

УДК 543.42: 522.124

К ВОПРОСУ О РАЗЛИЧИИ В МОДУЛЯЦИИ АНОМАЛЬНЫХ И ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В 22-м ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

М. А. Кондратьева, Ч. А. Третьякова

(НИИЯФ)

E-mail: dzhur@srdlan.npi.msu.su

Обсуждается восстановление интенсивности галактических космических лучей, более длительное по сравнению с аномальными космическими лучами, наблюдавшееся в конце 22-го цикла солнечной активности.

Введение

В начале 70-х годов в межпланетном пространстве были обнаружены аномально большие потоки гелия и кислорода в низкоэнергичной (< 50 МэВ/нуклон) области спектра космических лучей, что привело к идентификации новой компоненты, так называемых аномальных космических лучей (АКЛ). Для объяснения их природы была выдвинута гипотеза [1] о происхождении АКЛ из нейтральных атомов межзвездной среды, которые, проникая в солнечную систему, ионизируются и конвектируются солнечным ветром к границе гелиосферы. Здесь они ускоряются до десятков МэВ/нуклон предположительно на конечной ударной волне солнечного ветра (Termination Shock), а затем диффундируют обратно внутрь гелиосферы. Гипотеза содержит важное предположение, подтвержденное экспериментально [2], что ионы АКЛ однократно заряжены. Интенсивность малоэнергичных АКЛ очень чувствительна к эффектам солнечной модуляции.

Экспериментальные данные

В течение двух десятилетий проводились эксперименты по регистрации ионов группы CNO в интервале энергий 5–25 МэВ/нуклон с помощью твердотельных трековых детекторов, экспонируемых в открытом космическом пространстве на спутниках серии «Космос» на высотах 250–450 км (угол наклона орбиты 62–82°). В периоды спокойного Солнца в потоке регистрируемых частиц доминируют ионы АКЛ, временные изменения потока которых коррелируют с временными изменениями потока высокоэнергичных галактических космических лучей (ГКЛ), измеряемых нейтронным монитором [3].

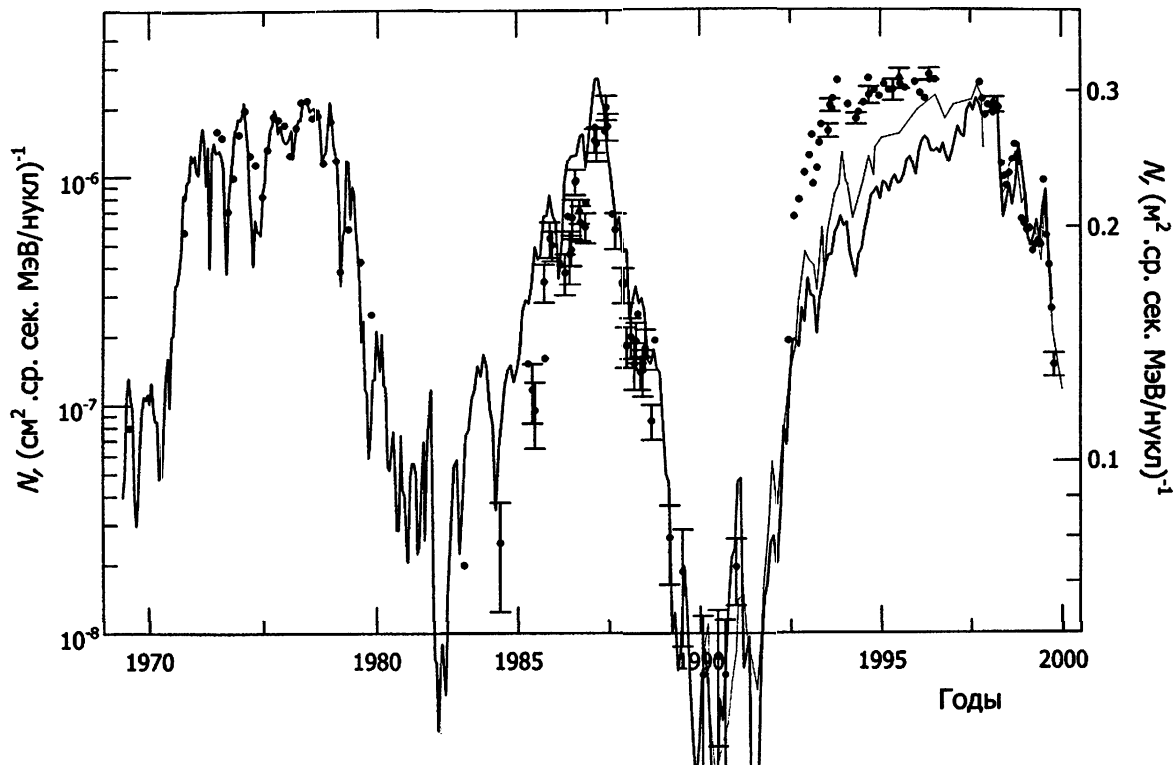
Измерения интенсивности ионов АКЛ с энергиями 8–27 МэВ/нуклон вблизи Земли проводятся на американских спутниках IMP, Sampex, ACE. Авторы этих работ также прослеживают временные изменения этой компоненты и сравнивают их с данными нейтронного монитора [4, 5].

