



Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына,  
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

# **Характеристики солнечных протонных событий в периоды инверсии магнитного поля Солнца за последние 6 солнечных циклов**

М. В. Подзолко, В. В. Калегаев, К. А. Устинов

## **Предшествующие результаты:**

Nagashima K., Sakakibara S., Morishi I. Quiescence of GLE-producible solar proton eruptions during the transition phase of heliomagnetic polarity reversal near the solar-activity-maximum period. *J. Geomag. Geoelectr.* V. 43. P. 685–689. 1991.

— В 17–22 солнечных циклах в периоды инверсии магнитного поля Солнца не происходили события GLE.

Krainev M.B., Bazilevskaya G.A., Sladkova A.I. The cosmic ray intensity in the periods of the inversion of high latitude solar magnetic field. Труды конференции «Современные проблемы солнечной цикличности», ГАО, Санкт-Петербург, 26–30 мая 1997. С. 362–366.

— В 19–22 солнечных циклах в периоды инверсии не происходили события GLE и события с высокими энергиями протонов, регистрируемые на стратосферных шарах-зондах.

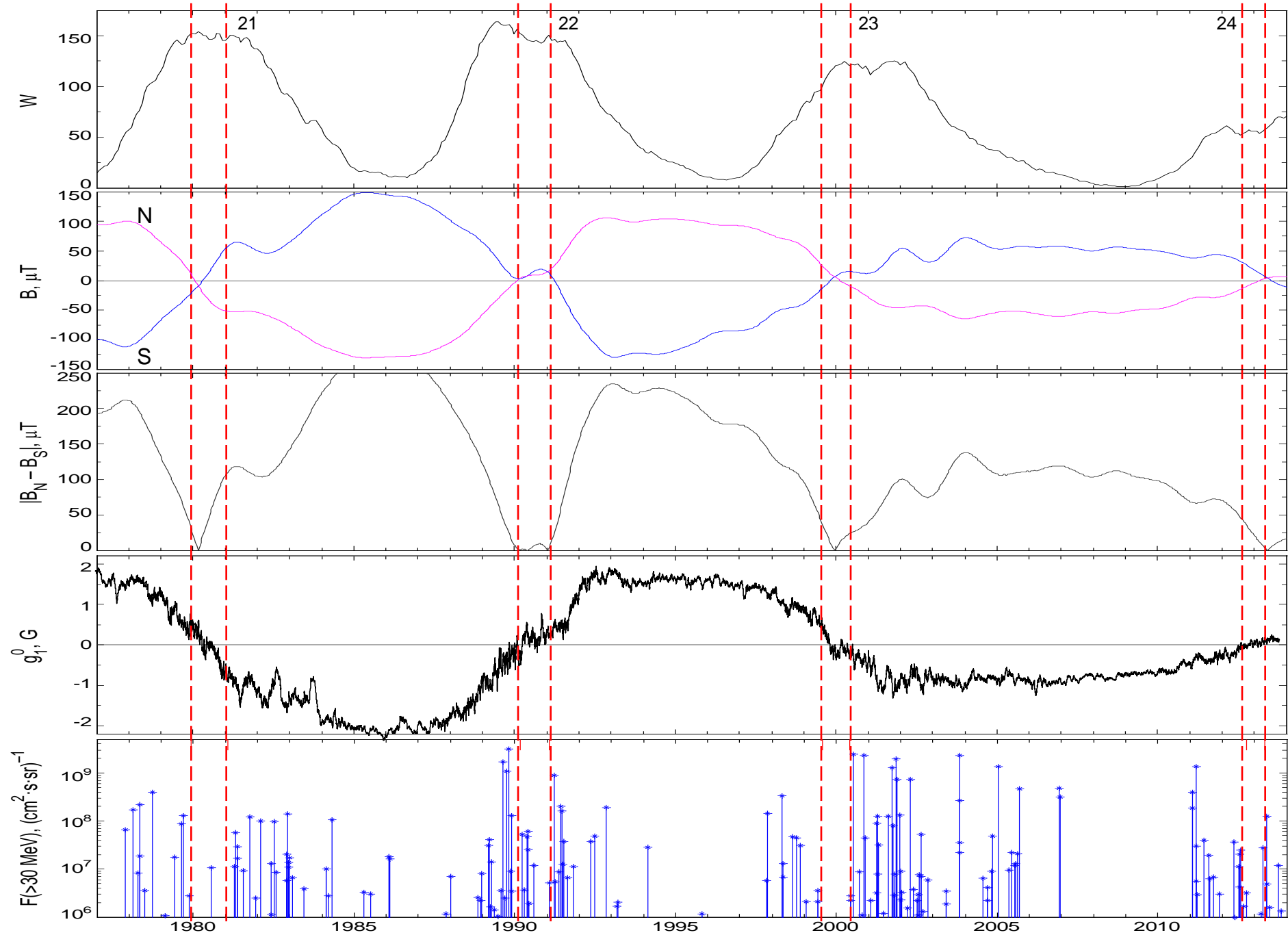
Гецелев И.В., Охлопков В.П., Чучков Е.А. Протоны солнечных космических лучей в периоды инверсии полярного магнитного поля Солнца. *Вестник МГУ. Серия 3. Физика. Астрономия.* 2004. № 3. С. 25–28.

