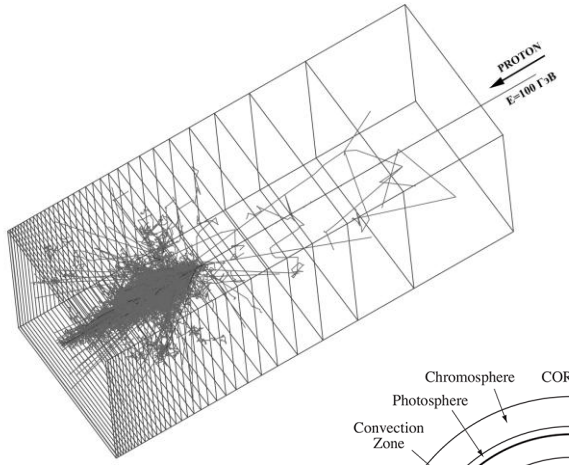
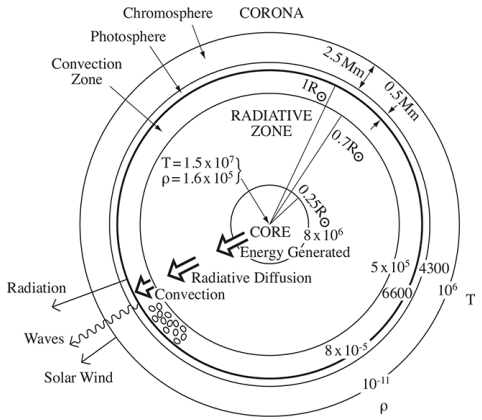
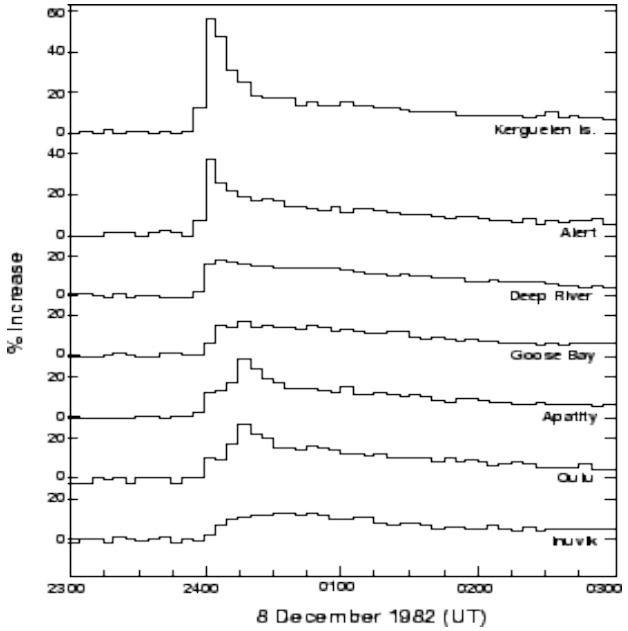
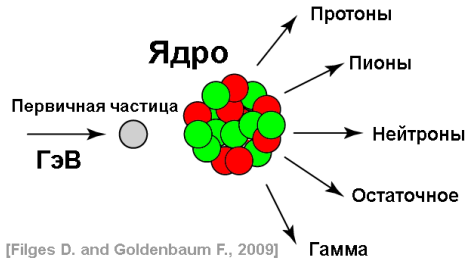
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С АТМОСФЕРОЙ ЗЕМЛИ ВО ВРЕМЯ СОБЫТИЙ GLE

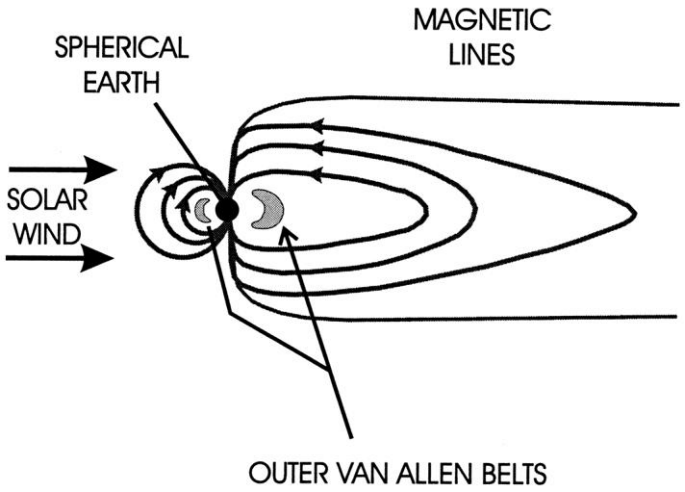
Маурчев Е.А., Германенко А.В., Балабин Ю.В., Гвоздевский Б.Б.







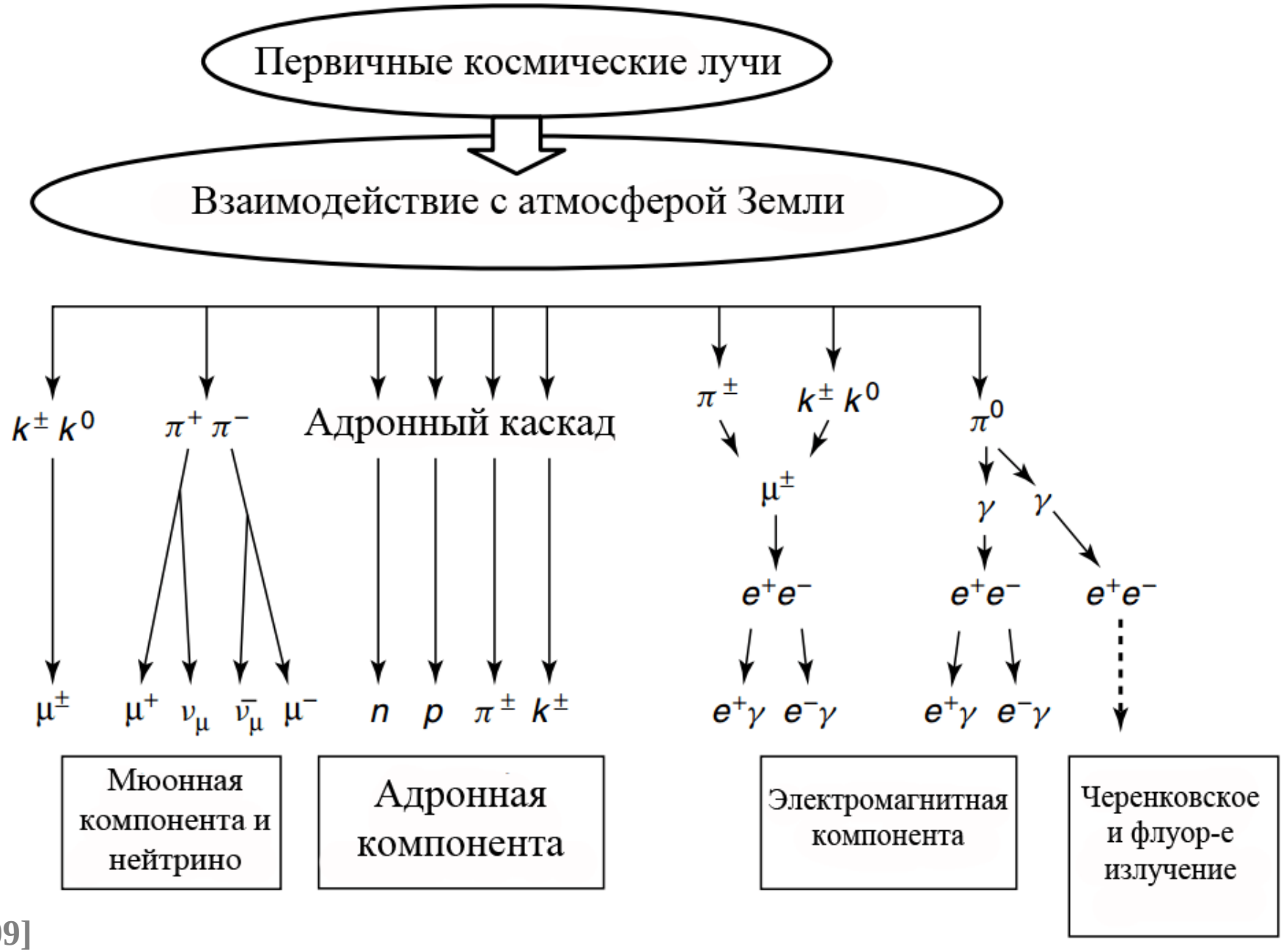




«Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2023»)
г. Москва, г. Троицк

1. КАСКАДЫ.

