Об основных результатах эксперимента Регулярного Баллонного Мониторинга КЛ, относящихся к модуляции ГКЛ

Крайнев М.Б., Базилевская Г.А., Махмутов В.С., Свиржевская А.К., Свиржевский Н.С.

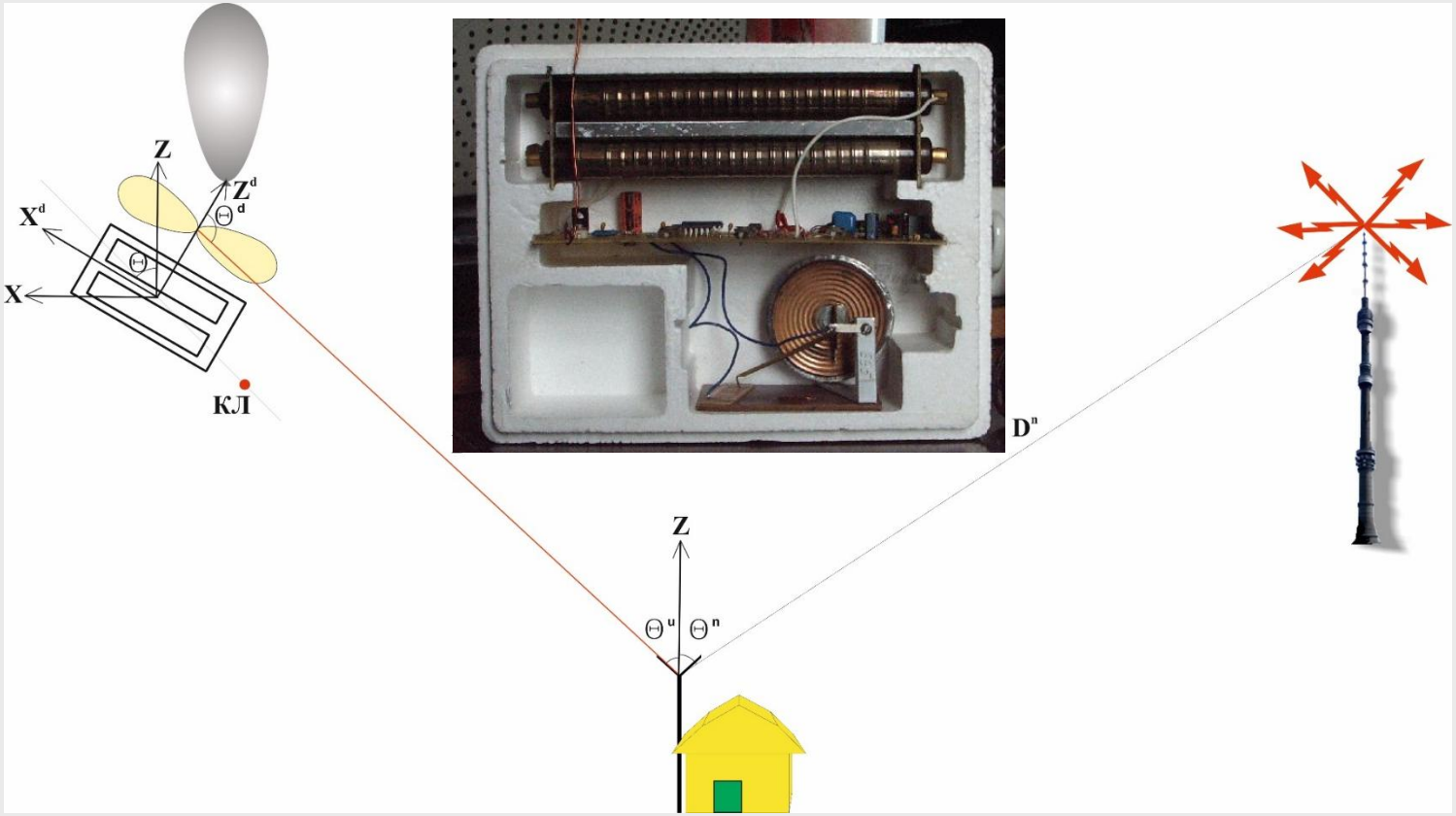
Физический институт РАН, Москва

Вопросы

- Краткая информация о Регулярном Баллонном Мониторинге (РБМ) космических лучей
- Три уровня результатов/закономерностей РБМ.
- Общая схема моделирования результатов РБМ.