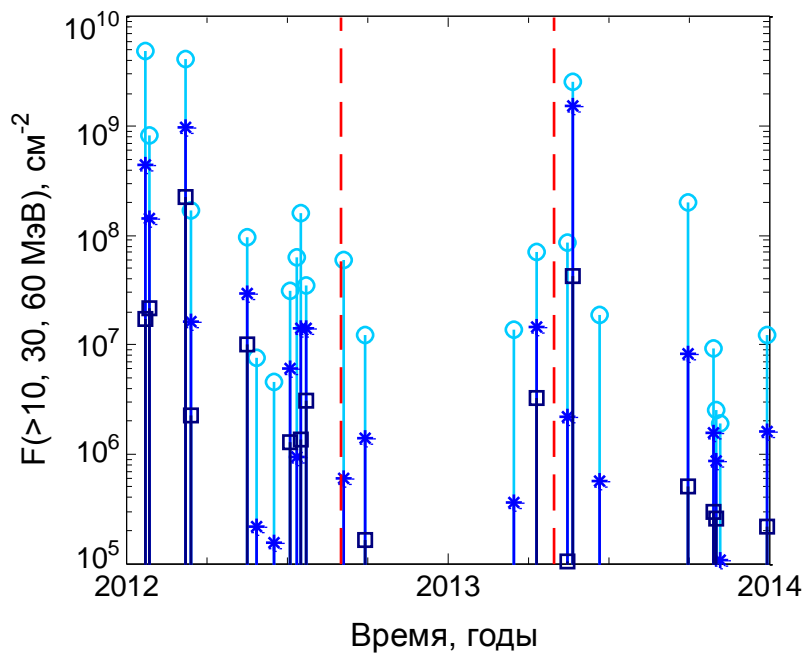
— В 21–23 солнечных циклах в периоды инверсии, определённые с точностью до 1 года, число солнечных протонных событий и суммарный флюенс протонов с энергиями  $>30$  МэВ в СПС были существенно ниже, чем в годы до и после этого.

## **Результат данной работы:**

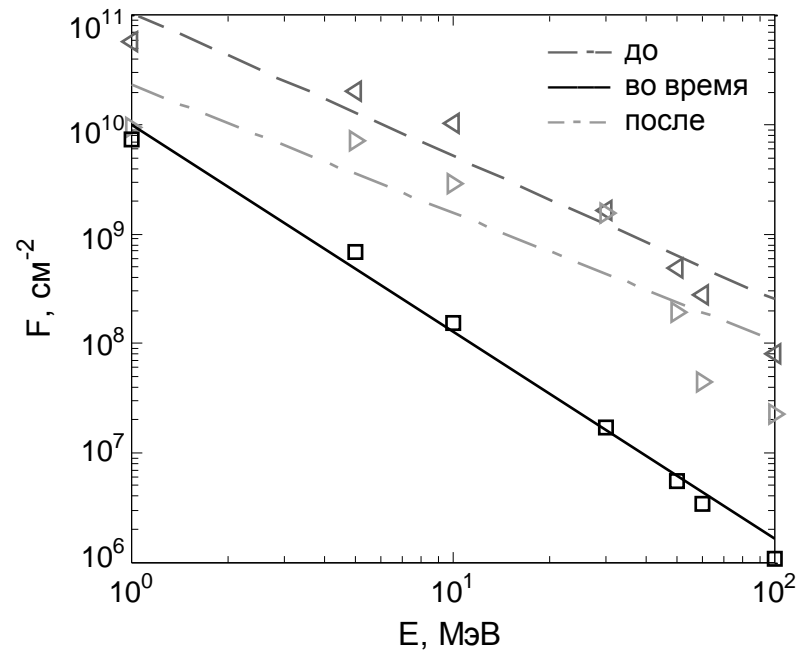
Вблизи максимумов 19–24 солнечных циклов можно выделить интервалы времени длительностью 8–12 месяцев, на которые попадает инверсия магнитного поля Солнца, и во время которых:

- число солнечных протонных событий ниже,
- суммарный и пиковый флюенс протонов с энергиями  $>30$  МэВ в СПС существенно, на 1–2 порядка величины, ниже,
- интегральный энергетический спектр в диапазоне энергий  $>1 \dots >60$  МэВ мягче, чем за равные по длительности интервалы до и после этого.

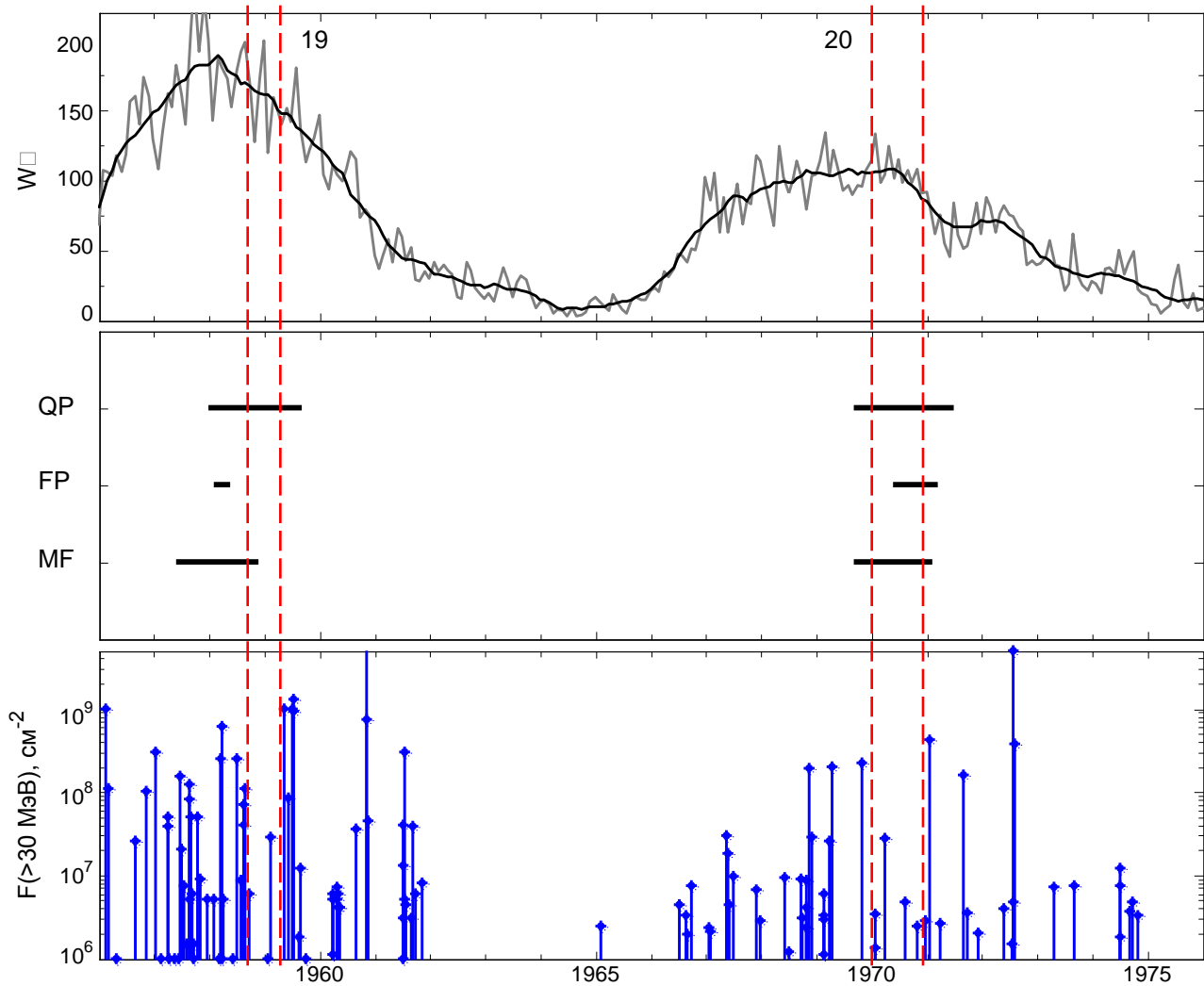




Флюенсы протонов с  $E > 10$  (o),  $>30$  (\*) и  $>60$  (□) МэВ в по данным измерений КА GOES в СПС периоды инверсии и до и после этого в 24-м солнечном цикле.



Энергетические спектры суммарных флюенсов протонов в СПС в периоды инверсии и до и после этого в 24-м солнечном цикле.



Сверху вниз: среднемесячные и сглаженные числа Вольфа; периоды инверсии поля Солнца по наблюдениям полярного магнитного поля (MF), количества полярных факелов (PF) и положения волокон (QP) (Kraiev et al., 1997); флюенсы протонов с  $E > 30$  МэВ в СПС в 19 и 20 циклах.

Цикл	Параметр	До	Во время	После
19	Время	01.1958–08.1958	<b>09.1958–04.1959</b>	05.1959–12.1959
	Число событий	12	<b>3</b>	8
	$F(> 30 \text{ МэВ})$	1.3E+09	<b>3.5E+07</b>	4.3E+09
20	Время	02.1969–12.1969	<b>01.1970–11.1970</b>	12.1970–10.1971
	Число событий	17	<b>13</b>	10
	$F(> 30 \text{ МэВ})$	4.6E+08	<b>4.1E+07</b>	5.9E+08
21	Время	01.1979–12.1979	<b>01.1980–12.1980</b>	01.1981–12.1981
	Число событий	5	<b>2</b>	9
	$F(> 30 \text{ МэВ})$	2.3E+08	<b>1.3E+07</b>	2.5E+08
	$\gamma$	-1.4	<b>-1.8</b>	-1.4
22	Время	02.1989–01.1990	<b>02.1990–01.1991</b>	02.1991–01.1992