- **PLANETOCOSMICS**
- CORSIKA
- MCNP



[Filges D. and Goldenbaum F., 2009]

2. RUSCOSMICS. ОПИСАНИЕ.

GEANT4 11.0 (latest), constantly updated

DATA_SETS (SHORT LIST)

- Neutron data files (with thermal CS) [**G4NDL4.6**]
- Low energy electromagnetic processes [**G4EMLOW8.0**]
- Photon evaporation [**G4PhotonEvaporation5.7**]
- Radioactive decay [**G4RadioactiveDecay5.6**]
- Evaluated cross-sections [**G4SAIDDATA2.0**]
- Evaluated particle cross-sections on natural composition of elements [**G4PARTICLEXS4.0**]
- Nuclear shell effects in INCL/ABLA hadronic mode [**G4ABLA3.1**]
- Proton and neutron density profiles in INCL [**G4INCL1.0**]
- Shell ionization cross-sections [**G4PII1.3**]
- Nuclides properties [**G4ENSDFSTATE2.3**]
  [https://geant4.web.cern.ch/support/data_files_citations]

INTERACTION MODELS (MAIN LIST)

- The quark-gluon string Parton model (for hadrons E > 10 GeV) [Amelin et al., 2001]
- The Bertini cascades (for hadrons E < 10 GeV) [Heikkinen et al., 2003]
- The low-energy neutron interactions model (E < 20 MeV) [Garny et al., 2009]

OWN_MODULES

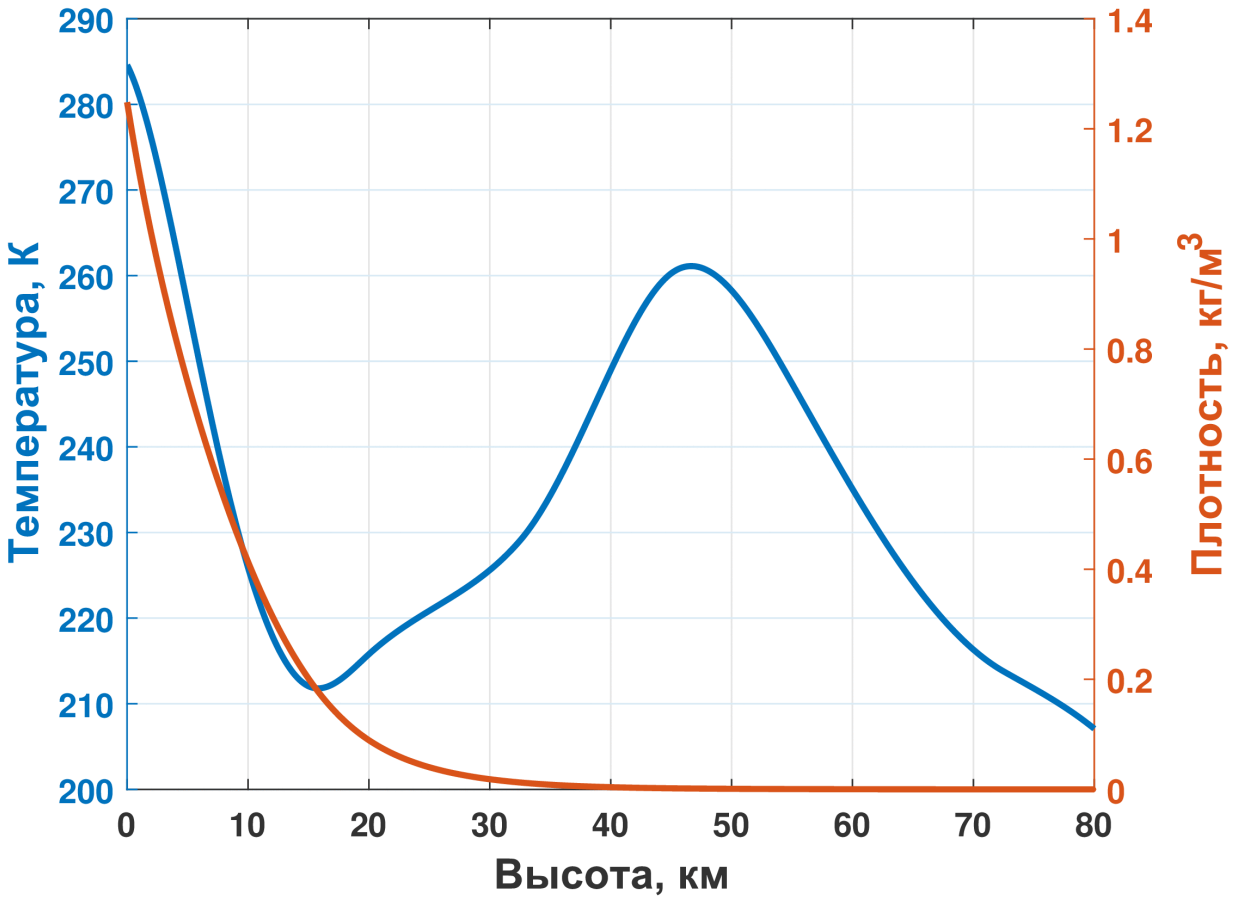
- Primary particle generators
- Geometry
- Angle distribution detector
- Energy-binned scorer
- Ionization yield function scorer
- Particle flux scorer

[https://geant4.web.cern.ch/]

3. RUSCOSMICS. NRLMSISE-00.

H, km	T, K	ρ, kg/m³	He, %	O, %	N, %	Ar, %
0,00	263,17	1,31	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
0,10	262,89	1,30	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
0,20	262,59	1,28	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
0,30	262,27	1,27	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
0,40	261,94	1,25	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
0,50	261,59	1,24	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
0,60	261,22	1,22	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
0,70	260,84	1,21	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
0,80	260,45	1,20	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
0,90	260,04	1,18	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
1,00	259,62	1,17	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
1,10	259,18	1,16	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
1,20	258,74	1,14	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
1,30	258,28	1,13	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
1,40	257,81	1,12	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
1,50	257,33	1,10	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
1,60	256,83	1,09	5,24E-04	2,10E+01	7,81E+01	9,34E-01
...	...	...	...	...	...	...

Пример части выходного файла модели NRLMSISE-00, включающего плотность, температуру и процентное содержание элементов



