

Порядок выполнения работы «Солнечные космические лучи»

Богомолов В.В.

Цель работы – исследование протонов солнечных космических лучей (СКЛ), пришедших к Земле в период солнечной активности. Эти протоны наблюдаются при пролёте низкоорбитальным спутником полярных областей, поскольку на низких широтах отклоняются магнитным полем Земли. В ходе работы студенты должны получить:

- 1) График временного хода скоростей счета протонов в области полярных шапок.
- 2) Дифференциальные энергетические спектры протонов для трёх интервалов времени: до прихода СКЛ, в области максимума потока и в области спада.

Для анализа предлагается использовать данные комплекса детекторов частиц, установленного на спутнике «Татьяна», успешно функционировавшего на орбите в течение двух с половиной лет начиная с января 2005 года. Поступившие в МГУ первичные данные после предварительной обработки были записаны в виде суточных файлов содержащих набор колонок, в которых помещена информация о скоростях счета протонов и электронов различных энергий, измеренных на орбите, а также время измерения и геомагнитные координаты, рассчитанные на Земле. (см. рис.1.). Над колонками помещены поясняющие подписи:

d	День
m	Месяц
y	Год
h	Час от начала суток (дробные значения)
prz	Признак
e>70keV	Электроны >70 кэВ
p2-14M	Протоны 2-14 МэВ
e.3-.6M	Электроны 0.3-0.6 МэВ
p7-15M	Протоны 7-15 МэВ
e.6-.8M	Электроны 0.6-0.8 МэВ
p15-40M	Протоны 15-40 МэВ
e>3.5M	Электроны >3.5 МэВ
p>40MeV	Протоны >40 МэВ (40-200 МэВ)
LT	Локальное время
MLT	Магнитное локальное время
ALT	Высота
LAT	Широта
LON	Долгота
mLat	Магнитная широта
mLON	Магнитная долгота
B	Геомагнитна координата B
L	Геомагнитная координата L

Студентам даётся на выбор один из подготовленных файлов, представляющих собой соединённые вместе несколько суточных файлов, охватывающих эпизоды прихода солнечных космических лучей в августе 2005 г. (файл fla0805.dat) и в сентябре 2005 г (файл fla0905.dat). Проводить обработку рекомендуется с помощью электронных таблиц (Excel, Origin и др.). Программирование допускается, но этот вариант подходит студентам, умеющим хорошо программировать, и на практике оказывается значительно более трудоёмким.

Категорически запрещается редактировать исходный файл данных. Следует перед началом сделать копию и работать с ней, или сразу после открытия файла сохранить его под новым именем в формате электронных таблиц.

Задание

- 1) Построить временной ход показаний детекторов за несколько суток измерений (весь файл) в следующих каналах: протоны (все каналы, всего 4 шт.), электроны (канал 0.3-0.6 МэВ), геомагнитная координата L. По оси абсцисс откладывать время в часах от начала первого дня измерений. Масштаб по оси ординат сделать логарифмическим.
- 2) Изобразить на отдельном графике фрагменты тех же данных за несколько витков для временных интервалов до и после прихода солнечных космических лучей (см. рис. 2 и 3). Определить на графиках экватор, полярную область, внешний и внутренний радиационные пояса.
- 3) Построить график временного хода скоростей счета протонных каналов в полярных шапках за всё время измерений. Для этого нужно сделать отбор записей по условию $L > 15$. Пример графика приведен на рис. 4.
- 4) По этому графику выбрать три интервала длительностью в несколько витков, для которых в следующей части работы будет строиться спектр. Первый интервал нужно взять на начальном участке, когда ещё не было солнечной активности. Второй интервал следует выбрать в области максимума, а третий – на участке спада потока СКЛ. Выбранные интервалы нужно отметить на графике
- 5) Вычислить среднее значение скорости счета протонов в полярных шапках в каждом из четырёх энергетических каналов для каждого из выбранных интервалов. Вычислить для тех же каналов и интервалов стандартные отклонения. Фрагмент электронной таблицы с результатами вычислений показан на рис. 5.
- 6) Построить на одном графике дифференциальный энергетический спектр протонов для каждого из трёх выбранных временных интервалов. График нужно строить в двойном логарифмическом масштабе. Для получения дифференциального спектра средние скорости счета, откладываемые по оси Y, нужно предварительно разделить на ширину энергетического канала ($E_2 - E_1$).

