

ВАРИАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

К.А.КАРИМОВ, Р.Д.ГАЙНУТДИНОВА, С.В.КРЫЛОВ

E.mail. ksucta@elcat.kg

Бул иште космостук нурларды жана алардын убакыйтык өзгөрүүлөрүн күндүн активдүүлүгү менен чогуу ченөөнүн нашыйжалары каралган, нашыйжалар менен бирге алардын ченелген жерлери жана ар бир ченөө жүргүзүлгөн жайдачитак населелери берелди. Төгүлгөн космостук нурлардын ургаалдуулугунун күндүн активдүүлүгүнөн болгон аналитикалык көз карандылыгы келтирилген.

В работе рассмотрены результаты измерений космических лучей и их временные вариации совместно с данными по солнечной активности. Вместе с результатами приводятся пункты их измерения и конкретные задачи в каждом пункте измерений. Рассмотрена аналитическая зависимость интенсивности космических лучей от солнечной активности.

In this work the results of measurements of cosmic rays and their temporary variations together with solar activity data have been analyzed. Besides these results, the places where the experiments have been carried out and concrete tasks defined for each location have been presented. The analytical dependence of cosmic rays intensity upon the solar activity was analyzed.

Исследование изменений солнечной активности и потока космических лучей имеет важное значение для многих научных направлений в области солнечно-земных связей, гелиобиологии, космической медицины, вопросов безопасности полетов космических аппаратов и др. Основной базой для исследований космических лучей явилась созданная в середине прошлого века мировая сеть станций, включающая свыше 150 пунктов измерений, на которых проводится непрерывная регистрация космического излучения. Многие станции находятся высоко в горах, на некоторых станциях проводятся подземные наблюдения, регулярно проводится запуск в стратосферу баллонов с приборами автоматической регистрации космического излучения на различных высотах атмосферы /1-5/.

Коротко остановимся на методах наблюдения за космическими лучами и солнечной

активностью на примере отдельных станций наблюдения, расположенных в различных странах – в России, Таджикистане, Боливии и Казахстане.

1. Долгопрудненская научная станция ФИАН (ДНС ФИАН, Россия) была образована по специальному постановлению Совета Народных Комиссаров СССР от 4 марта 1946 г. Основной задачей сотрудников станции было изучение природы космических лучей и процессов их взаимодействия с ядрами. Во 2-й половине 1950-х годов были начаты работы по исследованию модуляционных эффектов в космических лучах и их связи с солнечной активностью. В настоящее время ДНС ФИАН имеет статус лаборатории (лаборатория физики Солнца и космических лучей) и входит в состав Отделения ядерной физики и астрофизики ФИАН [1]. Научные исследования коллектива лаборатории проводятся по следующей тематике:

а) изучение модуляционных эффектов в галактических космических лучах на основе регулярных зондовых измерений интенсивности космических лучей в атмосфере Земли;

б) исследование солнечных космических лучей, образующихся в мощных вспышках на Солнце и вторгающихся в атмосферу Земли;

в) изучение высыпаний релятивистских электронов магнитосферного происхождения в верхние слои атмосферы;

г) изучение роли потоков заряженных частиц в атмосферных процессах;

д) взрывные процессы на Солнце и в космосе;

е) исследование взаимодействий космических лучей высоких энергий с помощью наземных рентген-эмульсионных камер;

ж) международный эксперимент PAMELA: изучение антиматерии, поиск частиц темной материи, изучение спектров космических лучей в области энергий вплоть до ~10-13 эВ;

з) международный эксперимент CLOUD: изучение роли заряженных частиц в атмосферных процессах, в частности, влияния электрического заряда на процессы образования и роста водных капель.

2. Экспериментальный полигон на Памире, расположенный в горах на высоте 4370 м над уровнем моря в урочище Ак-Архар, Таджикистан. На этой станции имеется крупнейшая в мире рентген-эмульсионная установка, которая содержит 1500 тонн высокоточного свинцового проката и 620 тонн углеродсодержащих и других конструкционных материалов. Цели эксперимента – ядерно- и астрофизические исследования космических лучей сверхвысоких энергий, в т.ч. изучение неупругих взаимодействий адронов с легкими ядрами в широком диапазоне энергий 0,01-1000 МэВ.