На рисунке (левая шкала) представлен временной ход АКЛ, измеренный нами (точки с ошибками) и на американских спутниках (точки без ошибок,

пересчитанные из рисунков работ [4, 5]). Наши данные нормированы к данным IMP-8 по результатам измерений в 1986–1988 гг. Кривая на рисунке воспроизводит скорость счета нейтронного монитора на станции Climax [6], возведенную в 25-ю степень. Такой вид представления обусловлен тем, что амплитуды модуляций интенсивности АКЛ и частиц, регистрируемых нейтронными мониторами, сильно различаются: между максимумом и минимумом солнечной активности интенсивность АКЛ изменяется на 2–3 порядка величины, а скорость счета нейтронного монитора — всего на 20–30%. На рисунке (правая шкала) воспроизведены также временные изменения интенсивности ионов галактического гелия со средней энергией 265 МэВ/нуклон на IMP-8 [7].

Обсуждение экспериментальных данных

Из рисунка видно, что на протяжении двух циклов солнечной активности (21-й цикл, 70-е гг. и 22-й цикл, 80-е гг.) кривая изменения скорости счета нейтронного монитора практически повторяет временные изменения потока АКЛ. Однако в конце 22-го цикла эта закономерность нарушилась. После максимума солнечной активности в 1990–1991 гг. восстановление ГКЛ оказалось более медленным в сравнении с восстановлением АКЛ: интенсивность АКЛ достигла максимального значения к концу 1994 г., а ГКЛ — только к середине 1997 г. Эта особенность была отмечена нами ранее [8], но причина расхождения тогда была непонятна [4]. Обнаруженное расхождение имеет принципиальное значение. Однократно заряженные ионы аномального кислорода O^+ и релятивистские галактические протоны p , регистрируемые нейтронным монитором, обладают примерно одинаковыми жесткостями (жесткость геомагнитного обрезания на станции Climax ≈ 3 GV, жесткость однократно заряженных ионов кислорода — 2.5 GV), но скорости этих частиц различаются в несколько раз ($\beta_p/\beta_{O^+} = 0.95/0.167 \cong 6$). Поэтому если граница области модуляции протонов находится там же, где и у ионов АКЛ, т. е. в области конечной ударной волны, которая считается местом



Временные изменения интенсивности АКЛ и ГКЛ вблизи Земли: точки с ошибками — интенсивность ионов аномального кислорода по данным ИСЗ «Космос», точки без ошибок — по данным спутников IMP, Sampex, ACE (левая шкала); кривая — нормированная скорость счета нейтронного монитора на ст. Climax [6], возведенная в 25-ю степень, тонкая кривая — интенсивность потока ионов галактического гелия [4] (правая шкала)

возникновения (ускорения) этих ионов, то в соответствии с классической диффузионной теорией распространения заряженных частиц в гелиосфере [9] следовало бы ожидать, что быстрые протоны достигнут Земли заметно раньше ионов АКЛ, как это было в предыдущем 21-м цикле. Экспериментально наблюдается обратная картина.