Графическое представление распределения температуры и плотности

4. RUSCOSMICS. СПЕКТРЫ ПЕРВИЧНЫХ ЧАСТИЦ.

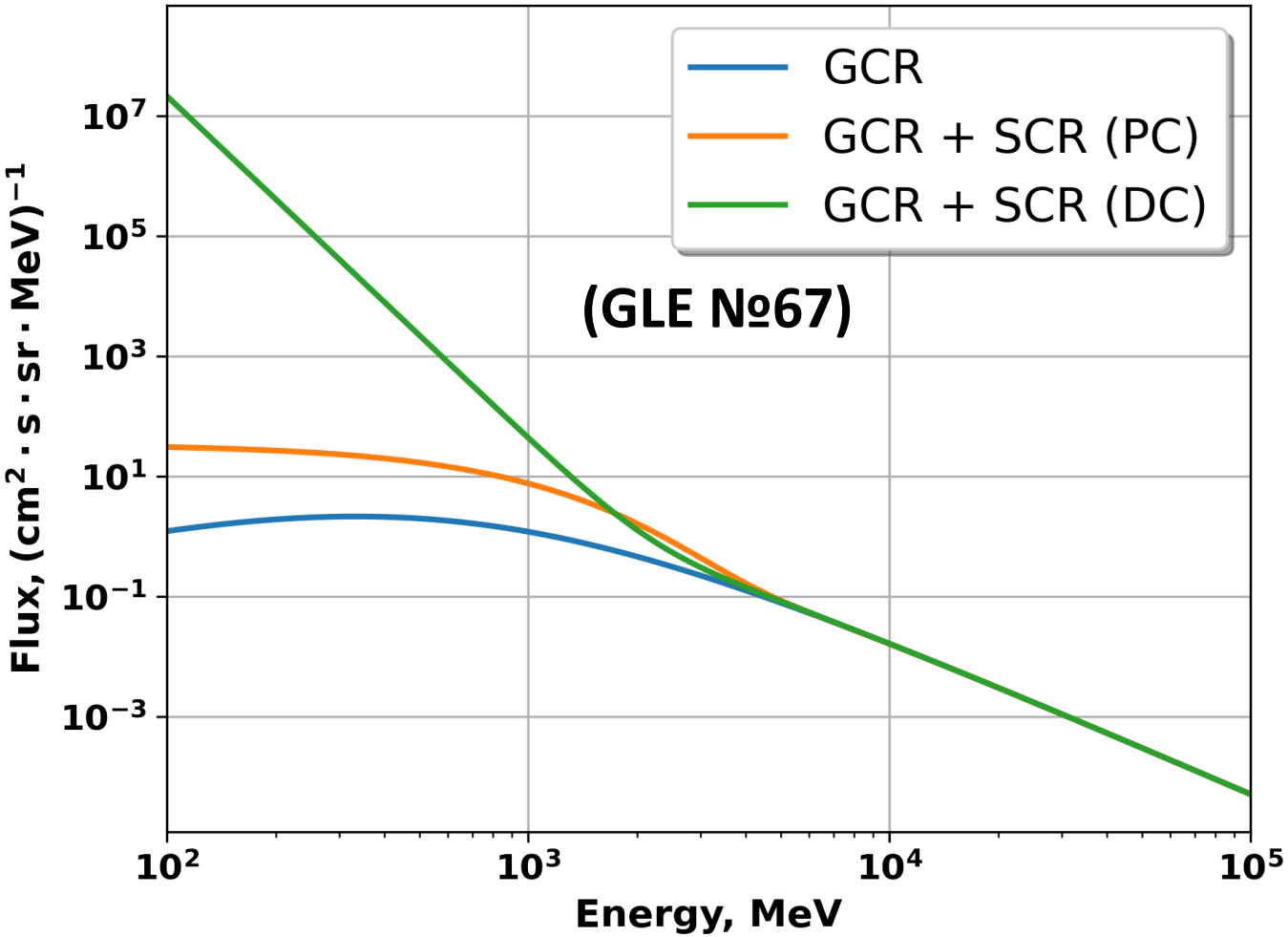
Солнечные космические лучи

$$J_{PC} = J_0 exp\,(-E/E_0)$$

$$J_{DC} = J_1 E^{-\gamma}$$

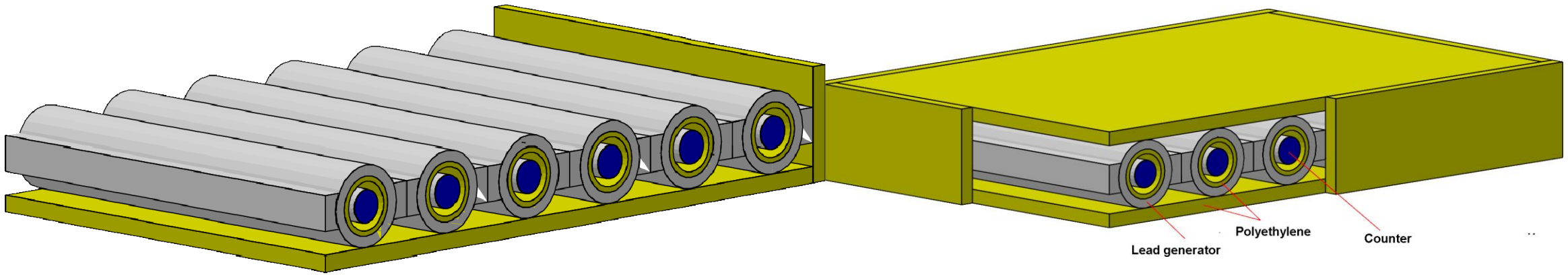
Где J_0, E_0, J_1, γ – коэффициенты, отличающиеся в зависимости от номера события GLE.

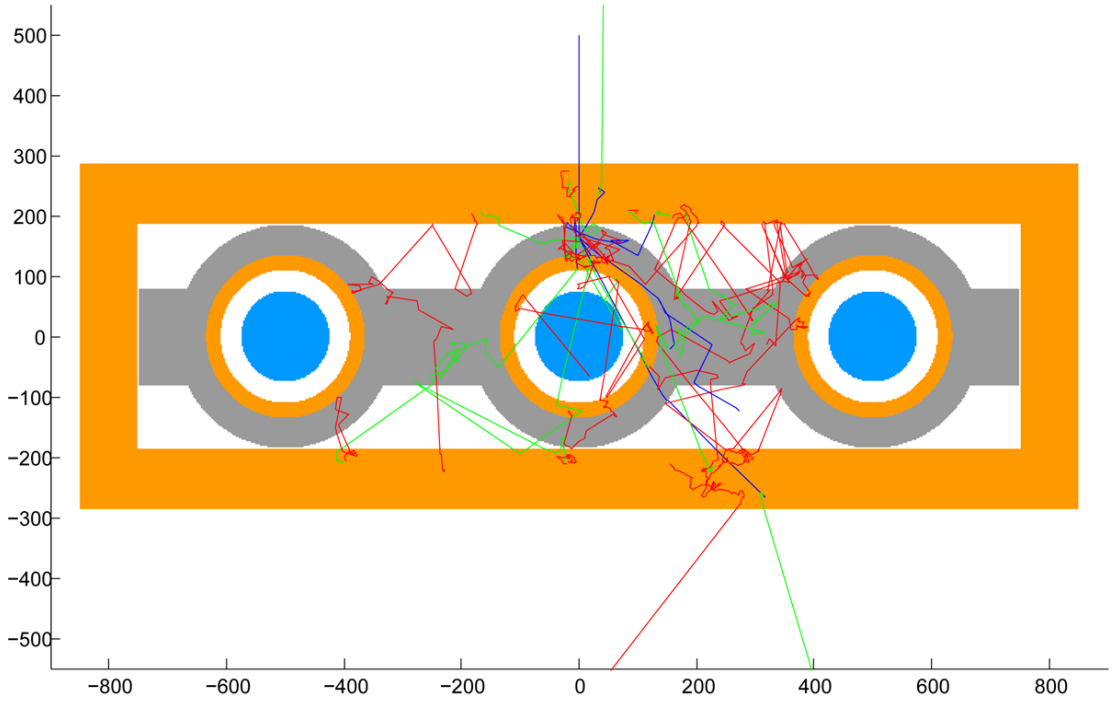
[**Vashenyuk E. V. et al., 2008; Vashenyuk E. V. et al., 2011**]

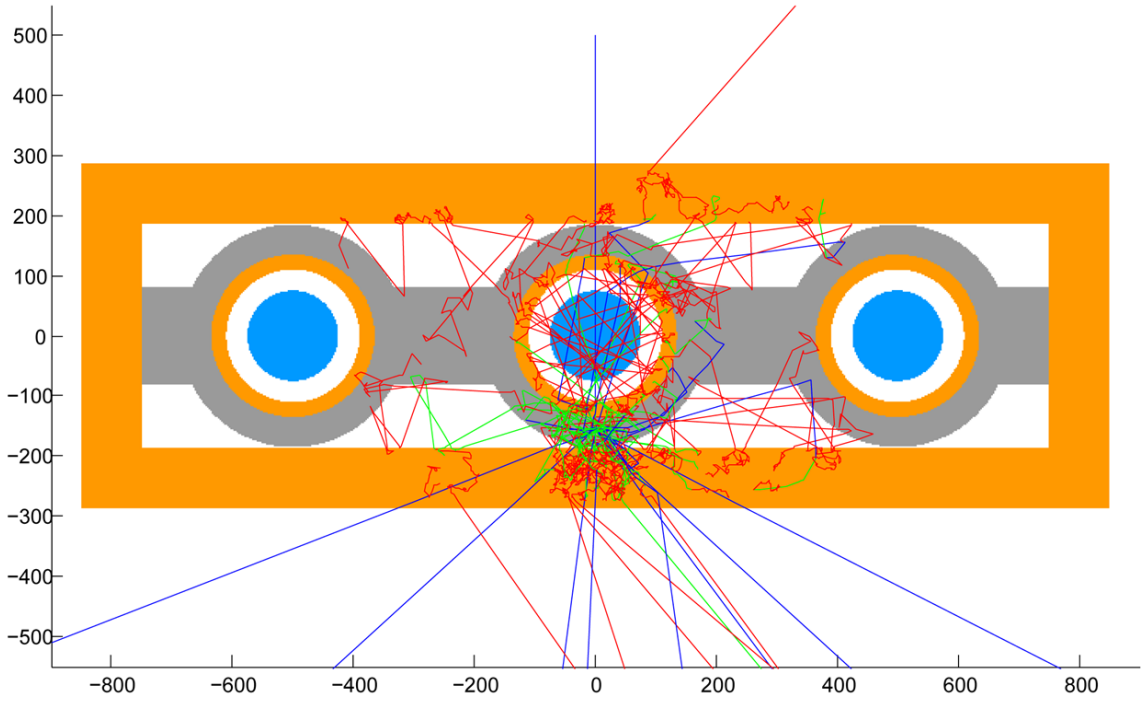


5. СТАНДАРТНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ МОНИТОР

[Maurchev, GEANT4 models]