При наличии такой установки открывается возможность для изучения ядерных взаимодействий в области энергий, не достижимых для современных ускорителей ($\sim 10^{18}$ эВ); всей области фрагментации сталкивающихся частиц, не доступной для экспериментов на коллайдерах.

3. Аналогичные исследования велись в рамках японо-бразильской коллаборации на горе Чакалтая в Боливии и большой группой сотрудников японских университетов, работавших в Японии на горе Фудзияме на высоте 3750 м над у. м. (гора Камбала). Общие задачи и методика исследований давно вызвали взаимный интерес всех групп исследователей.

Для координации экспериментов с использованием рентгено-эмульсионных камер (РЭК) в 1987 г. в Париже на XVII Международной конференции по космическим лучам было подписано соглашение о создании суперсотрудничества «Памир-Чакалтая». Оно объединило усилия физиков России, Японии, Польши, Бразилии, Боливии, Грузии, Казахстана, Узбекистана и Таджикистана.

4. Наблюдения космических лучей проводятся на протяжении многих лет в Казахстане, вблизи г. Алматы. Установка «Гроза» на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции космических лучей близ г. Алматы поможет разобраться, как лучи из космоса запускают молниевые разряды в грозовых облаках. Несколько лет назад был создан экспериментальный комплекс для изучения механизмов таких разрядов. На установке была проведена дополнительная модернизация для изучения новых грозовых разрядов.

Сейчас в мире, где на протяжении суток наблюдаются сотни тысяч гроз, одна из активно разрабатываемых идей заключается в том, что именно космические лучи и являются тем «спусковым крючком», который заставляет грозовые облака выстреливать молниевые разряды как в сторону поверхности Земли, так в других направлениях. Одним из условий такого пробы является наличие затравочных высокоэнергичных (порядка 1 МэВ) частиц, например, вторичных частиц космических лучей.

Эту идею ученые проверяли на аэростатах и спутниках, но в горах ставилось не так много экспериментов, и алматинская установка в некотором смысле уникальна, поскольку перекрывает очень большую площадь. Молниевые разряды происходят там довольно часто, в 2009 году было около шести гроз, продолжавшихся в общей сложности около 15 часов. С одной стороны, вести исследования там удобно – ведь молнии ударяют в вершины гор, рядом с детекторами, но, с другой стороны, работать ученым приходится в экстремальных условиях: от ударов молний выгорают целые трассы, превращаясь в куски обугленного кабеля.

Ученые проанализировали банк экспериментальных данных, накопленных в прошлом году, и выявили различные механизмы этих явлений /4/. В целом это фундаментальная работа, направленная на изучение различных явлений, происходящих в верхней атмосфере, но у нее имеются и достаточно важные практические приложения. Сейчас особенно актуальна защита от таких грозных разрядов для авиационной техники пятого поколения, самолетов, летающих на больших высотах.

В последние десятилетия, а именно в эру высоких космических полетов, возросла степень важности исследования космических лучей. По данным специалистов из Калифорнийского Технического университета США, интенсивность космических лучей возросла в 2009 г. на 19 % впервые за последние 50 лет. Это повышение является значительным, что и требует дополнительной защиты для астронавтов в глубоком космическом пространстве /4/.

Причины всплеска интенсивности космических лучей заключаются в солнечном минимуме, глубоком затишье солнечной активности, начавшемся в 2007 году и продолжающемся по сей день. Ученые давно знают, что интенсивность космических лучей повышается в периоды, когда солнечная активность спадает. В настоящее время наблюдаемая солнечная активность самая низкая за период современной эпохи и соответствует этапу, называемому «абсолютным штормом космических лучей».

