

УДК 537.591

Е.А. Чебакова

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы
E-mail: cheblena@gmail.com

Мощности эквивалентных доз облучения в земной атмосфере во время солнечных вспышек

В настоящей работе исследуются мощности эквивалентных доз облучения от солнечных вспышек, сопровождающихся генерацией частиц высоких энергий, регистрируемых наземными приборами. Проводится анализ радиационных доз на различных высотах в атмосфере Земли на основе данных космических кораблей IMP-8, GOES-8 и мировой сети станций нейтронных мониторов. Проанализировано 36 солнечных вспышек (GLE), произошедших за период 1971-2002 гг. Определены зависимости радиационных доз облучения от жесткости геомагнитного обрезания. Рассчитаны мощности эквивалентных доз облучения для различных областей энергии частиц: ~ 10 МэВ, ~ 90 МэВ, ~ 1 ГэВ. Найдены зависимости мощности эквивалентной дозы облучения от глубины в атмосфере Земли для различных энергий частиц. Из анализа полученных результатов сделаны выводы, что во время мощных вспышек эквивалентная доза может возрастать более чем в 5 раз по сравнению с предельно допустимой. С увеличением высоты в атмосфере мощности эквивалентных доз возрастают. Максимальные значения мощности радиационных доз во время вспышек на Солнце наблюдаются на полюсах, с уменьшением жесткости обрезания на больших высотах происходит возрастание мощности эквивалентных доз облучения. Полученные данные вносят определенный вклад по осуществлению прогноза СКЛ.

Ключевые слова: радиационные дозы, солнечные вспышки, солнечные космические лучи.

Е.А. Чебакова

Күн жаркылы кезіндегі жер атмосферасындағы сәулеленудің эквиваленттік дозаларының қуаты

Осы жұмыста жоғары энергиялы бөлшектер пайда болуымен қатар жүретін, жердегі аспаптар арқылы тіркелетін күндегі жаркылдардан болатын сәулелену эквиваленттік дозаларының қуаты зерттеледі. IMP-8 және GOES-8 космостық корабльдерінің және нейтрондық мониторлар станцияларының әлемдік желісінің берілгендері негізінде жер атмосферасында әртүрлі биіктіктердегі радиациялық дозаларға саралау жүргізілген. 1971-2002 аралығында орын алған 36 күн жаркылдарына (GLE) талдау жасалған. Радиациялық сәулелену дозаларының геомагниттік қию қатандығына тәуелділігі анықталған. Бөлшектердің энергияларының әртүрлі мәндер облысы үшін сәулеленудің эквивалентті дозалары қуаты есептелген. Бөлшектердің әртүрлі энергиялары үшін сәулеленудің эквивалентті дозаларының қуаты Жер атмосферасында биіктіктен тәуелділігі табылған. Алынған нәтижелерді талқылау барысында қуатты жаркылдар кезінде эквивалентті доза шекті мәнмен салыстырғанда 5 есеге дейін көбейе алатындығы жайлы қорытынды жасалды. Атмосферада биіктіктің көбеюімен эквивалентті дозалар қуаты жоғарылайды. Күнде жаркылдар орын алған кездерде радиациялық дозалардың ең жоғары мәні полюстерде байқалады, үлкен биіктіктерде қию қатандығының азаюымен сәулеленудің эквивалентті дозаларының қуаты артады. Алынған мәліметтер ғарыштық күн сәулелерін болжауда айқын үлесін қосады.

Түйін сөздер: радиация дозалары, күн жаркылдары, ғарыштық күн сәулелері.

