

УДК 537.591, 519.2

ПОИСК ВЫДЕЛЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИХОДА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЕЙ НА УСТАНОВКЕ ШАЛ МГУ

Н. Н. Калмыков, Г. В. Куликов, Алексей А. Силаев, А. А. Силаев,
В. П. Сулаков

(НИИЯФ; кафедра физики космоса)

Существуют указания на наличие возможной кластеризации в направлениях прихода широких атмосферных ливней (ШАЛ). Для исследования этой проблемы разработана программа анализа направлений прихода ШАЛ, проанализирован банк данных установки ШАЛ МГУ за период 1982–1989 гг. Получены распределения в экваториальных координатах для космических лучей с энергией $E \geq 2 \cdot 10^{15}$ эВ с углом прихода $< 40^\circ$. Однородность полученных распределений проверена с использованием различных статистических критериев.

Введение

Анализ направлений прихода ШАЛ позволяет исследовать общую анизотропию космических лучей (КЛ), а также локальную, мелкомасштабную анизотропию, что существенно как в связи с вопросами распространения КЛ, так и для проблем распределения источников КЛ. Так, в работе [1], выполненной по данным якутской установки ШАЛ, были приведены аргументы в пользу того, что существует мелкомасштабная анизотропия и наблюдается тенденция к кластеризации направлений ливней с энергиями $E_0 > 4 \cdot 10^{17}$ эВ и зенитными углами $\theta < 45^\circ$ вокруг направлений на квазары с различными значениями красного смещения. Такая кластеризация возможна лишь при серьезном допущении, что поток КЛ в какой-то мере состоит из нейтральных частиц [2], не отклоняющихся магнитными полями.

В настоящей работе предпринята попытка обнаружить неравномерность в распределении направлений приходов ШАЛ, зарегистрированных на установке ШАЛ МГУ [3] с энергиями $E_0 > 2 \cdot 10^{15}$ эВ. Ранее подобный анализ уже проводился для данных, зарегистрированных за 1987–1989 гг. [4]. В этой работе были использованы данные, полученные на установке за 1982–1989 гг., что существенно (в 2.7 раза) увеличило статистику.

Установка ШАЛ МГУ работала с перерывами. Производились суточные отключения в 8 ч 30 мин по московскому времени на интервалы в несколько часов. Влияние суточных отключений на число зарегистрированных ливней отображено на рис. 1. Регулярные суточные отключения мало влияют на распределение интенсивности ШАЛ по звездному времени при условии работы установки в таком режиме в течение года. Это обусловлено тем, что звездные сутки короче земных примерно на 4 мин и момент выключения установки по звездному вре-

мени постоянно смещается, «пробегая» сутки за год работы в таком режиме. Таким образом, остается лишь небольшое влияние на распределение интенсивности по звездному времени, связанное с тем, что установка не всегда четко включалась в одно и то же время рис. 2.

Значения зенитного угла отбирались в пределах от 3° до 40° . Классификация ливней осуществлялась по числу электронов N_e , причем ливни с различными значениями θ приводились к вертикали согласно соотношению

$$N_e = N_e(\theta) \exp\left(\frac{1020}{200} \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1\right)\right), \quad (1)$$

причем $N_e = 2 \cdot 10^5$ примерно соответствует частицам с энергией $2 \cdot 10^{15}$ эВ. Из 875 585 ливней, имеющихся в базе данных, критериям отбора удовлетворяют 256 593 ливня.

Результаты и их обсуждение

В базе данных ШАЛ МГУ записаны порядковый номер ливня, дата, время и результаты обработки данных с детекторов: координаты, параметр возраста, полное число частиц и направление прихода — зенитный угол θ , азимутальный угол φ . Направления прихода ливней были пересчитаны в экваториальные координаты (прямое восхождение α и склонение δ). Выборка (группировка) ливней производилась с шагом 3° по α и δ , что примерно соответствует угловым размерам кластеров в [1]. Вид распределения определяется геометрией установки ШАЛ и может быть приближенно описан функцией

$$S(\delta_i) = \left(1 - \frac{4(n/2 - i)^2}{n^2}\right)^{1/2} \frac{1}{\pi \cdot \cos \delta_i}, \quad (2)$$

где $S(\delta_i)$ — часть площади (сегмент), просматриваемая установкой в направлении δ_i ; n — число сегментов, $i = 0, \dots, n$.