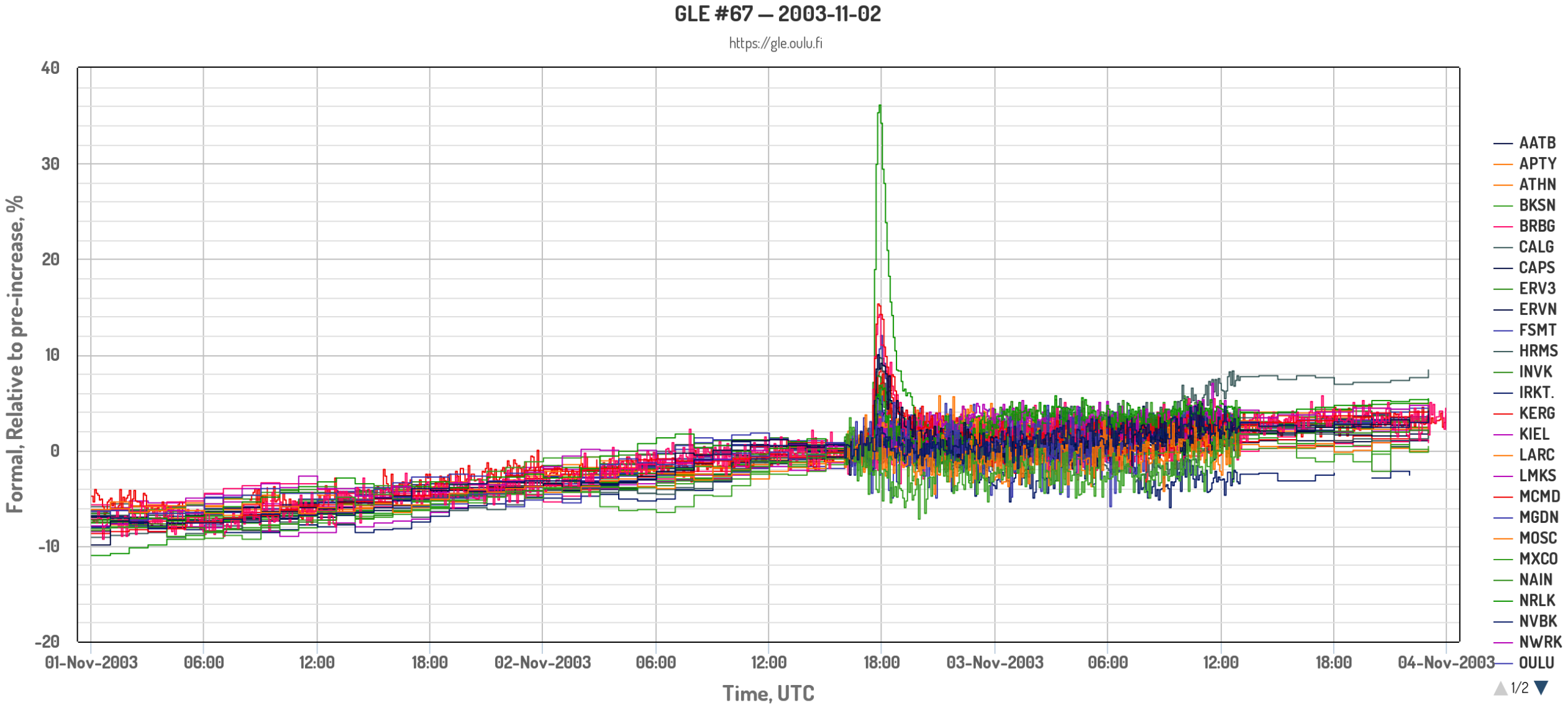






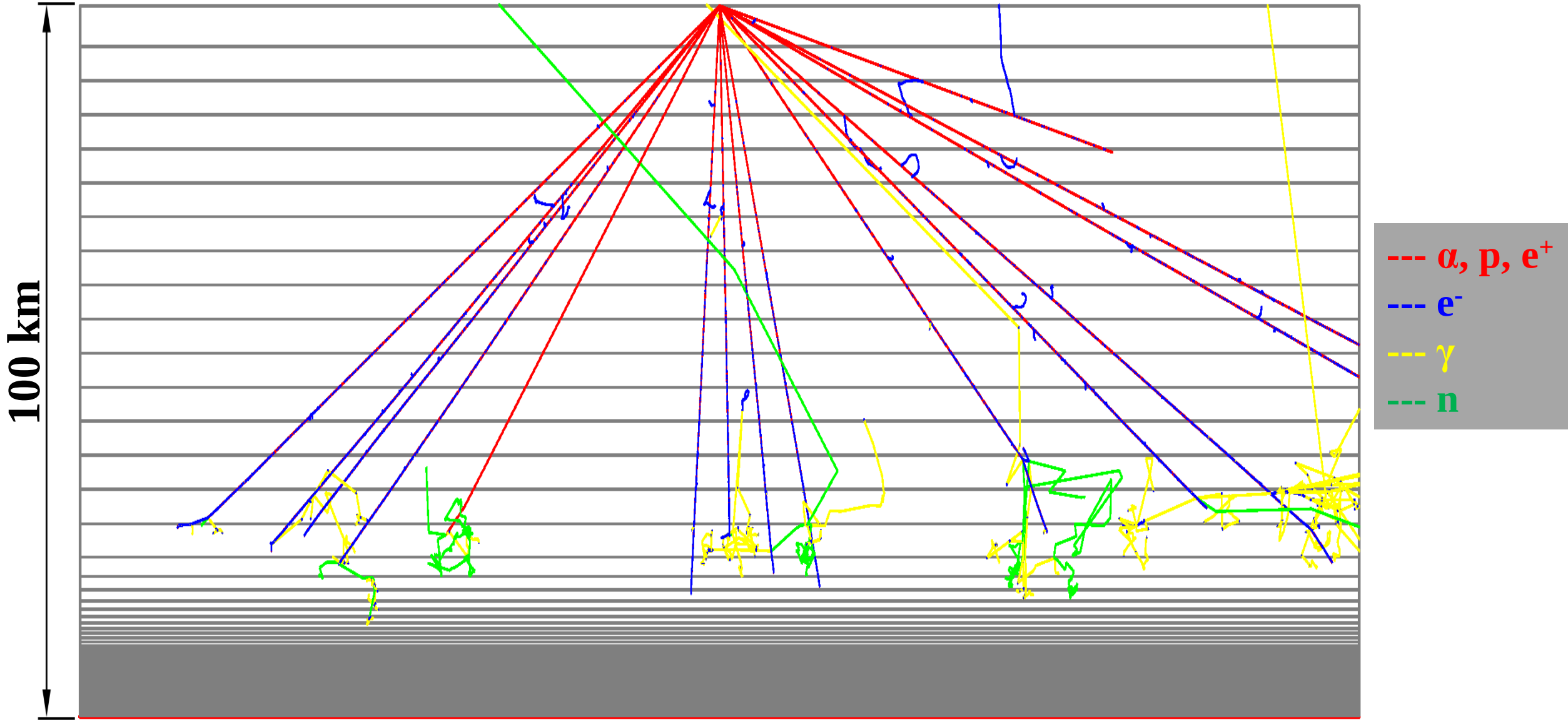
6. GLE. НАБЛЮДЕНИЯ

[https://gle.oulu.fi]