- Когда рассматривают долговременные ряды интенсивности ГКЛ на орбите Земли, прежде всего обращаются к данным нейтронных мониторов
- Но практически одновременно, в 1957 г., был организован мониторинг космических лучей в земной атмосфере на баллонах, результаты которого мы и обсудим

Регулярный баллонный мониторинг космических лучей (с 1957 г., в нескольких пунктах)



<u>Регистрация ионизирующей компоненты:</u>

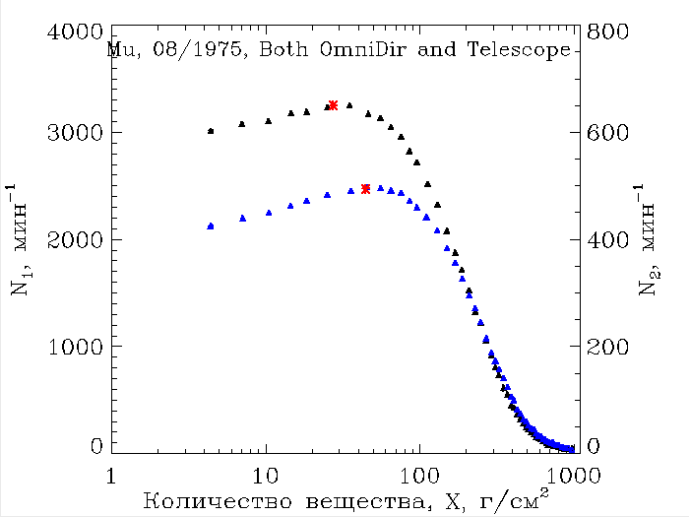
Всенаправленный счётчик (N_1) – T_p > 5 МэВ; T_e > 0.2 МэВ

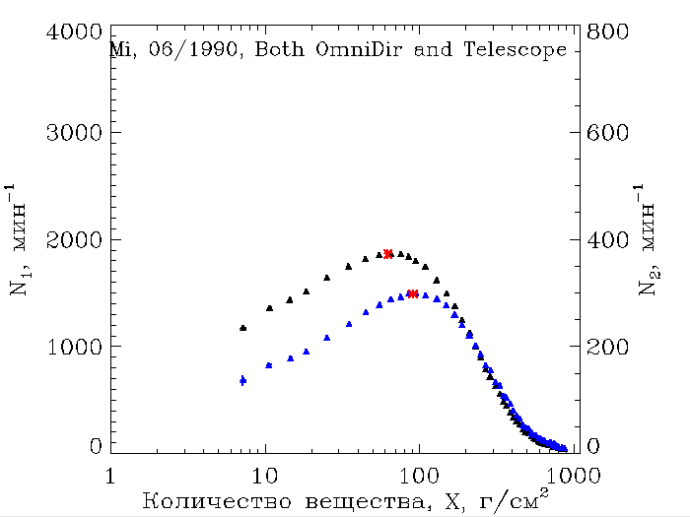
Вертикальный телескоп (N_2) – T_p > 30 МэВ; T_e > 5 МэВ

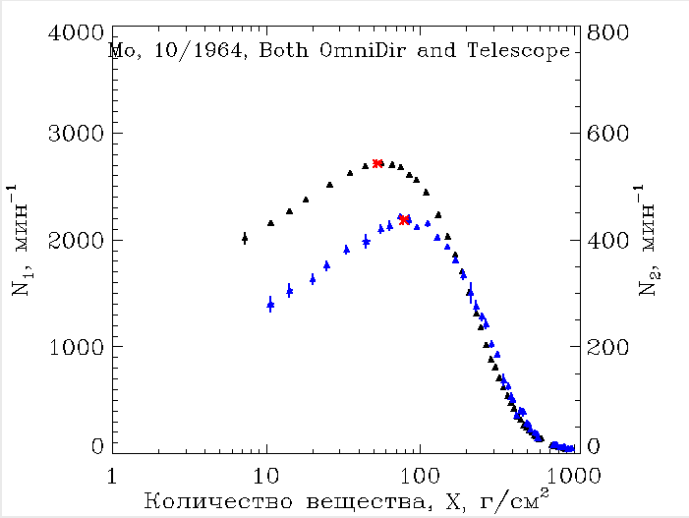
<u>Исходная Стандартная Информация</u>:

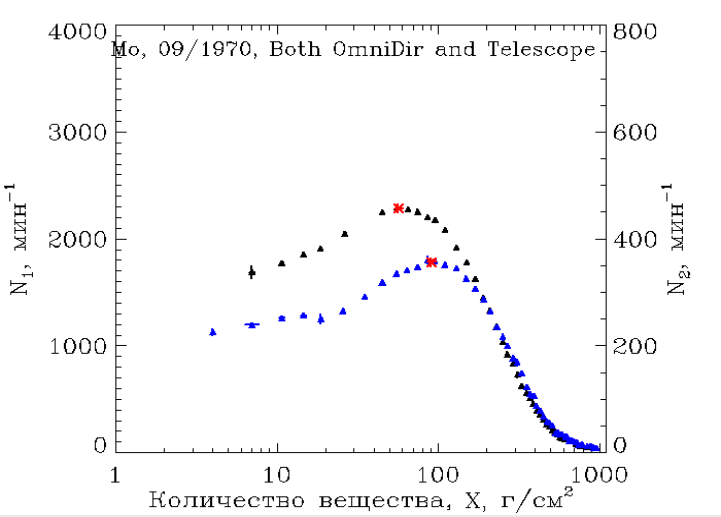
Число импульсов $N_{1,2}$ за каждую минуту полёта и моменты контактов бародатчика; имеются за всё время эксперимента для всех полётов