Спектр строится в виде набора «крестов» из погрешностей. Центры – середины интервалов $[E_1, E_2]$, границы – значения E_1 и E_2 . Погрешности по вертикали – стандартные отклонения, делённые на ширину энергетического канала ($E_2 - E_1$). Обратите на это внимание: единицы измерения самой величины и её погрешностей должны совпадать.
- 7) Для тех спектров, у которых в логарифмическом масштабе точки выстраиваются вдоль прямой, провести линию аппроксимации степенным законом $J = J_0 \cdot E^{-\gamma}$. Указать на графике показатели спектра для этих случаев.

Пример итогового графика показан на рис.6.

SKL_praktikum - Excel																												
Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Настройки Справка Рабочая группа Что вы хотите сделать? Общий доступ																												
A33																												
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W						
1	Time	[Complete	output	0.00:00	-	#####	0.00:00	J;	Average	time:	1 sec;	Sort=(Inter Files=6															
2																												
3																												
4		d	m	y	h	prz	e>70keV	p2-14M	e.3-.6M	p7-15M	e.6-.8M	p15-40M	e>3.5M	p>40MeV	LT	MLT	ALT	LAT	LON	mLat	mLON	B	L					
5	21	8	2005	0.0022	0	12.764	0	0	1.973	0	0	0.233	0.042	2.2695	23.75	969.813	-75.547	34.016	-74.789	66.219	0.3141	10.246						
6	21	8	2005	0.0053	0	18.655	0	14.728	2.946	19.048	0	0.275	0.033	2.3525	23.8994	969.5	-74.992	35.219	-74.563	68.422	0.3132	10.132						
7	21	8	2005	0.0081	0	10.8	0	11.782	0	4.762	0	0.254	0.045	2.4219	0.0313	969.25	-74.492	36.219	-74.328	70.359	0.3125	10.016						
8	21	8	2005	0.0111	0	9.818	0	14.728	0	19.048	0	0.243	0.024	2.4814	0.1758	969	-73.914	37.063	-74.039	72.516	0.3116	9.868						
9	21	8	2005	0.0139	0	13.746	0	7.855	0.982	4.762	4.762	0.212	0.039	2.543	0.2998	968.75	-73.398	37.938	-73.773	74.344	0.3108	9.733						
10	21	8	2005	0.0169	0	24.546	0.982	0	0.982	0	33.333	0.275	0.042	2.6064	0.4316	968.5	-72.828	38.844	-73.469	76.266	0.3099	9.575						
11	21	8	2005	0.0197	0	12.764	0	13.746	1.973	14.286	0	0.233	0.03	2.6602	0.5479	968.188	-72.305	39.609	-73.18	77.969	0.3091	9.425						
12	21	8	2005	0.0228	0	18.655	0.982	11.782	0.982	4.762	0	0.265	0.045	2.7148	0.6709	967.938	-71.727	40.391	-72.836	79.766	0.3082	9.252						
13	21	8	2005	0.0256	0	12.764	0	0	2.946	0	14.286	0.296	0.039	2.7559	0.7793	967.625	-71.195	40.969	-72.5	81.313	0.3074	9.077						
14	21	8	2005	0.0286	0	12.764	0	10.8	0	4.762	0	0.201	0.036	2.8057	0.8926	967.375	-70.609	41.656	-72.125	82.969	0.3065	8.896						
15	21	8	2005	0.0314	0	16.691	0.982	11.782	0.982	4.762	0	0.318	0.074	2.8477	0.9932	967.063	-70.078	42.25	-71.781	84.422	0.3056	8.728						