7. RUSCOSMICS. ТРЭКИНГ.

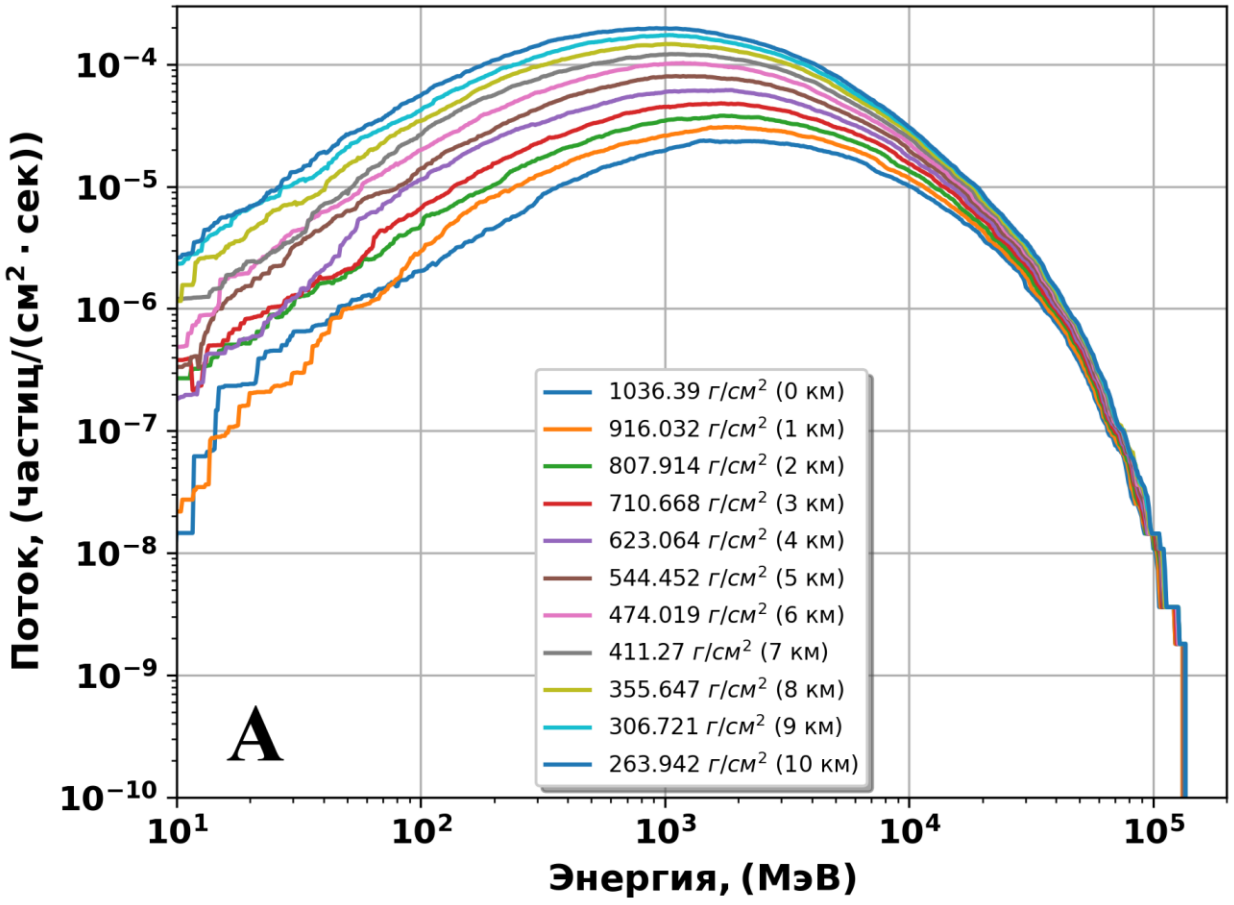
ПЕРВИЧНЫЙ ПРОТОН (400 МЭВ)

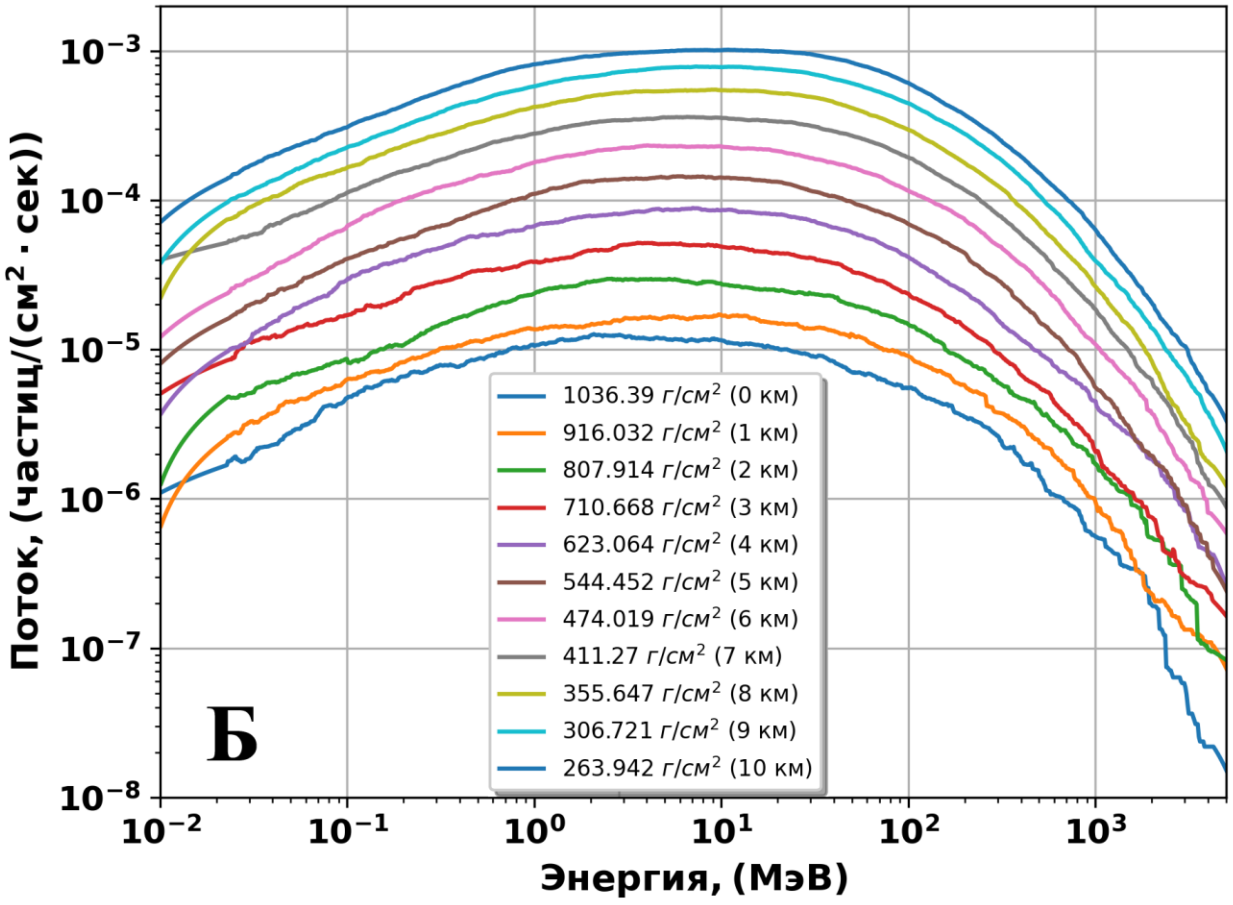


8. RUSCOSMICS. ТРЭКИНГ.

ПЕРВИЧНЫЙ ПРОТОН (10 ГЭВ)

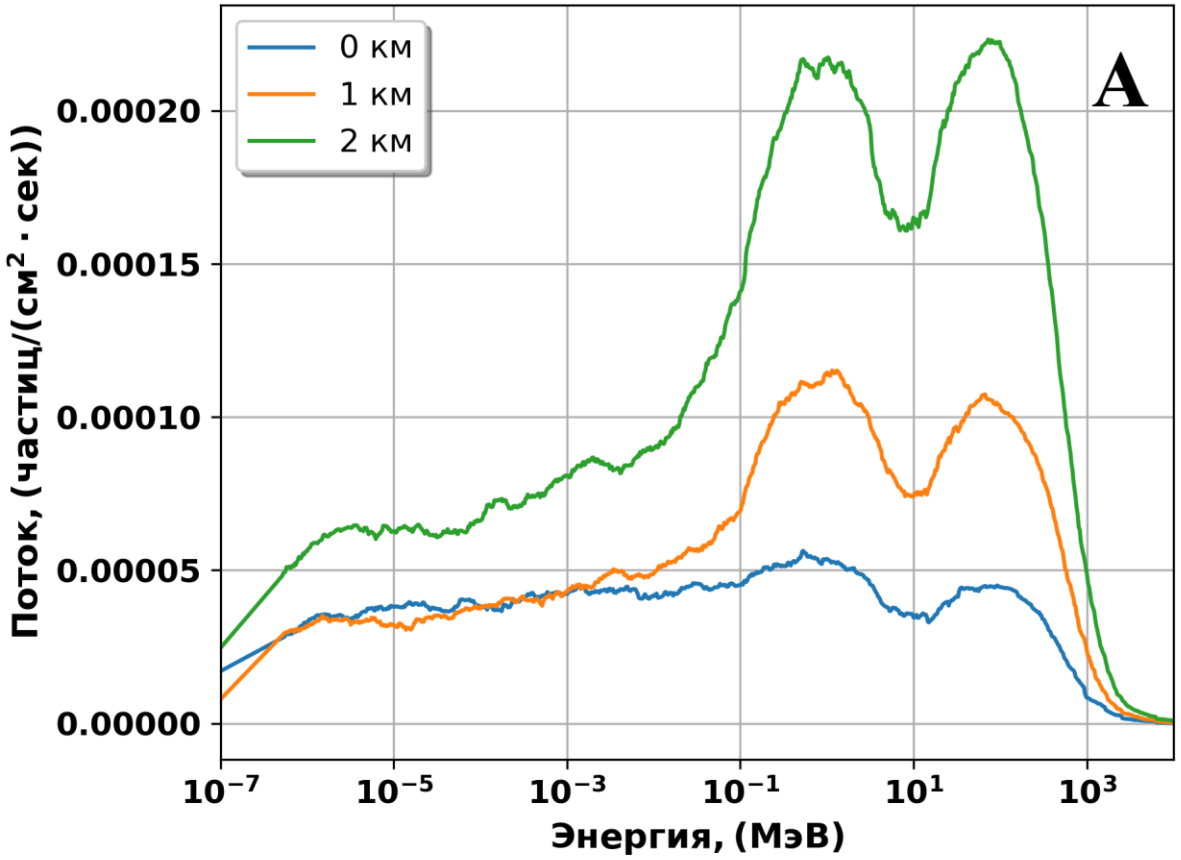
9. RUSCOSMICS. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