Результаты РБМ в отношении ГКЛ: $N_{1,2}(X;R_c,t)$



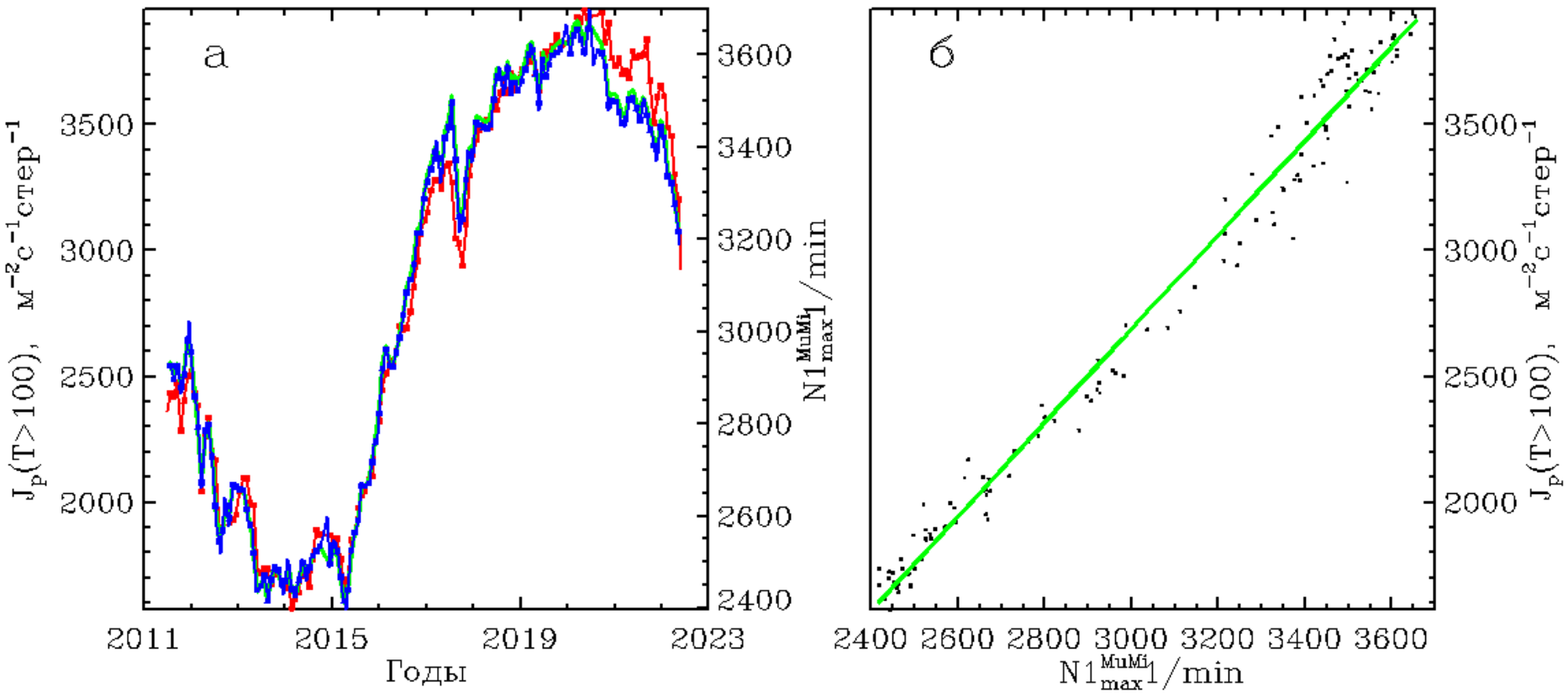






- По исходной информацию и результатам градуировки детекторов и бародатчика – каскадные кривые - для каждого (i-го) полёта месяца и среднемесячные
- Показаны для основных пунктов (Mu, Mo, Mi) и максимума и минимума СА
- Наиболее четкая деталь этих кривых – максимум скорости счёта обоих детекторов

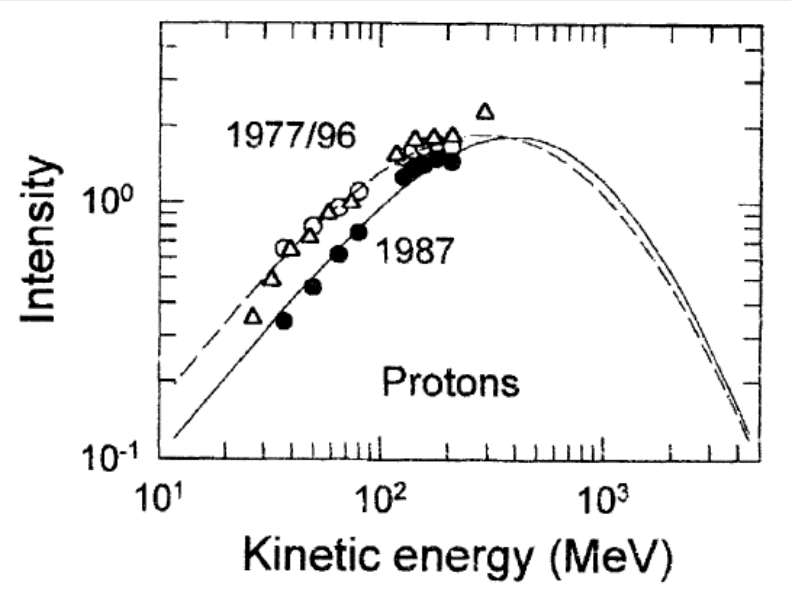
Первый уровень РБМ: $N_{1,2}^{max}(t; R_c) \sim J_p(T>T_0(R_c))$