16	21	8	2005	0.0344	0	24.546	1.973	17.673	0.982	19.048	9.571	0.286	0.033	2.8926	1.0977	966.813	-69.484	42.875	-71.383	85.953	0.3047	8.542						
17	21	8	2005	0.0372	0	12.764	0	6.873	0	19.048	0	0.254	0.06	2.9307	1.1895	966.5	-68.945	43.406	-71.016	87.281	0.3039	8.37						
18	21	8	2005	0.0403	0	13.746	0.982	10.8	0.982	4.762	0	0.286	0.048	2.9697	1.2852	966.25	-68.352	43.953	-70.594	88.688	0.303	8.178						
19	21	8	2005	0.0431	0	10.8	0	0	0.982	0	0	0.275	0.042	3.001	1.3633	965.938	-67.813	44.375	-70.188	89.844	0.3021	7.987						
20	21	8	2005	0.0461	0	9.818	0	13.746	0	4.762	4.762	0.265	0.063	3.0371	1.4512	965.688	-67.211	44.875	-69.742	91.125	0.3012	7.794						
21	21	8	2005	0.0489	0	17.673	0	12.764	0	4.762	4.762	0.222	0.027	3.0684	1.5293	965.438	-66.672	45.297	-69.336	92.266	0.3004	7.619						
22	21	8	2005	0.0519	0	845.361	0	17.673	0	19.048	4.762	0.286	0.045	3.1006	1.6123	965.125	-66.07	45.734	-68.875	93.453	0.2994	7.429						
23	21	8	2005	0.0547	0	7587.628	0	0	0	0	0	0.275	0.036	3.1289	1.6846	964.875	-65.523	46.125	-68.453	94.5	0.2986	7.257						
24	21	8	2005	0.0578	0	5855.67	2.946	0	0	0	0	0.265	0.033	3.1592	1.7627	964.563	-64.914	46.531	-67.977	95.594	0.2977	7.069						
25	21	8	2005	0.0606	0	1278.35	0	0	0.982	0	0	0.328	0.057	3.1826	1.8301	964.313	-64.367	46.844	-67.523	96.516	0.2968	6.89						
26	21	8	2005	0.0636	0	1711.34	0	62.838	0.982	14.286	0	0.592	0.036	3.21	1.9023	964	-63.758	47.203	-67.039	97.531	0.2959	6.708						
27	21	8	2005	0.0664	0	2020.618	1.973	70.692	0.982	4.762	4.762	0.508	0.036	3.2334	1.9639	963.75	-63.203	47.516	-66.586	98.406	0.2951	6.546						
28	21	8	2005	0.0694	0	2577.319	0	86.402	0.982	23.81	4.762	0.508	0.045	3.2598	2.0303	963.438	-62.594	47.859	-66.086	99.344	0.2942	6.372						
29	21	8	2005	0.0722	0	3381.443	0	141.345	0.982	33.333	4.762	0.719	0.039	3.2813	2.0869	963.125	-62.039	48.141	-65.617	100.172	0.2934	6.217						
30	21	8	2005	0.0753	0	4371.134	0	0	1.973	0	4.762	0.847	0.039	3.3027	2.1426	962.75	-61.43	48.422	-65.102	100.984	0.2925	6.049						
31	21	8	2005	0.0781	0	4865.979	0	251.34	0	38.095	0	1.185	0.027	3.3232	2.1953	962.438	-60.867	48.688	-64.625	101.734	0.2917	5.901						
32	21	8	2005	0.0808	0	5360.824	0.982	329.897	0.982	66.667	4.762	1.27	0.039	3.3428	2.2461	962.188	-60.313	48.938	-64.148	102.469	0.2909	5.757						
33		21	8	2005	0.0839	0	6103.092	0.982	408.454	0	52.381	4.762	1.608	0.03	3.3633	2.2998	961.813	-59.695	49.203	-63.625	103.234	0.29	5.602					
34	FLA0805	21	8	2005	0.0867	0	6845.36	0	518.458	0	104.762	0	1.693	0.042	3.3818	2.3467	961.563	-59.141	49.438	-63.141	103.922	0.2892	5.466					

Рис.1. Исходный файл с данными, открытый в электронных таблицах.