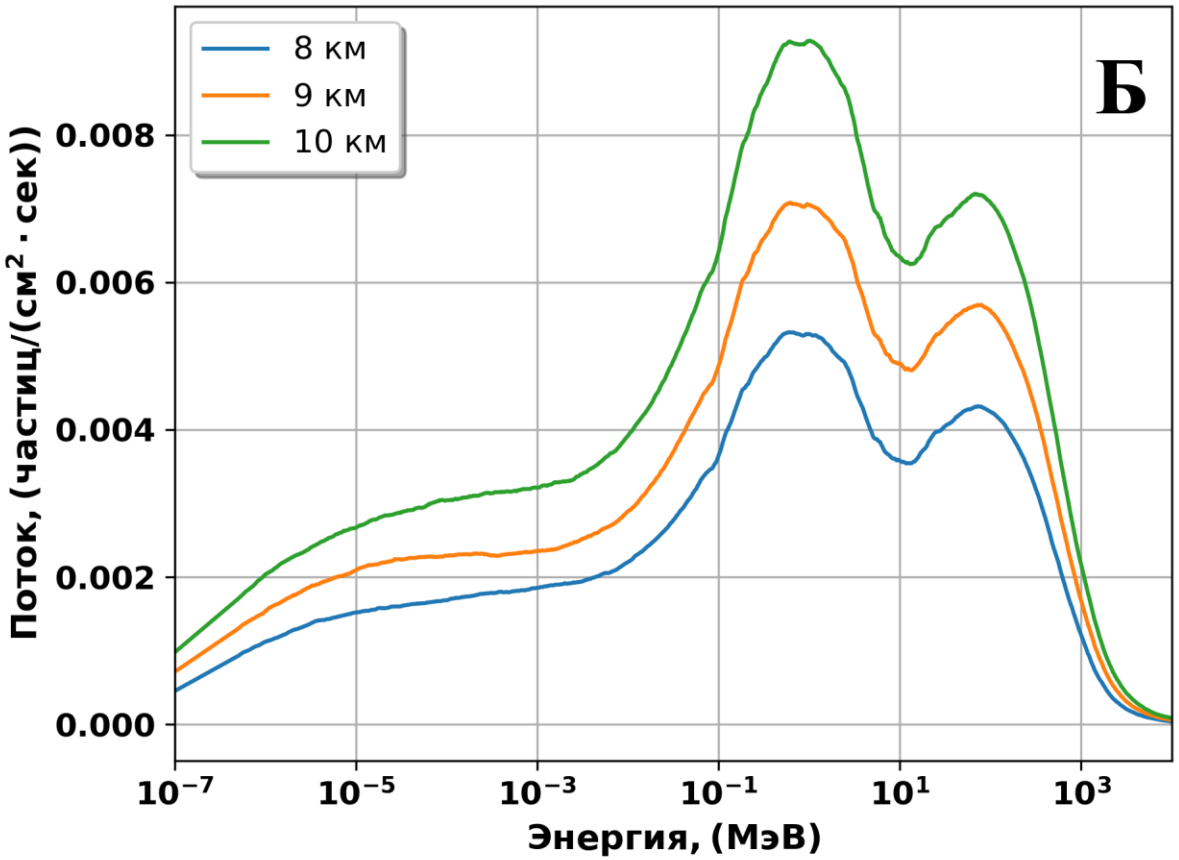




Энергетические спектры вторичных мюонов (А) и электронов (Б) на разных глубинах (высотах), полученные в результате моделирования прохождения протонов с энергетическими характеристиками, соответствующими спектру ГКЛ, через атмосферу Земли.

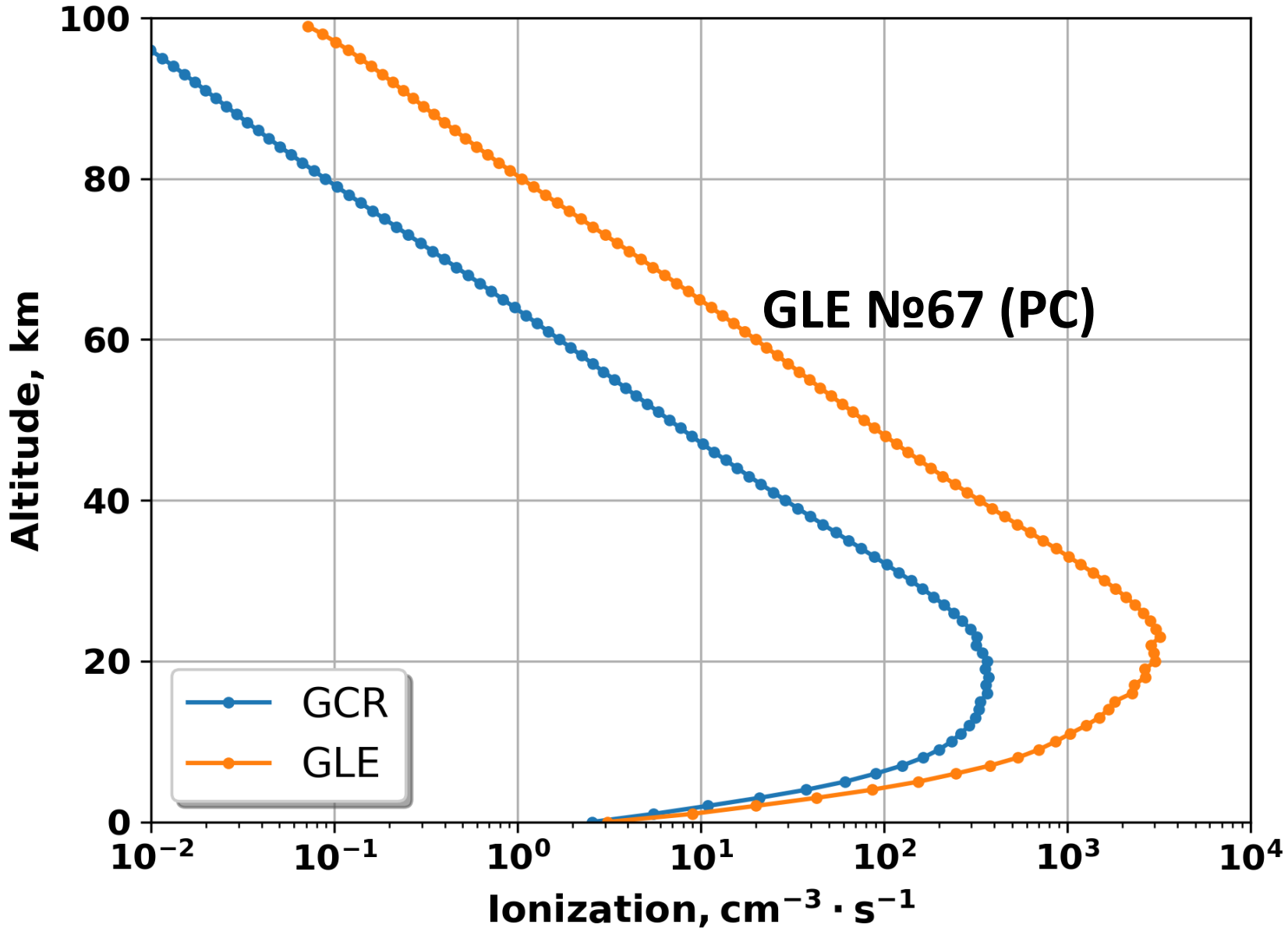
10. RUSCOSMICS. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ



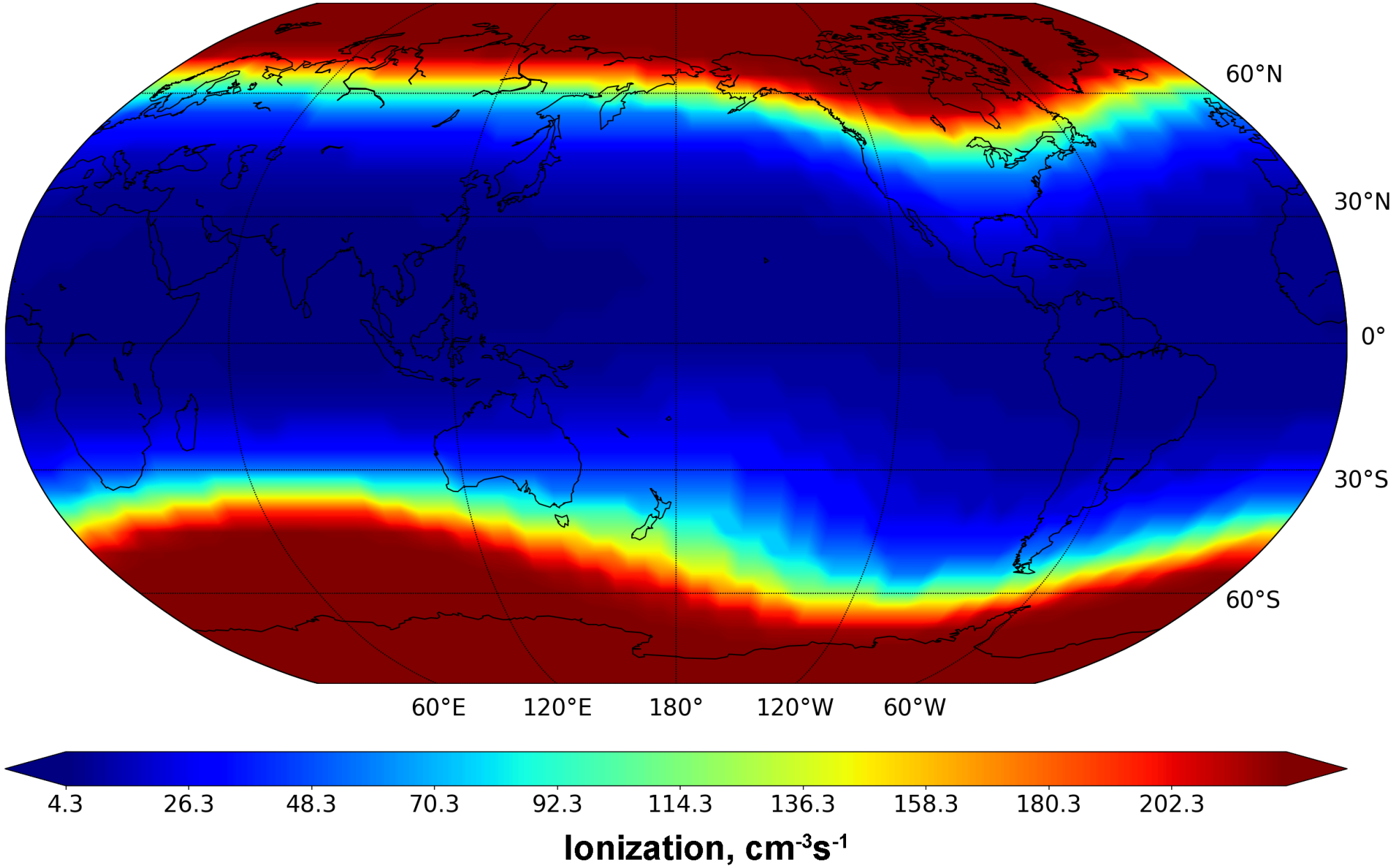


Энергетические спектры вторичных нейтронов на высотах от 0 км до 2 км (А) и на высотах от 8 км до 10 км (Б), полученные в результате моделирования прохождения протонов с энергетическими характеристиками, соответствующими спектру ГКЛ, через атмосферу Земли.

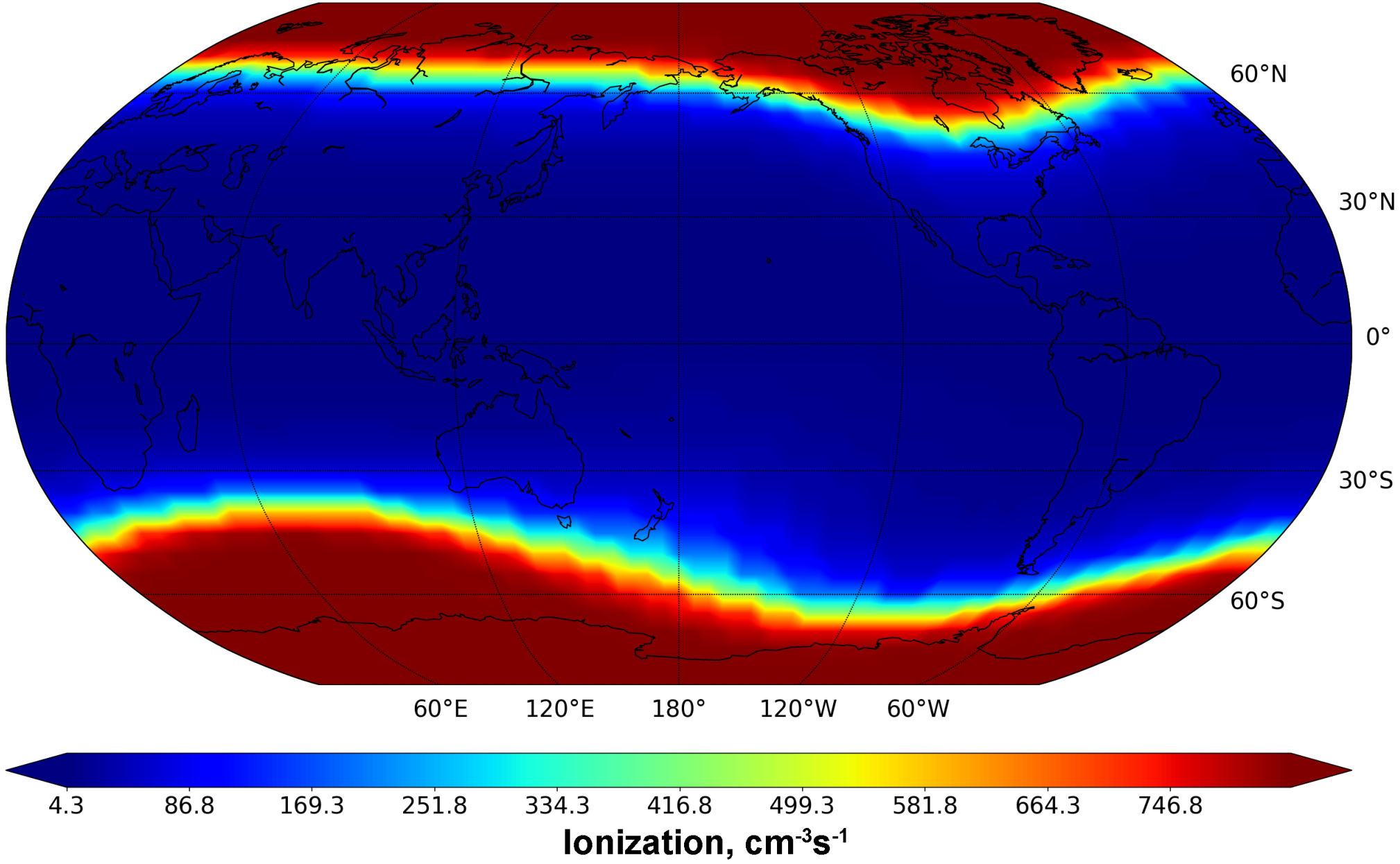
11. ПРИМЕР РАСЧЕТОВ



12. ГЛОБАЛЬНАЯ КАРТА (ГКЛ). 10 КМ.