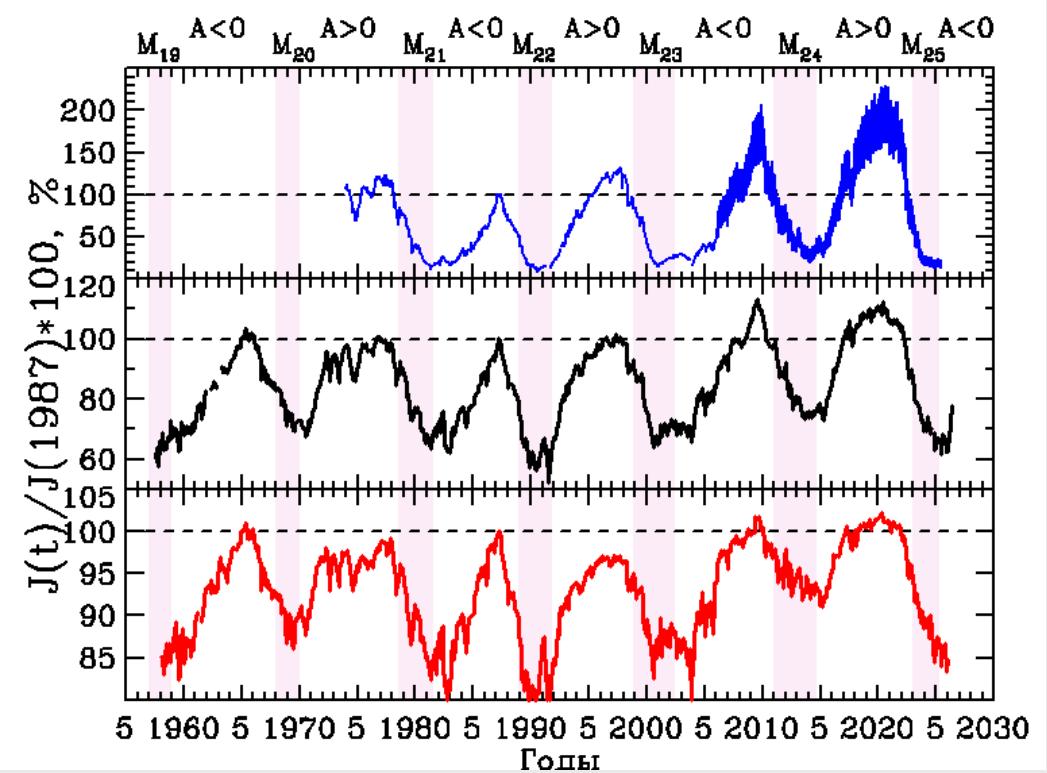
Стожков Ю.И. и др., Препринт ФИАН № 14, 2007

- Временная зависимость N^{max} - результат РБМ первого уровня
- Регрессия с рядами интегральных интенсивности протонов первичных ГКЛ - $J_p(T>T_0(R_c))$
- Корреляция между $N_{1,Mu}^{max}(t)$ и J_p^{AMS}(T> 100 MeV, t) очень высока ($\rho > 0.99$)

Интенсивность ГКЛ низкой, средней и высокой энергии (по отношению к энергии cross-over).