	Число событий	14	<b>8</b>	11
	$F(> 30 \text{ МэВ})$	6.2E+09	<b>2.0E+08</b>	1.3E+09
	$\gamma$	-0.9	<b>-1.3</b>	-1.1
23	Время	06.1998–05.1999	<b>06.1999–05.2000</b>	06.2000–05.2000
	Число событий	5	<b>2</b>	13
	$F(> 30 \text{ МэВ})$	1.0E+08	<b>5.6E+06</b>	5.0E+09
	$\gamma$	-1.5	<b>-2.0</b>	-0.9
24	Время	01.2012–08.2012	<b>09.2012–04.2013</b>	05.2013–12.2013
	Число событий	10	<b>4</b>	7
	$F(> 30 \text{ МэВ})$	2.0E+09	<b>3.4E+07</b>	1.5E+08
	$\gamma$	-1.3	<b>-1.9</b>	-1.2

## **Выводы и обсуждение:**

- В 19–24 солнечных циклах в периоды инверсии магнитного поля Солнца имеет место значительное по длительности и величине понижение количества и величин флюенсов солнечных протонных событий, регистрируемых на орбите Земли.
- В большинстве из рассмотренных солнечных циклов, имеющих структуру Гневешева с двумя максимумами, указанный период приходится на локальный минимум между ними.
- На данный момент авторы не берутся назвать физическую причину явления. По мнению других исследователей, например, Nagashima et al., указанное понижение флюенсов протонов «вызвано не препятствованием инжекции энергичных протонов в межпланетное пространство сильным солнечным магнитным полем, но уменьшением эффективности их ускорения на Солнце в силу структурных изменений поля в период инверсии».
- Обнаруженная закономерность может быть использована в «среднесрочных» прогнозах радиационных условий космических полётов.