E.A. Chebakova

Equivalent irradiation dose rates in atmosphere during solar flares

Equivalent irradiation dose rates during solar flares followed by generation of particles of high energies were studied in the present paper. Analysis of irradiation doses at different altitudes at Earth's atmosphere at the basis of data of spaceships IMP-8, GOES-8 and world network station of neutron monitors is carried out. 36 solar flares (GLE) were analyzed for the period of 1971-2002. Dependencies of equivalent dose rates from geomagnetic cutoff rigidity were determined. Equivalent irradiation dose rates were calculated for different energy ranges of particles: 10 MeV, ~90 MeV, ~1 GeV. Dependencies of irradiation equivalent dose rates from the depth of Earth's atmosphere were determined for different energies of particles. Conclusions from the analysis of obtained results says that equivalent dose from strong flares can rise more than 5 times in comparison with the maximum permissible one. Equivalent dose rates are increased with the altitude. Maximum values of irradiation doses during flares on Sun are observed at poles. The raise of equivalent dose rates is caused by the decrease of geomagnetic cutoff rigidity. The obtained data contributes to the prediction of solar cosmic rays.

Key words: irradiation dose, solar flares, solar cosmic rays.

Введение

При полетах на современных транспортных самолетах человек лишается естественной защиты от воздействия солнечной и космической радиации в виде слоя воздуха земной атмосферы. Полеты в стратосфере проходят в радиационных условиях, существенно отличающихся от наземных. Необходимо проводить исследование радиационной обстановки в земной атмосфере во время вспышек на Солнце. В настоящее время непосредственный прогноз самих солнечных вспышек и их радиационных эффектов не может быть сделан с достаточной достоверностью. Поэтому для оценки радиационной опасности от солнечных космических лучей (СКЛ) используют методы, которые позволяют по измерению электромагнитного излучения от Солнца оценить время за несколько часов до прихода к Земле потока СКЛ, а также его максимальную интенсивность и энергетический спектр. Эти оценки могут быть уточнены по данным текущих измерений СКЛ на борту космического аппарата, что обеспечивает возможность расчета ожидаемых значений доз. Таким образом, данная проблема тесно связана с задачами исследования и использования космического пространства для научных и народнохозяйственных целей.

Во время хромосферных вспышек на Солнце генерируются потоки заряженных частиц, и интенсивность космического излучения (КИ) на орбите Земли возрастает в сотни и тысячи раз. Наиболее мощные вспышки наблюдаются в периоды, близкие к максимумам солнечной активности. Однако, и во время малых вспышек генерируются частицы с энергиями вплоть до 1011 эВ [1], дающие хотя и слабый, но наблюда-

емый эффект на поверхности Земли. В основном потоки солнечных космических лучей состоят из протонов, хотя для отдельных случаев наблюдается и возрастание потоков тяжелых ядер. Для прогнозирования радиационной обстановки на трассах полетов высотных самолетов основной интерес представляются потоки СКЛ, так как они могут во много раз превышать фон, создаваемый галактическим КИ.

Расчет и анализ радиационных доз в атмосфере Земли, обусловленных солнечными космическими лучами

За период 1971-2002 гг. было отобрано 36 солнечных вспышек, сопровождавшихся генерацией частиц высоких энергий, зарегистрированных наземными приборами. В настоящей работе использовались данные нейтронной компоненты космического излучения, полученные мировой сетью станций нейтронных мониторов и данные интенсивности космического излучения, полученные на космических аппаратах GOES-8, IMP-8. Определены потоки СКЛ во время вспышек на Солнце для областей энергии частиц ~10 МэВ, ~90 МэВ. Потоки частиц с энергией >1 ГэВ рассчитаны в [2].