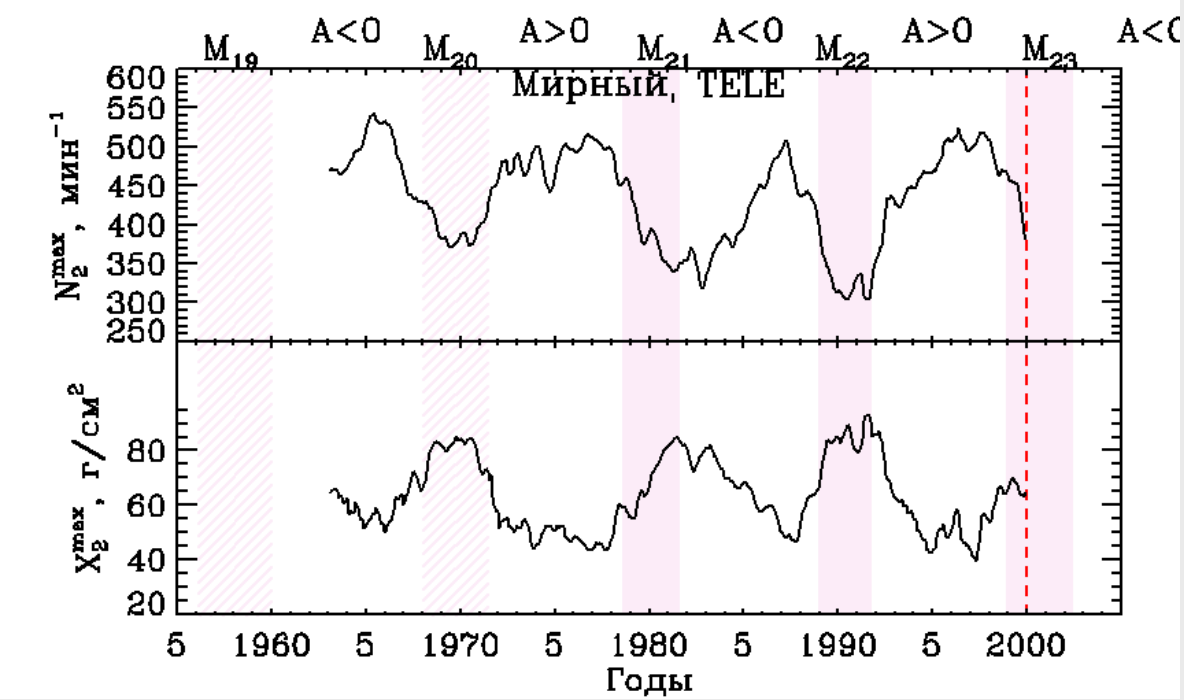


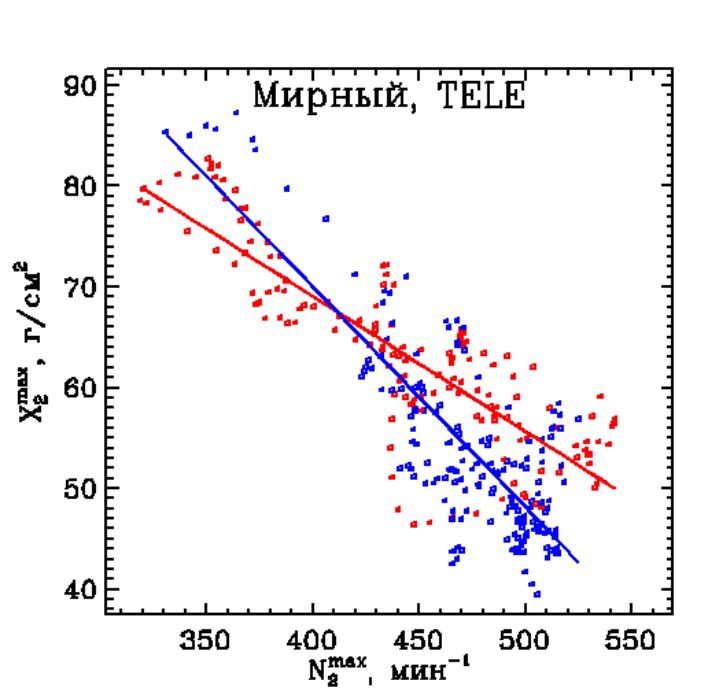
Reinecke et al., 1997



- Этb ряды интегральных интенсивностей по данным РБМ за последние 6 циклов СА можно использовать при исследовании модуляции ГКЛ
- Например, ряд $J_p^{\text{РБМ}}$(T> 100 MeV, t) имеет эффективную энергию, близкую к T_{CO} (важно при анализе вклада дрейфа и диффузии)
- Также важно, что эффективная энергия этого ряда по данным РБМ примерно в 2.5 раза ниже, чем для НМ (судя по отношению амплитуд вариации)

Второй уровень результатов РБМ: $N_{1,2}^{max}$(t) и $X_{1,2}^{max}$(t); $X_{1,2}^{max}(N_{1,2}^{max}, A)$





- Таким образом, измерения ионизирующего излучения на больших высотах позволяет изучать вариации первичных ГКЛ существенно более низких энергий, чем по данным НМ
- И привлечение к анализу , кроме скорости счёта в максимуме, положения максимума каскадных кривых (второй уровень результатов РБМ) может уточнить эту информацию
- Например, видна обратная связь между положением максимума и скоростью счёта в нём, причем регрессия между ними довольно сильно зависит от общей полярности ГМП (А).
- Это может быть связано с зависимостью от этой полярности жесткости спектра и химсостава ГКЛ (отношения протонов и ядер гелия)

Третий уровень результатов РБМ: вся $N_{1,2}(X;R_c,t)$
Общее описание связей между *N и* J_{prim}

- Для связи результатов РБМ и характеристик первичных ГКЛ нужно моделирование эксперимента
- Как давно известно, общая связь между скоростью счёта детектора и интенсивностью первичных КЛ такова

Скорость счёта детектора в общем случае

$$N(x,R_c,t) = \int\limits_{R_c} \underbrace{\sum_i m_i(R_i,x,t)\cdot J_i(R_i,t)}_{W_t(R_i,t)}\, dR_i$$