Специалисты из Центра космических полетов США считают, что в настоящее время мы имеем глубочайший солнечный минимум за ближайшее столетие, поэтому не удивительно, что космическое излучение находится на рекордном уровне /4/.

Галактические космические лучи поступают извне солнечной системы. Они являются суб-атомными частицами, главным образом, протонами, а также некоторыми тяжелыми ядерно-ускоренными почти до скорости света далекими суперновыми взрывными частицами. Космические лучи вызывают «космический ливень» вторичных частиц, когда они падают в земную атмосферу; они причиняют вред здоровью астронавтов; и даже один космический луч может вывести из строя спутник, если случайно попадет в интегрированную схему.

Магнитное поле Солнца является нашей первой линией защиты от заряженных высокоэнергетических частиц. Вся солнечная система, от Меркурия до Плутона и дальше, окружена «пузырем» солнечного магнетизма, называемым «гелиосферой». Она берет начало от внутренней солнечной динамики и наполняется до колоссальных пропорций солнечным ветром. Когда космическое излучение пытается войти в солнечную систему, оно должно преодолеть внешние слои гелиосферы. В периоды низкой солнечной

активности это природное экранирование ослабевает, и большее количество космических лучей может попадать во внутреннюю часть солнечной системы.

Ученый из Калифорнийского Технического университета США Р.Мэвалдт /4/ перечисляет три аспекта текущего солнечного минимума, который комбинирует создание значительного шторма: если положить, что солнечное магнитное поле слабое, то при этом имеется сильное отклонение солнечного межпланетного магнитного поля (ММП) всего на 4 нанотесла (нТ) от обычных значений от 6 до 8 нТ. Это рекордно низкое ММП, несомненно, вносит свой вклад в рекордно высокие космические лучевые потоки.

В том случае, когда солнечный ветер ослабевает, проникновение космических лучей становится более легким, чем в обычное время. Отмечаются случаи выравнивая солнечного ветра и, соответственно, потока космических лучей. Если выравнивание будет продолжаться как в предыдущем солнечном минимуме, то могут происходить всплески космического излучения, достигающие величин, на 30% выше максимального уровня, наблюдаемого в предыдущую эру космических полетов.

Земля находится в большой опасности от высокой интенсивности космических лучей. Атмосфера и магнитное поле планеты в сочетании образуют замечательную защиту от космической радиации, защищая человечество. Известно, что Земля подвергалась мощным космическим штормам. Сотни лет тому назад потоков космических лучей было на 200 % больше, чем сейчас. Ученые это определили по содержанию изотопа бериллия ^{10}Be в кернах полярного льда. Когда космические лучи попадают в атмосферу, они производят изотоп бериллия ^{10}Be . Эта информация хранится в полярных льдах. При изучении глубинного льда появляется возможность оценить потоки космических лучей, которые достигли Земли более 1000 лет тому назад. В период предыдущего миллениума интенсивность космических лучей была на один-два порядка выше, чем в настоящее время. Даже последний всплеск космических лучей сегодня намного слабее, чем их уровень во времена предыдущего миллениума.

Ниже рассмотрим экспериментальный материал по солнечной активности и космическим лучам, полученный на ряде станций /4/.

Как известно, интенсивность космических лучей связана с изменением солнечной активности, и наиболее четко она проявляется в 11-летнем и других солнечных циклах. С возрастанием солнечной активности спадает интенсивность космических лучей.

Это наглядно видно из рис. 1. Всплеск интенсивности космических лучей в 2009 г. связан с глубоким минимумом до нулевых значений в интенсивности солнечного излучения.