Энергетические спектры СКЛ представлены степенной функцией в широком диапазоне энергий. В области малых энергий – спектр рассчитан на базе данных, полученных на космических кораблях GOES-8, IMP-8, в области высоких энергий > энергетический спектр рассчитан по данным мировой сети станций нейтронных мониторов. Энергетические спектры СКЛ в области малых энергий ($E \sim 1 \div 100 \text{ МэВ}$) строились по максимальным значениям потоков различных энергий, измеренных в дифференциальных каналах приборов космических аппаратов

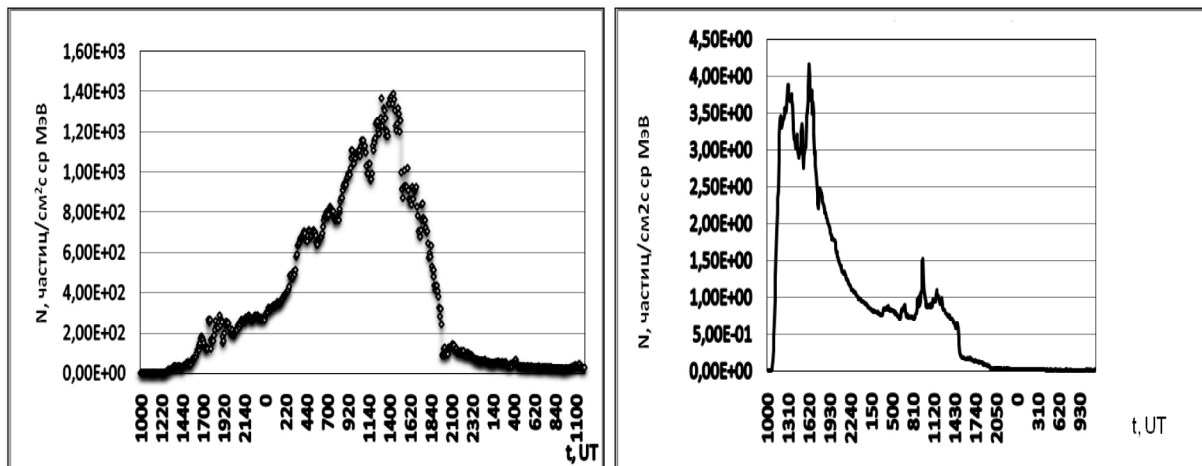


Рисунок 1 – Временные профили протонов СКЛ 14.07.2000.

GOES-8, IMP-8. На рис. 1 показаны временные профили СКЛ для события 14.07.2000 в двух энергетических каналах.

Для вспышек в области малых энергий показатель энергетического спектра, представленного степенной функцией лежит в пределах $0,14 \div 2,22$. В области высоких энергий энергетические спектры СКЛ были рассчитаны методом коэффициентов связи с использованием геомагнитосферы Земли как спектрометра СКЛ для 36 вспышек [3]. Показатели спектра изменяются в пределах $3,0 \div 5,9$.

Мощность эквивалентной дозы облучения определяется формулой

$$D_i(x, R) = \int_{E_m}^{\infty} h_i(E) \int_{\Omega} I_i(x, E, \theta) dE d\Omega ,$$

где $h_i(E)$ – регламентированная зависимость фактора перехода от потока частиц i-го сорта к дозовому эквиваленту соответствующего сорта частиц;

$I_i(x, E, \theta)$ – интенсивность частиц i-го сорта на глубине атмосферы x с энергией E и жесткостью геомагнитного обрезания R . Оценки доз следует рассматривать лишь в качестве характеристики поля излучения в окружающей среде, дающей информацию о максимальной эквивалентной дозе, которая может быть получена человеком, находящемся в данном радиационном поле.

Методика расчета эквивалентных доз разработана в [4] с учетом прохождения СКЛ через атмосферу Земли, порождающим потоки

вторичных компонент СКЛ. Используя рассчитанные энергетические спектры для 36 вспышек СКЛ были определены мощности эквивалентных доз облучения на различных высотах в атмосфере Земли. На рисунке 2 показана зависимость мощности эквивалентной дозы облучения от глубины в атмосфере для вспышки 14.07.2000. Из рисунка 2 видно, что вплоть до высоты 14 км, соответствующей 143 г/см^2 , наблюдается превышение допустимых значений эквивалентных доз облучения. При значении радиационной дозы 100 мкЗв при полетах самолетов проводится подготовка к возможному снижению высоты полета, а при 500 мкЗв принимаются меры по обеспечению радиационной безопасности, включая переход на более низкую высоту полета [5].

