

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
MILT	Магнитное локальное время
ALT	Высота
LAT	Широта
LON	Долгота
mLat	Магнитная широта
mLON	Магнитная долгота
B	Геомагнитная 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 $J = J_0 * E^{-\gamma}$. Указать на графике показатели спектра для этих случаев.

Пример итогового графика показан на рис.6.

A33		SKL_praktikum - Excel																								
Time	Complete output	0:00:00 -		0:00:00 ;		Average time:		1 sec;		Sort=(InterFiles=6		O	P	Q	R	S	T	U	V	W						
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					
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					
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					
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					
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					
21	8	2005	0.0139	0	13.746	0	7.855	0.982	4.762	0.212	0.039	2.543	0.2998	968.75	-73.398	37.938	-73.773	74.344	0.3108	9.733						
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					
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					
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	-71.777	40.391	-72.836	79.766	0.3082	9.252					
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					
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	8.89					
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					
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					
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					
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					
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					
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	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					
21	8	2005	0.0519	0	845.361	0	17.673	0	19.048	4.762	0.286	0.045	3.1006	1.612	965.125	-66.07	45.734	-68.878	93.453	0.2994	7.429					
21	8	2005	0.0547	0	7587.628	0	0	0	0	0	0.275	0.036	3.1289	1.8648	964.875	-64.523	46.125	-68.453	94.5	0.2986	7.257					
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					
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					
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					
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					
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					
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	1	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	1	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	1	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	1	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	1	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.