Рис. 1. Распределение числа зарегистрированных ШАЛ N по местному (московскому) времени t

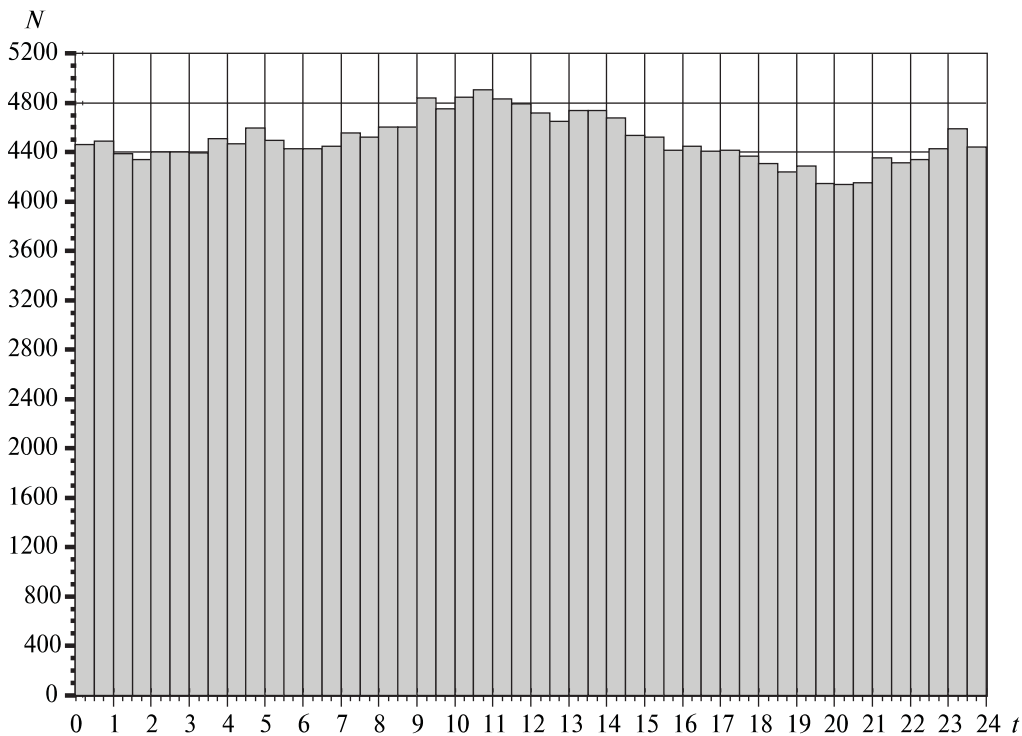


Рис. 2. Распределение числа зарегистрированных ШАЛ N по звездному времени t

Время экспозиции установки для различных углов δ разное. Число событий на «краях» распределения много меньше, чем в «центре» и ячейки для различных интервалов δ не могут быть сравнены непосредственно. Поэтому анализировалось двумерное распределение в координатах α - δ , представленное на рис. 3 α изменяется от 0 до 360° , весь диапазон разделен на 120 интервалов по 3° , δ взято

от 23 до 83° , диапазон разделен на 20 интервалов также по 3° (симметрично относительно максимума распределения при $\delta = 53^\circ$). Интервалы 53 - 56° и 56 - 59° , соответствующие вертикальным ШАЛ, не рассматривались, поскольку для вертикальных ливней азимутальный угол определяется с большой ошибкой.

