.С. Аленов*
Верстка на компьютере *В.С. Зикирбаева*

Подписано в печать 12.06.2021.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
11 п.л. Тираж 300. Заказ 3.