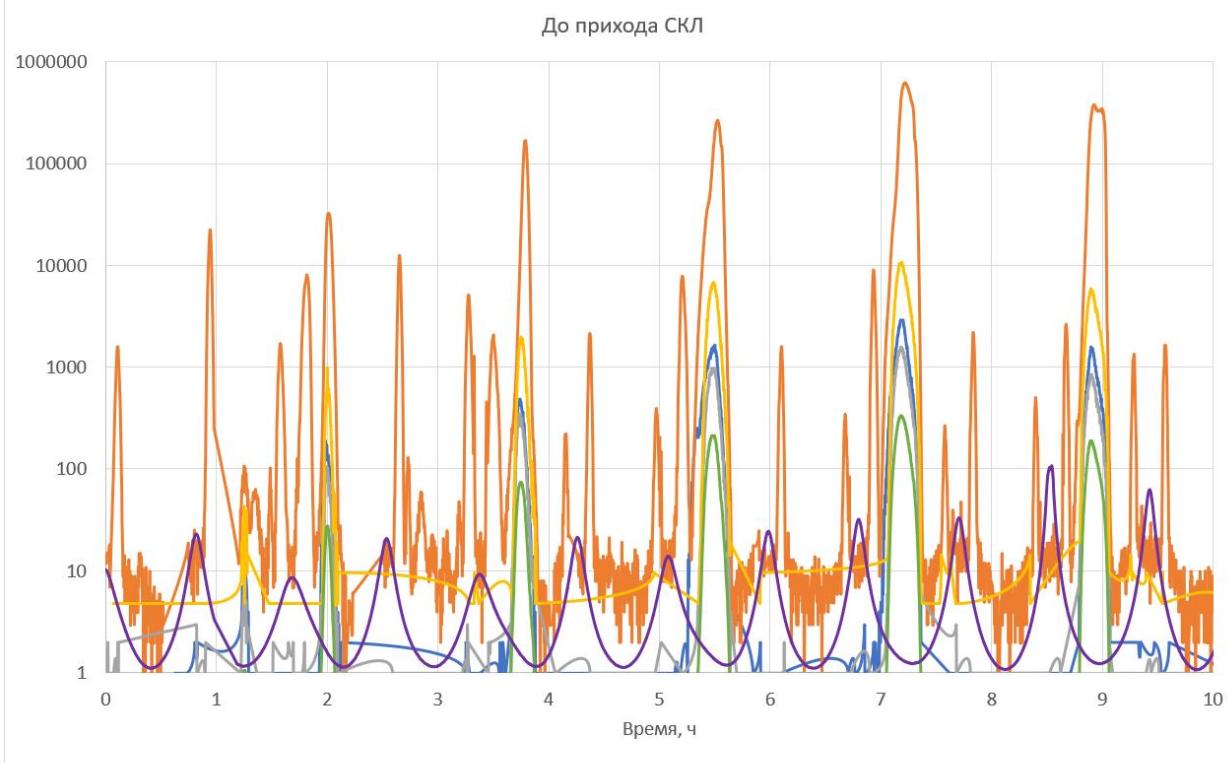


Рис.2. Показания приборов до прихода СКЛ

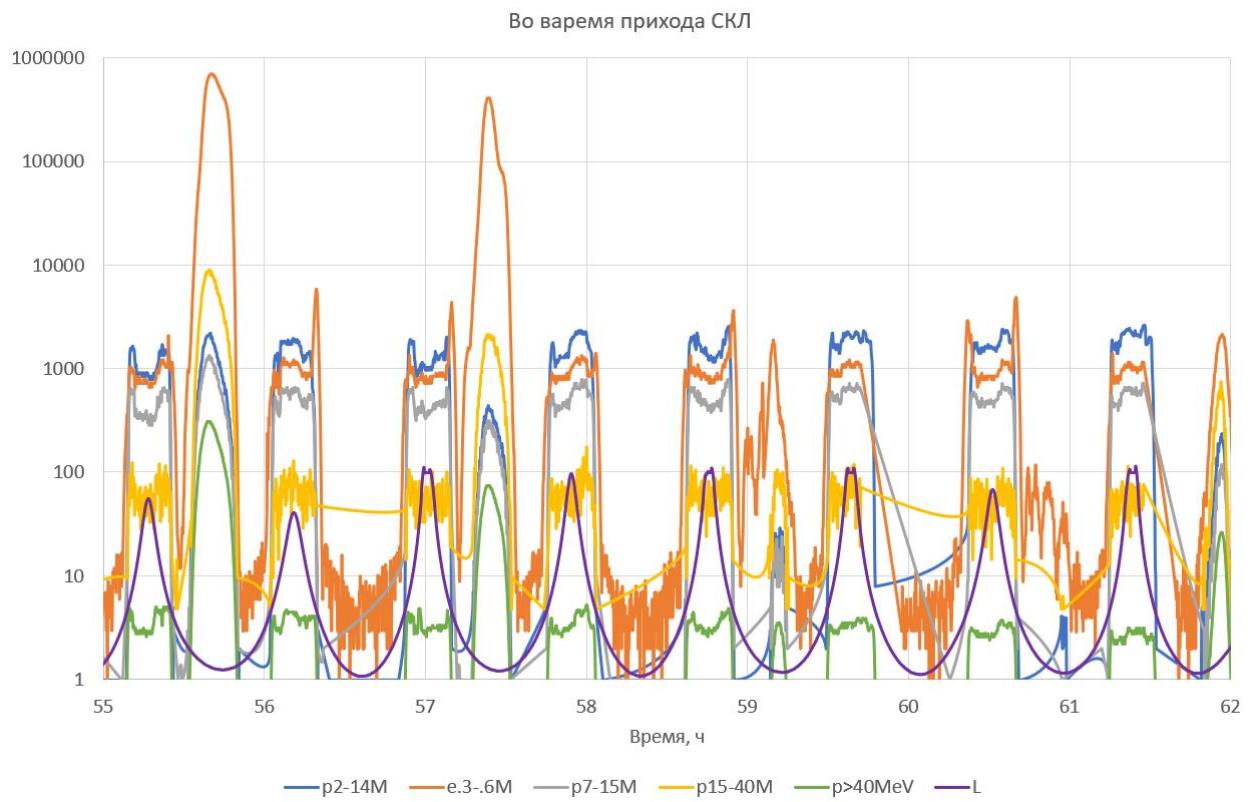


Рис.3. Показания приборов во время прихода СКЛ

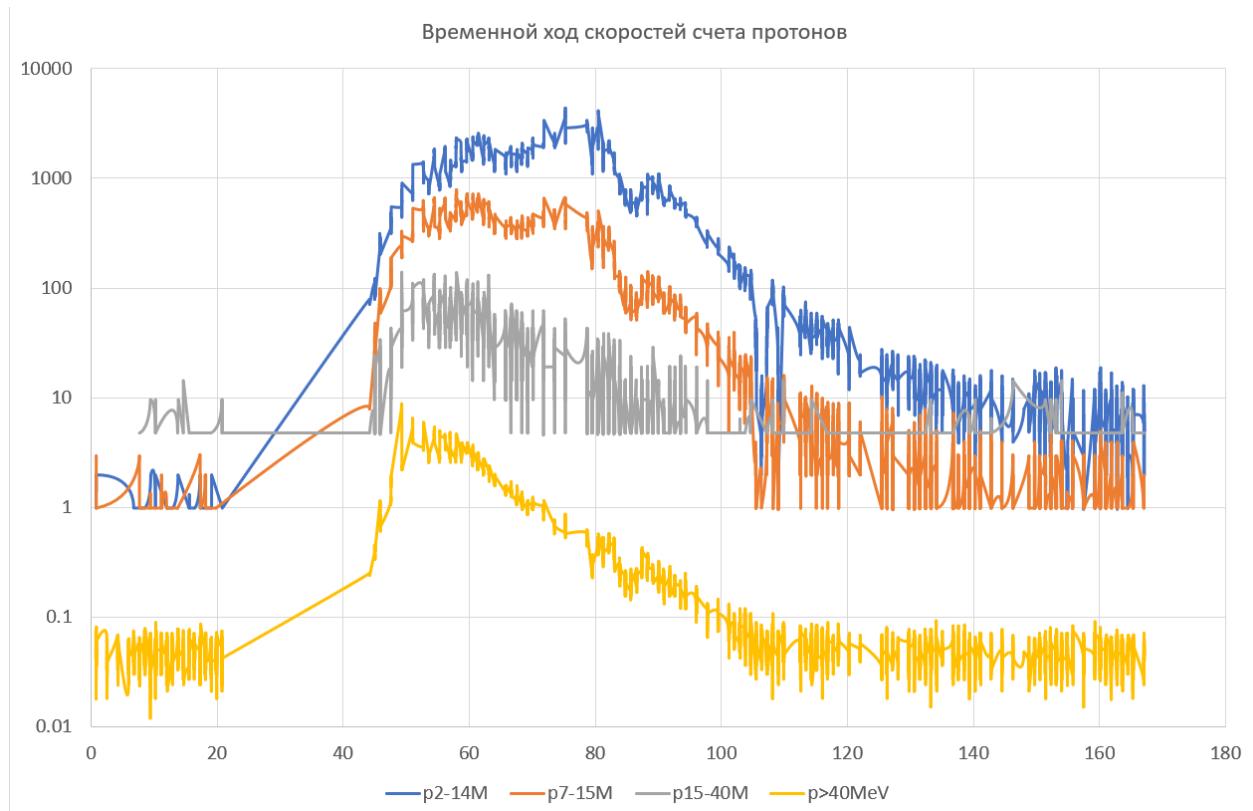


Рис. 4. Временной ход протонов СКЛ, наблюдавшихся в полярных шапках.