В 90-е гг. была обнаружена такая же ситуация при сравнении восстановления АКЛ O^+ и ионов галактического гелия He^{++} как на Земле, так и в дальней гелиосфере [7]. Измерения на спутниках Voyager 1 и 2 (на гелиоцентрических расстояниях 46 и 34 AU) показали, что после прохождения глобальной поглощающей области взаимодействия (Global Merged Interaction Region), образованной чрезвычайно интенсивной солнечной деятельностью в марте-июне 1991 г., временная константа восстановления галактического гелия He^{++} с энергией 265 МэВ/нуклон оказалась примерно в 2 раза больше константы восстановления аномального кислорода O^+ с энергией 13 МэВ/нуклон. Авторы работы полагают, что это различие в относительном восстановлении АКЛ O^+ и ГКЛ He^{++} может быть обусловлено тем, что глобальная поглощающая область взаимодействия оставалась для ГКЛ эффективным модуляционным фактором в течение еще приблизительно трех лет при ее прохождении через область конечной ударной волны в гелиооболочку. На Voyager'ах, значительно приблизившихся к конечной ударной волне, получе-

ны экспериментальные данные, которые могут быть интерпретированы как подтверждение прохождения глобальной поглощающей области взаимодействия через конечную ударную волну и взаимодействия глобальной поглощающей области взаимодействия с высокоплотной плазмой гелиопаузы [10].

Заключение

Таким образом, обнаруженное нами в экспериментах у Земли в конце 22-го цикла солнечной активности более быстрое восстановление малоэнергичных АКЛ по сравнению с восстановлением высокоэнергичных ГКЛ, регистрируемых нейтронным монитором, возможно, связано со спецификой этого цикла (образованием небывало мощной глобальной поглощающей области взаимодействия и ее прохождением за пределы конечной ударной волны), которая повлияла на то, что области модуляции АКЛ и ГКЛ оказались различными: область модуляции АКЛ была ограничена конечной ударной волной солнечного ветра, а область модуляции ГКЛ была гораздо обширнее и простиралась внутрь гелиооболочки.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 03-02-17076).

Литература

1. Fisk L.A., Kozlovsky B., Ramaty R. // *Astrophys. J.* 1974. **190**. L35.

2. Adams J.H., Jr., Garcia-Munoz M., Grigorov N.L. et al. // *Astrophys. J.* 1991. **375**. L45.
3. Grigorov N.L., Bobrovskaya V.V., Zhuravlev D.A. et al. // *Proc. 21 ICRC.* 1990. **6**. P. 176.
4. Mewaldt R.A., Cummings A.C., Cummings J.R. et al. // *Proc. 23 ICRC.* 1993. **3**. P. 404.
5. Leske R.A., Mewaldt R.A., Selesnick R.S. et al. // *Proc. 26 ICRC.* 1999. **7**. P. 516.
6. *Solar Geophys. Data* // 1999. **664**, Part II. P. 28.
7. McDonald F.B., Klecker B., McGuire R.E., Reames D.V. // *Proc. 27 ICRC.* 2001. **4**. P. 3762.
8. Григоров Н.Л., Бобровская В.В., Журавлев Д.А. и др. // *Космич. исслед.* 1998. **36**, № 2. С. 124.
9. O'Gallagher J.J. // *Astrophys. J.* 1975. **197**. P. 495.
10. McDonald F.B., Heikkila B., Lal N., Stone E.C. // *J. Geophys. Res.* 2000. **105**. P. 1.

Поступила в редакцию
26.06.02