$N(x,R_c,t)$ – Скорость счёта детектора в R_c, x и t

R_c – Эффективная жёсткость геомагнитного обрезания

$m_i(R_i,x,t)$ – Кратность (Yield Function) для интенсивности i-ых первичных КЛ (протон, α-частица) с жёсткостью R_i

$J_i(R_i,t)$ – Дифференциальный (по R_i) спектр i-ых первичных КЛ

$W_t(R_i,t)$ – Полная дифференциальная функция отклика (Response Function)‘

Функция выхода (кратность) в общем случае

$$m_i(R_i,x,t) = \sum_j \iint A_j^{eff}(\theta,\phi,E_j,t)\cdot \mathcal{J}_{ij}(R_i,x,\theta,\phi,E_j,t)\, dE_j\, d\Omega$$

$A_j^{eff}(\theta,\phi,E_j,t)$ – Эффективная площадь детектора для j-ой вторичной частицы, движущейся в направлении $\{\theta,\phi\}$ с энергией E_j

$\mathcal{J}_{ij}(R_i,x,\theta,\phi,E_j,t)$ – Дифференциальный (по E_j) поток j-ых вторичных частиц от интенсивности i-ых первичных частиц на глубине x

- Таким образом, для моделирования РБМ необходимо промоделировать две характеристики

Neher, 1952; Дорман, 1957;
Clem, Dorman. 2000; Fluckiger+, 2007

К моделированию N_{max}, X_{max} для K-ого детектора РБМ

Xmax:

$$\left.\frac{\partial N^k(x,R_c,t)}{\partial x}\right|_{x=X^k_{max}} = \int\limits_{R_c}\sum_i \left.\frac{\partial m^k_i(R_i,x,t)}{\partial x}\right|_{x=X^k_{max}} \cdot J_i(R_i,t)\,dR_i = 0$$

$$\left.\frac{\partial m^k_i(R_i,x,t)}{\partial x}\right|_{x=X^k_{max}} = \sum_j \iint A^{k,eff}_j(\theta,\phi,E_j,t)\cdot \left.\frac{\partial \mathcal{J}_{ij}(R_i,x,\theta,\phi,E_j,t)}{\partial x}\right|_{x=X^k_{max}} dE_j\,d\Omega$$

$$\int\limits_{R_c}\sum_i\left[\sum_j \iint A^{k,eff}_j(\theta,\phi,E_j,t)\cdot \frac{\partial \mathcal{J}_{ij}(R_i,X^k_{max},\theta,\phi,E_j,t)}{\partial x}\cdot dE_j\,d\Omega\right] J_i(R_i,t)\,dR_i = 0$$

Nmax:

$$N^k_{max}(R_c,t) = \int\limits_{R_c}\sum_i m^k_i(R_i,X^k_{max},t)\cdot J_i(R_i,t)\,dR_i$$

$$= \int\limits_{R_c}\sum_i\left[\sum_j \iint A^{k,eff}_j(\theta,\phi,E_j,t)\cdot \mathcal{J}_{ij}(R_i,X^k_{max},\theta,\phi,E_j,t)\cdot dE_j\,d\Omega\right] J_i(R_i,t)\,dR_i$$

- И тогда, например, взяв и приравняв нулю производную от исходного выражения для каскадной кривой, можно рассчитать положение максимума каскадной кривой и скорость счёта в нём

Выводы

- В данных регулярного баллонного мониторинга за прошедшие 6 11-летних циклов СА содержится важная информации в эти годы о характеристиках первичных ГКЛ значительно более низких энергий, чем по данным НМ.
- Из основных результатов эксперимента РБМ для исследования первичных ГКЛ пока используются лишь скорости счёта в максимумах $N_{1,2}^{max}$(t; R_c) (и то в основном по данным одиночного счётчика в Мурманской области).
- Для извлечения информации о первичных ГКЛ из остальных результатов РБМ { $N_{1,2}^{max}$ (t; R_c), $X_{1,2}^{max}$ (t; R_c), $N_{1,2}(X;R_c,t)$} требуется детальное моделирование поля ионизирующего излучения в атмосфере и отклика на него детекторов РБМ, к которому мы приступаем.

Спасибо за внимание!