✓ fx =СРЗНАЧ(Y1648:Y5073)

AH	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.

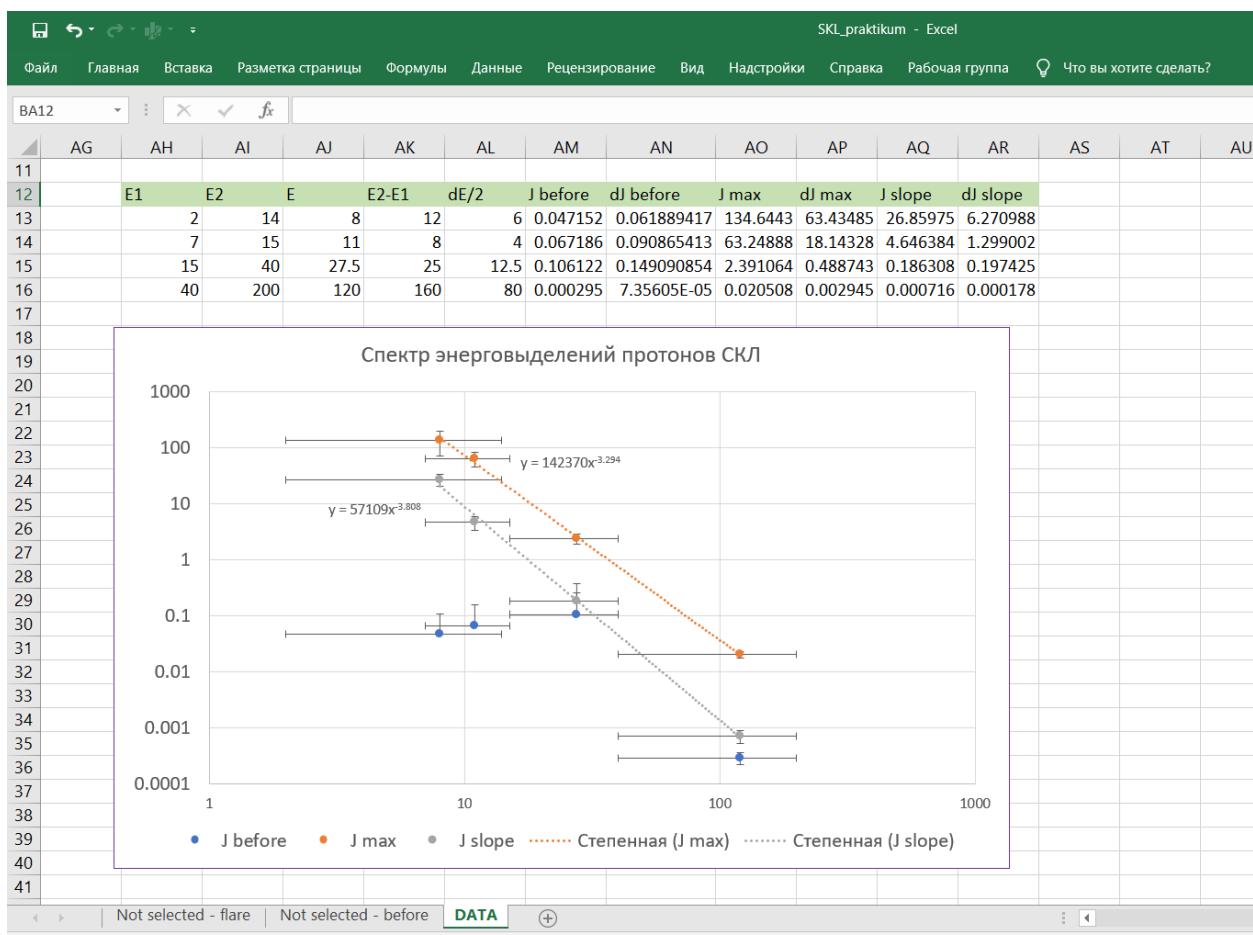


Рис.6. Итоговый график дифференциальных спектров энерговыделений протонов для выбранных интервалов времени.

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?