Исследована зависимость мощности эквивалентных доз облучения от жесткости геомагнитного обрезания на различных высотах в атмосфере Земли. Полученные результаты показаны на рисунке 3. Как видно из рисунка 3, на более низких высотах (16 км) радиационные дозы облучения слабо зависят от жесткости геомагнитного обрезания.

С увеличением высоты в атмосфере радиационные дозы максимальны на полюсах, но постепенно снижаются с ростом жесткости. Кроме того, определена зависимость радиационных доз облучения от энергии СКЛ. На рисунке 4 показана зависимость мощности эквивалентной дозы облучения от энергии частиц для двух вспышек. Из рисунка видно, что с ростом энер-

гии частиц радиационные дозы растут и могут принимать значения во много раз превышающие предельно допустимую дозу.

Таким образом, солнечные вспышки повышают риск радиационного облучения пассажиров и экипажей самолетов. Дозовая нагрузка на пассажиров и экипажи самолетов зависит от количества налета часов, от дальности и высоты полета. На высотах полета более 13 км получаемые дозы членов экипажа сравнимы с допустимыми уровнями облучения лиц категории А. Солнечные вспышки могут привести к превышению дозовых пределов.

Проблеме прогнозирования СКЛ посвящено много работ. В частности, в [6] обсуждается методика прогноза радиационно-опасных потоков

частиц умеренных энергий с заблаговременностью до нескольких часов.

Заключение

Из проведенного анализа следует, что наибольшую опасность представляют вспышки с генерацией частиц высоких энергий более 1 ГэВ. С увеличением высоты в атмосфере мощности эквивалентных доз возрастают. Максимальные значения мощности радиационных доз во время вспышек на Солнце наблюдаются на полюсах, с уменьшением жесткости обреза на больших высотах происходит возрастание мощности эквивалентных доз облучения. Во время мощных хромосферных вспышек эквивалентные дозы могут возрастать более чем в 5 раз по сравнению с контрольным уровнем.

References

- 1 Seleznev K.B., Khayyerdinov N.S., Chebakova Ye.A. Generatsiya chastits s energiyey $>70\text{GeV}$ vo vremya malykh vspyshek na Solntse. // Sb.Fizika kosmicheskikh luchey i vysokikh energiy. – Alma-Ata, 1989. – S.73-75.
- 2 Miroshnichenko L.I. et.al. Absolute proton fluxes from the Sun at rigidity above 1 GV by ground-based data // Proc .XXIV ICRC, Rome, 1995.- V.4.- P.54-57.
- 3 Kolomeyets Ye.V., Mukhambetzhanova A.M., Nerezov K.V., Chebakova Ye.A. Energeticheskiye spektry SKL v shirokoy oblasti energiy za 7 poslednikh tsiklov solnechnoy aktivnosti. Doklady AN MN RK. -1999.- N4.-S.39-51.
- 4 Avdyushin S.I., Aytbayev F.B., Barannikov YU.I. i dr. Atlas kart radiatsionnoy obstanovki na trassakh poletov vysotnykh samoletov. - M.: Gidrometeoizdat, 1991. - 105s.
- 5 Kolomeyets Ye.V., Barsukov O.A., Aytmukhambetov A.A. Radiatsionnaya opasnost' poletov samoletov i drugikh letatel'nykh apparatov. – Almaty, 1997. - 264s.
- 6 Vashenyuk E.V., Balabin YU.V., Gvozdevskiy BB., Germanenko A.V. Prognoz radiatsionno-opasnykh potokov SKL po dannym neytronnykh monitorov // 31-ya Vserossiyskaya konferentsiya po kosmicheskim lucham 5-9 iyulya 2010 goda. – M., 2010.