Связь солнечного излучения с интенсивностью космических лучей нелинейная и описывается экспоненциальной зависимостью вида:

$$P_{MeV/nuc} = 14,5 \exp(-0,01 F_{10,7}),$$

или аппроксимируется полиномом 5-го порядка методом наименьших квадратов:

$$P(y) = 0,079 y^5 + 2,3357 y^4 - 26,7339 y^3 + 150,5013 y^2 - 434,4000 y + 559,2575.$$

Это наглядно отражено на рис. 2, показывающем зависимость между интенсивностью космических лучей в диапазоне 270-450 $P_{MeV/nuc}$ и солнечной активностью $F_{10,7}$ в 11-летнем цикле с 2001 по 2010 годы. Зная эту зависимость, можно спрогнозировать интенсивность космических лучей в зависимости от предполагаемого уровня солнечной активности. И наоборот, по известной интенсивности космических лучей можно говорить о предполагаемом уровне солнечной активности.

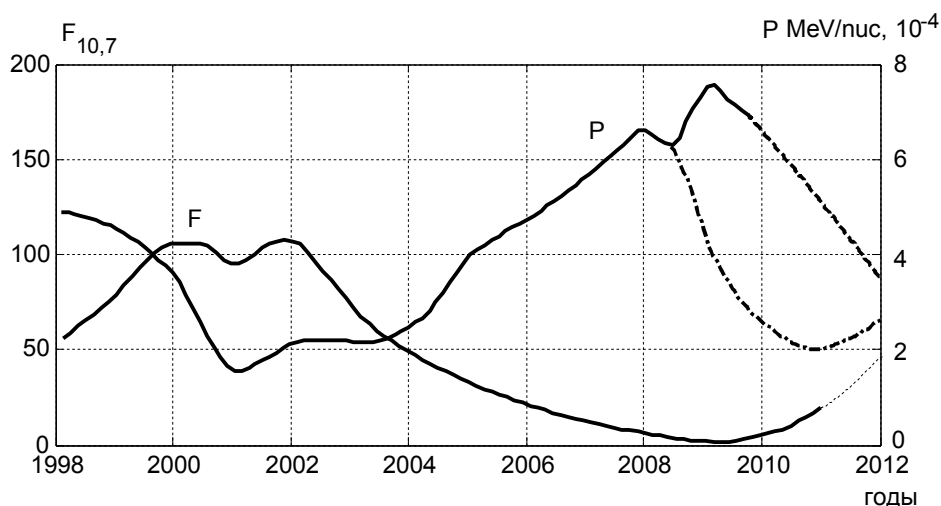


Рис.1. Вариации параметра солнечной активности $F_{10,7}$ см и интенсивности космических лучей $P_{MeV/nuc}$

Из рис. 2 видно, что с 2008 по 2010 годы отмечены рекордно высокие значения интенсивности космических лучей – до 8×10^{-4} MeV/nuc. В этот период теоретически должен был отмечаться рост 11-летней составляющей солнечной активности, чтобы к 2012 году выйти на условный максимум солнечной активности. Этого не произошло, и при этом в интенсивности космических лучей отмечен условно второй максимум в виде его всплеска до рекордно больших значений 8×10^{-4} MeV/nuc.