13. ГЛОБАЛЬНАЯ КАРТА (СКЛ, GLE №67). 10 КМ.



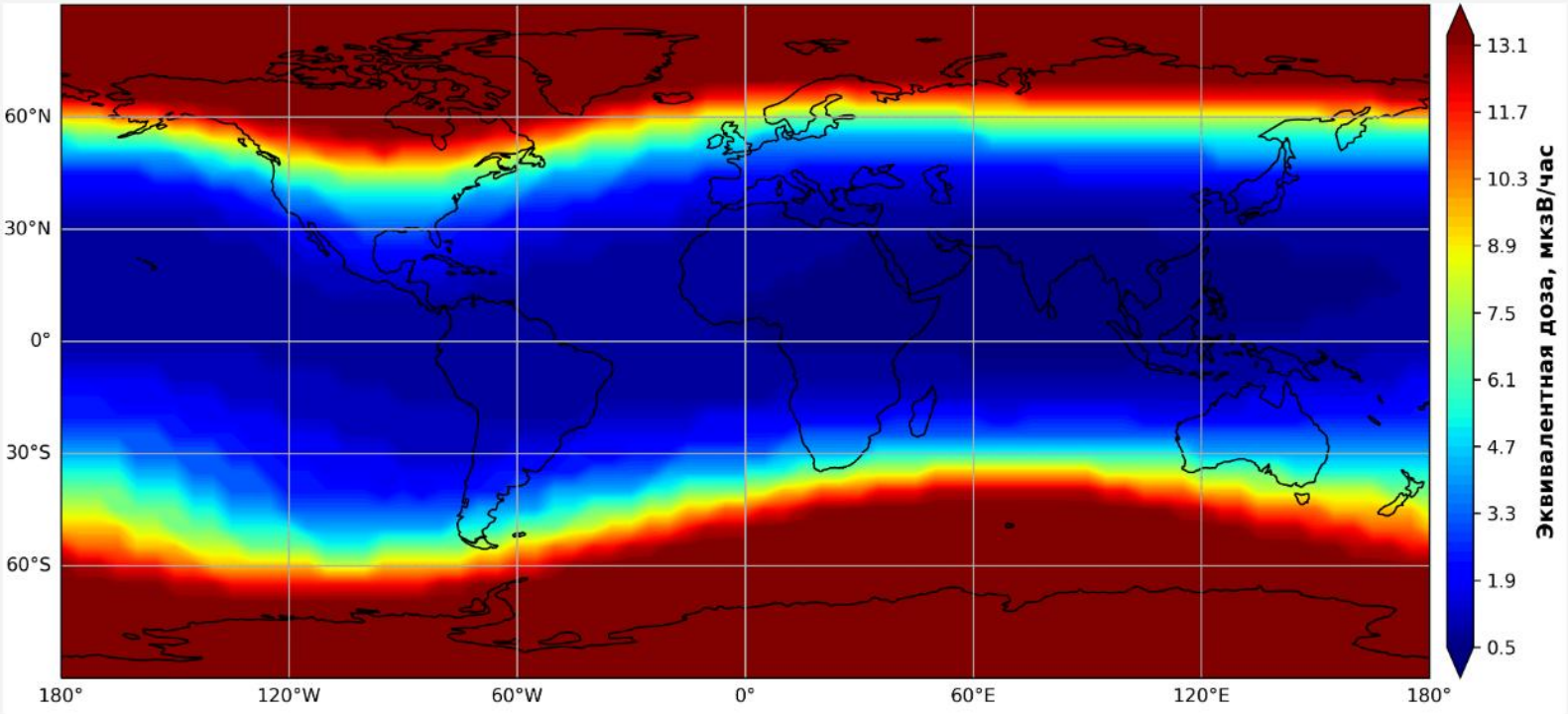
Маурчев Е.А. и др., **Оценка эквивалентной дозы излучения на разных высотах атмосферы Земли** // Солнечно-земная физика. 2022. -Т. 8. -№ 3. -С. 29-34.

Не защищено | ruscosmics.ru

Проект RUSCOSMICS©

Нейтронный монитор | УНС | Детектор NaI(Tl) | Космические лучи | Измерения | Файлы

КАРТА ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ. ВЫБЕРИТЕ ВЫСОТУ НАД УРОВНЕМ МОРЯ: 10 km ВЫБРАТЬ



Карта расчетов эквивалентной дозы излучения, получаемая в режиме реального времени при помощи модели прохождения космических лучей через атмосферу Земли и данных первичного спектра протонов (аппарат GOES). Обновление данных на сервере происходит каждые 5 минут. Выбор необходимой высоты осуществляется в ниспадающем меню, расположенном над изображением, после чего нужно нажать кнопку "ВЫБРАТЬ". Будет отрисована карта, актуальная на текущее время. Если после этого оставить страницу открытой, то обновление значений будет происходить автоматически каждую минуту.

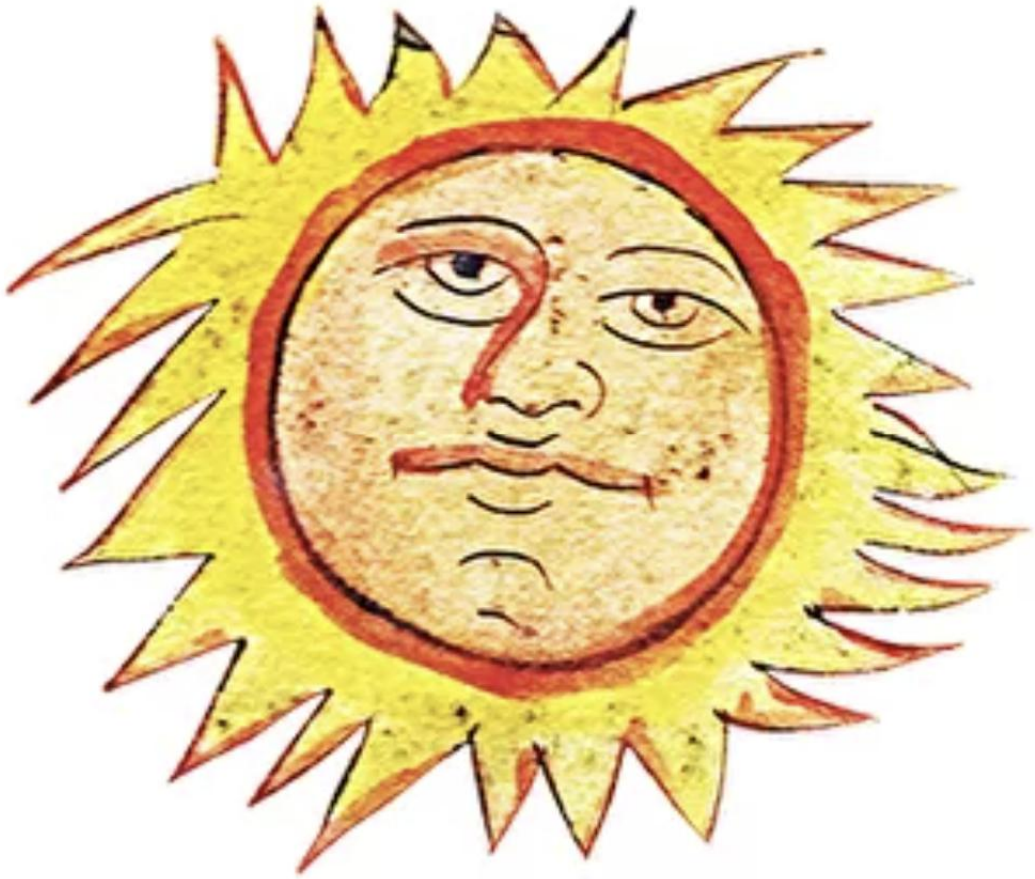
Работа выполнена при поддержке РНФ (грант №18-77-10018)

2013 - 2023 г. © **Маурчев Евгений**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- **Создан инструмент, позволяющий оценивать эквивалентную дозу излучения в режиме реального времени (спектр протонов по данным GOES) (+)**

https://ruscosmics.ru

- **Есть потребность в данных о спектре первичных протонов в режиме реального времени в замену текущему варианту (-)**
- **Создание БД расчетов для известных событий GLE (-)**
- **Возможно использование в прогнозировании эквивалентной дозы излучения при наличии модели предсказания спектра первичных космических лучей (-)**
- **Очень возможно использование в режиме near-real time модели с использованием алертной системы и программы, рассчитывающей спектр первичных протонов (-)**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!