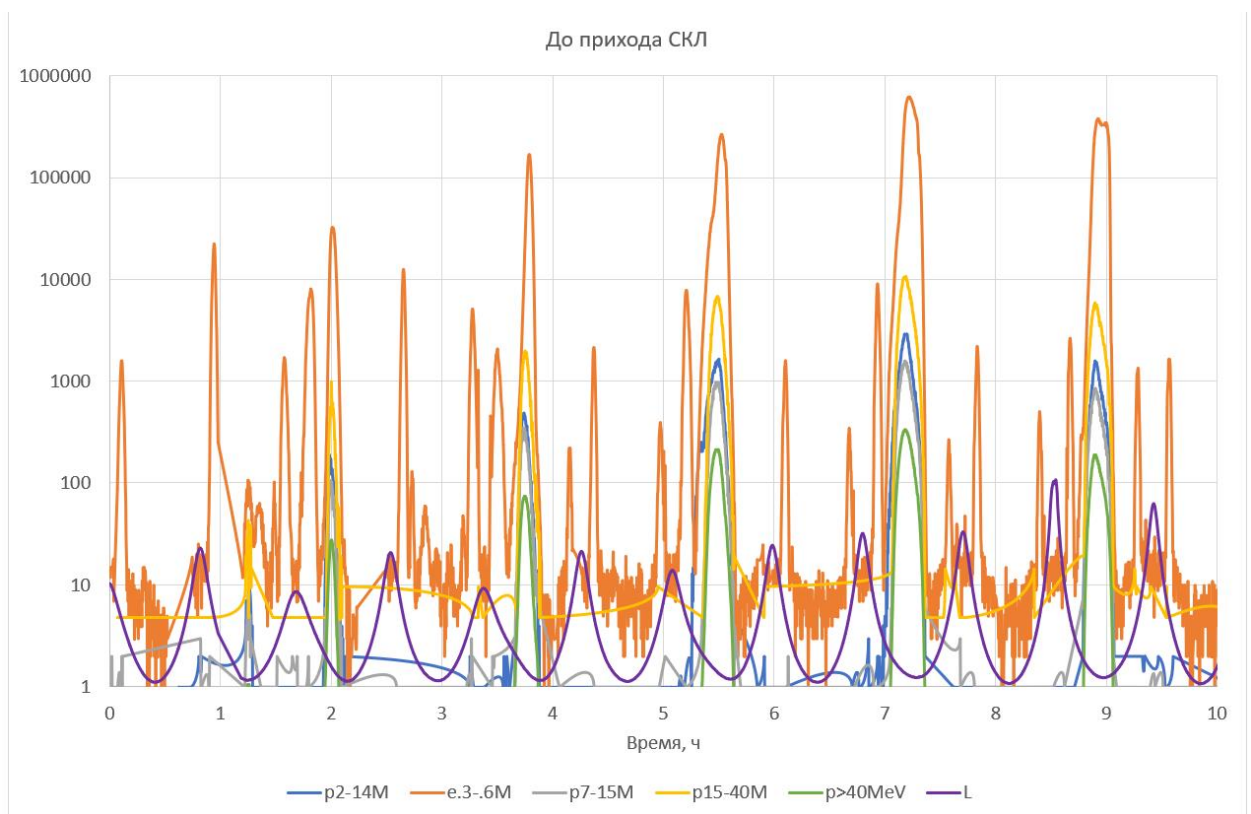


Рис.2. Показания приборов до прихода СКЛ

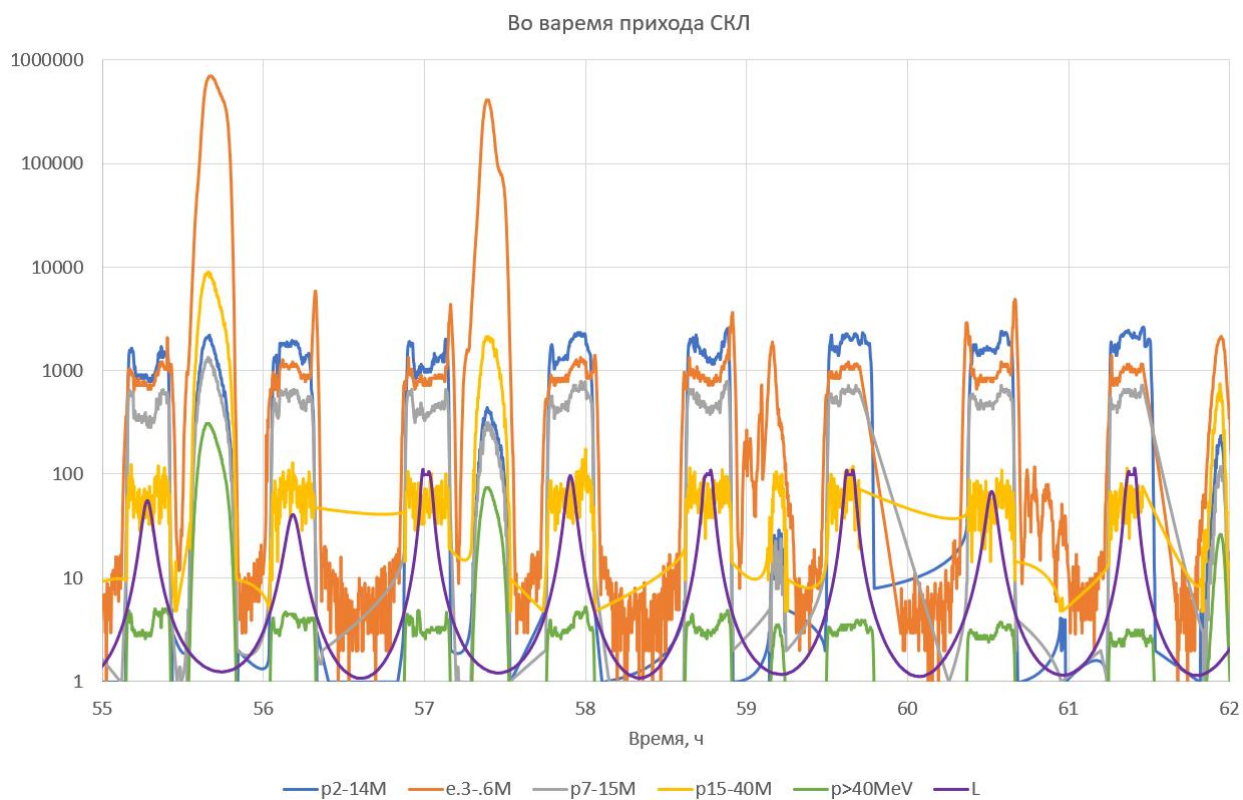


Рис.3. Показания приборов во время прихода СКЛ

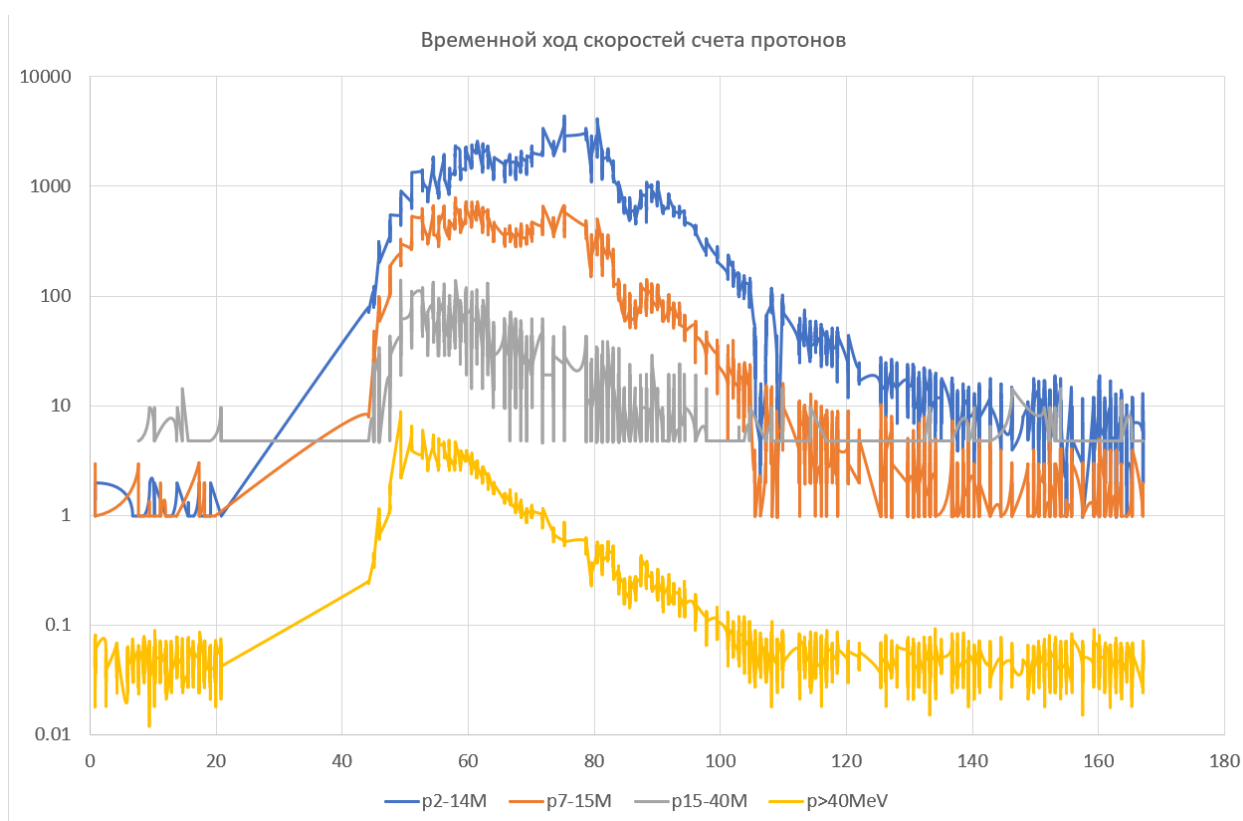


Рис. 4. Временной ход протонов СКЛ, наблюдаемых в полярных шапках.

=CPЗНАЧ(Y1648:Y5073)											
АН	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	
			e>70keV	p2-14M	e.3-.6M	p7-15M	e.6-.8M	p15-40M	e>3.5M	p>40MeV	
	Before	Среднее	35.82299	0.565825	13.7121	0.537491429	7.177486	2.653055	0.270901	0.047261	
		Ст.откл.	88.78288	0.742673	5.269448	0.726923305	6.277272	3.727271	0.03088	0.01177	
	Max	Среднее	4407.789	1615.731	917.0929	505.9910395	12.54468	59.77661	7.637331	3.281262	
		Ст.откл.	2769.757	761.2182	279.5634	145.1462535	13.35199	12.21856	1.187423	0.471215	
	Slope	Среднее	1656.034	322.317	110.386	37.17107059	3.927176	4.657694	0.443871	0.114624	
		Ст.откл.	420.8289	75.25185	41.44133	10.39201258	5.937425	4.935622	0.07177	0.028537	

Рис. 5. Фрагмент электронной таблицы с результатами вычисления средних значений и стандартных отклонений для выбранных интервалов времени.