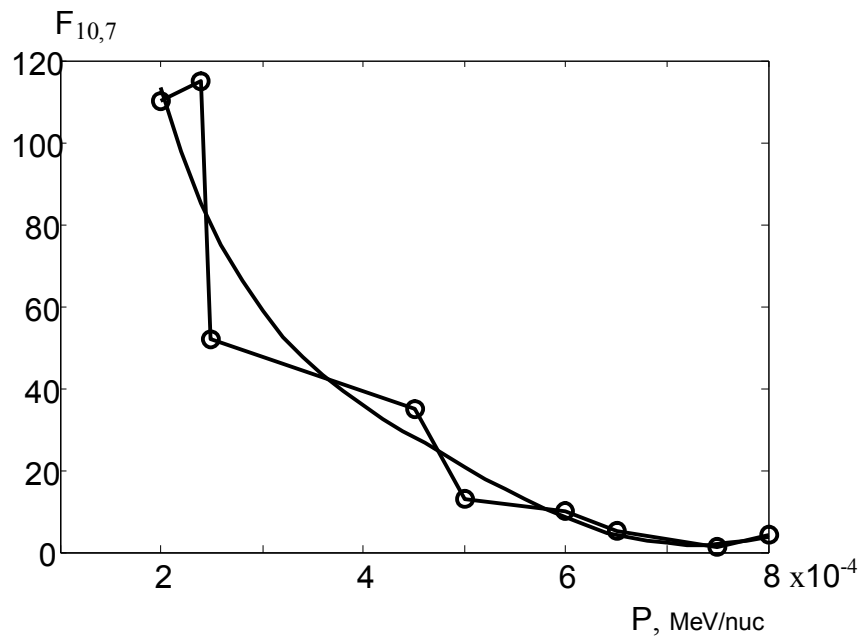


Рис. 2. Зависимость между солнечной активностью и интенсивностью космических лучей

В этой связи представляется чрезвычайно актуальным исследовать реакцию живых организмов, включая человеческий, на повышенную активность космических лучей как на Земле, так и в космосе. Следует отметить, что по данным международного мониторинга космических лучей в 2009-2010 годах интенсивность космических лучей возросла на 19-20 % за последние 50 лет. Это повышение является значительным, и человечество должно подумать о защите своего здоровья, о космонавтах в далеком космическом пространстве.

Ученые давно связывают факт повышения космических лучей с ростом уровня солнечной активности. В настоящее время уровень солнечной активности наименьший за период современной эпохи и устанавливает этап «абсолютного шторма» космических лучей в 2009-2010 годах.

Галактические космические лучи приходят извне солнечной системы и являются главным образом протонами, а также тяжелыми ядрами частиц, ускоренными почти до скорости света. Космические частицы, попадая в земную атмосферу, вызывают космические ливни вторичных частиц и, естественно, причиняют вред здоровью космонавтов и могут вывести из строя интегрированные системы спутника.

Магнитное поле Солнца является первой линией защиты от высокозаряженных космических частиц. Вся солнечная система окружена солнечным магнетизмом, так называемой гелиосферой. Космические лучи должны также преодолевать внешние слои атмосферы. В период низкой солнечной активности это природное экранирование

ослабевает, и большее число космических частиц попадает внутрь солнечной системы, и наоборот. При высокой солнечной активности мощность гелиосферы возрастает, возрастает и экранирование Земли, при этом космическим частицам труднее проникать внутрь солнечной системы, соответственно, их интенсивность ослабевает. Атмосфера и магнитное поле планеты образуют хорошую защиту от космических лучей /5/.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о важном значении изучения вариаций космических лучей в околоземном пространстве и на Земле.

Особый интерес представляет их изучение в горных районах центральноазиатского региона, где часть населения проживает в высокогорье, которое характеризуется более низкой плотностью атмосферы и, соответственно, меньшим уровнем защиты от внешнего излучения. Таким образом, регион Центральной Азии представляется чрезвычайно интересным для исследования воздействия космических лучей на природную среду и жизнедеятельность человека.

Список литературы

1. Чарахчян А.Н., Базилевская Г.А., Стожков Ю.И., Чарахчян Т.Н. Космические лучи в стратосфере и околоземном пространстве в период 19-го и 20-го циклов солнечной активности // Труды ФИАН. т. 88. – М.: Наука, 1976, – С. 3-50.
2. Svensmark H. and E. Friis–Cristensen. J. Atmos. Solar-Terr. Physics., 1977, V. 59, P. 1225.
3. Cloud A. Study of the link between cosmic rays and clouds with a cloud chamber at the CERN P.S., 2000, P.107.
4. <http://www.gizmag.com/cosmic-rays-warning/>
5. Stozhkov Y.I., Svirzhevsky N.S., Makhmutov V.S. Cosmic ray measurements in the atmosphere. In: J. Kirkby (ed.) // Proceedings Workshop on Ion-Aerosol-Cloud Interactions. CERN, Geneva, Switzerland, 18-20 April 2001. CERN-2001-007, Experimental Physics Division, Geneva: CERN Scientific Information Service-640, 2001, pp. 41-62.