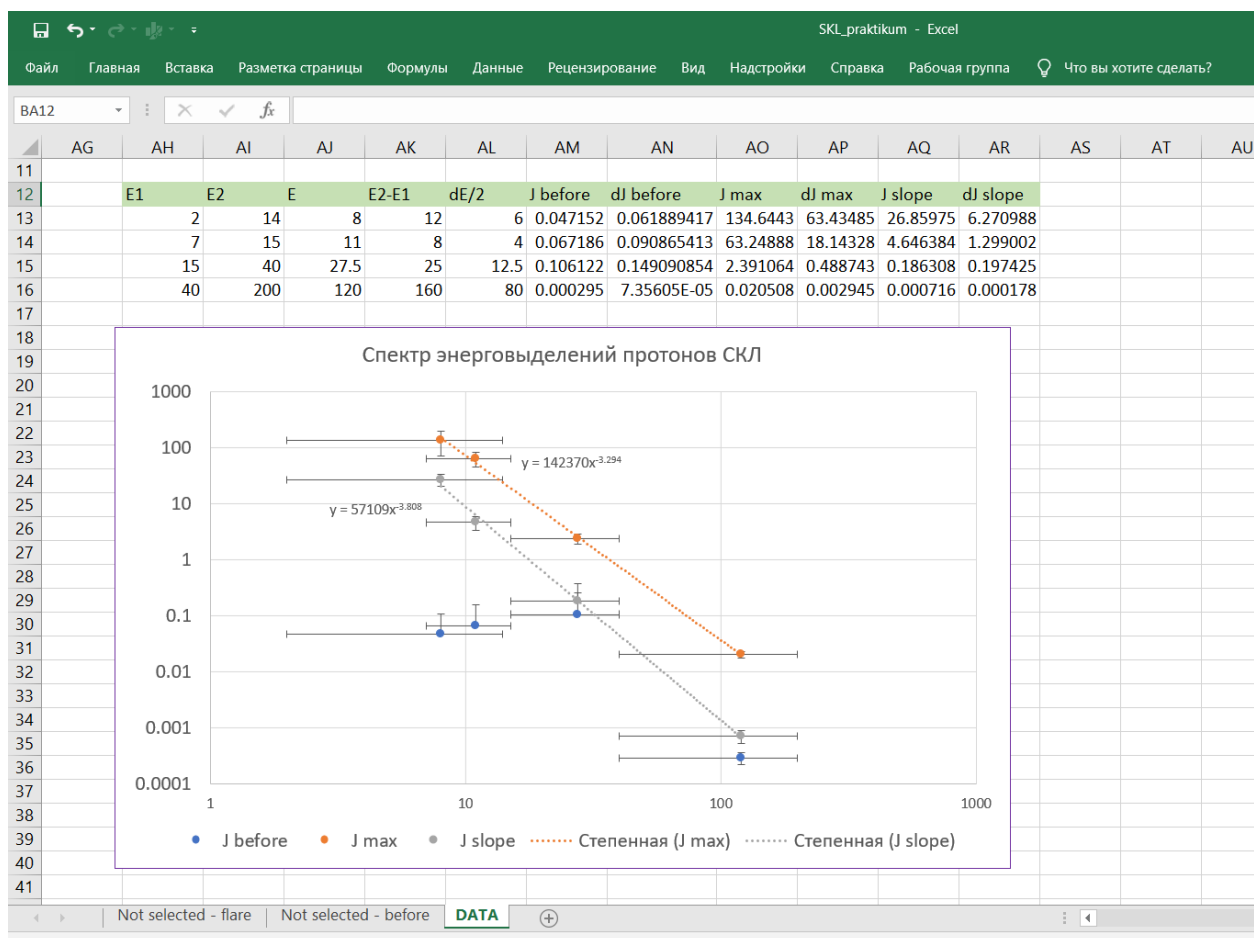


Рис.6. Итоговый график дифференциальных спектров энергосвечения протонов для выбранных интервалов времени.

Для изучения теории рекомендуется ознакомиться с материалами из пособия Космический практикум под редакцией А.С. Ковтюха (2005 год).

Список вопросов для получения допуска:

1. Расскажите о формировании и структуре магнитосферы Земли.
2. Какие три вида движения испытывают частицы в радиационных поясах Земли (РПЗ).
3. Оцените характерное время движения частиц РПЗ (периоды).
4. Каким образом частицы оказываются захваченными РПЗ.
5. Какие механизмы потерь частиц РПЗ существуют, что такое питч-угол и конус потерь?
6. Что такое L-оболочки? Опишите радиальный профиль потоков частиц РПЗ.
7. Опишите параметры орбиты КА «Университетский -Татьяна».
8. Что такое солнечные космические лучи?
9. Чему равняется характерное время распространения СКЛ от Солнца до орбиты Земли? Предположите, от каких факторов может зависеть это время?
10. Почему изучение и прогнозирование прихода СКЛ в околоземное космическое пространство является важной задачей космической погоды?