Для каждого фиксированного интервала δ со-

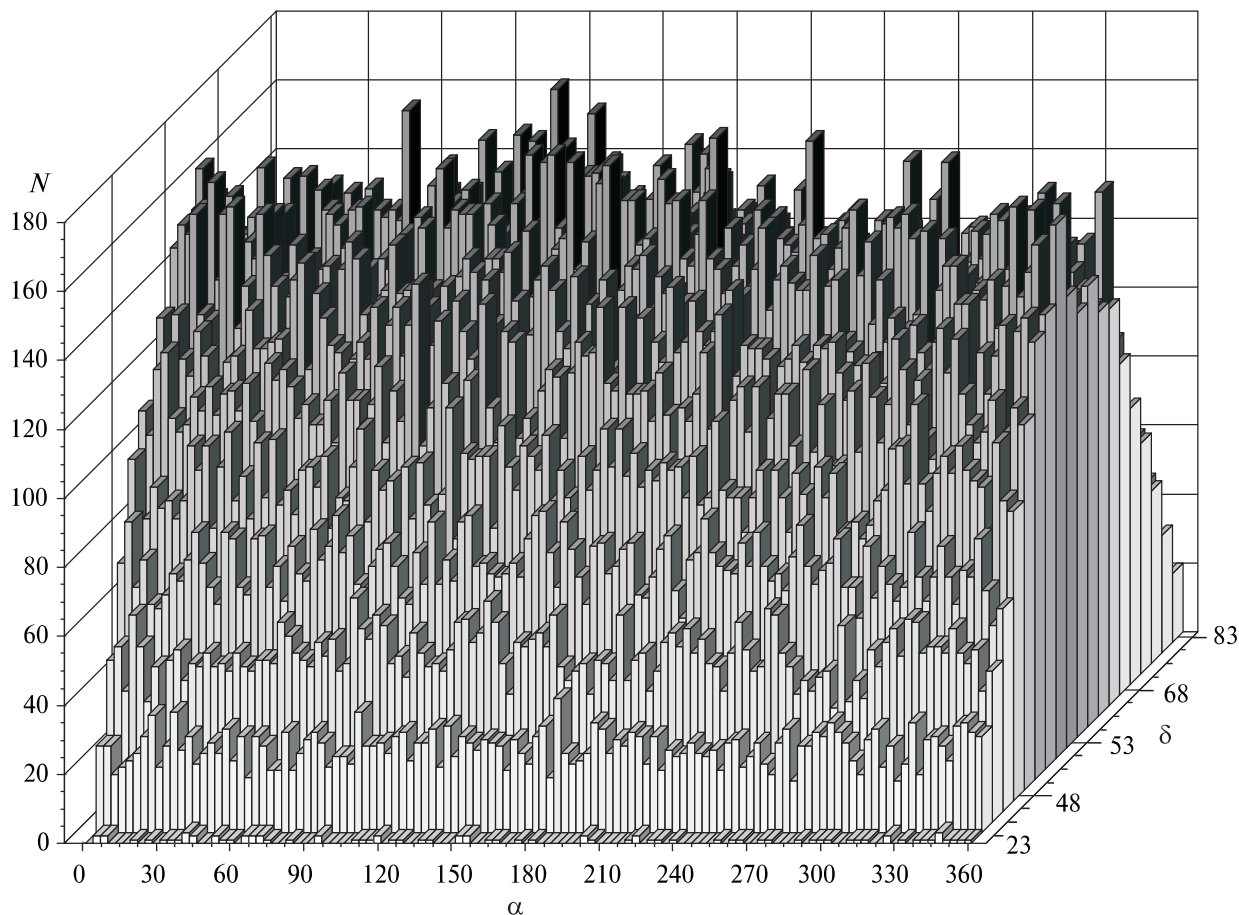


Рис. 3. Распределение числа зарегистрированных ШАЛ N по прямому восхождению α и склонению δ

ответствующее ему распределение по α исследовалось на равномерность по критериям Колмогорова и ω^2 [5, 6]. Как правило, распределения можно считать равномерными. Для трех интервалов по δ , однако, вероятности того, что распределения по α равномерны, оказались меньше 1%. Эти интервалы, представленные в таблице, были подвергнуты дальнейшему анализу.

Результаты исследований распределений по α

Δ	n	Dn	$P(> Dn), \%$	ω^2	$P(> \omega^2), \%$
41–44	15110	1.7294	0.5	0.7987	0.7
50–53	17850	1.7084	0.6	0.7851	0.8
59–62	16116	1.9307	0.12	0.9613	0.3

Приведены границы интервалов по склонению δ , число ШАЛ в данном интервале n , статистики критериев Колмогорова Dn и критерия ω^2 , а также соответствующие вероятности равномерности распределений $P(> Dn)$ и $P(> \omega^2)$.

Для интервала δ 41–44° максимальное число ливней наблюдается в интервале α 162–165° (рис. 4). В предположении, что исходное распределение равномерно, проверялось значение вероятности отклонения от среднего этого интервала α 162–165° для биномиального распределения.

Полученное значение вероятности такого отклонения 4%. Для интервала δ 50–53° максимальное число ливней наблюдается в интервале α 150–153°. Вероятность отклонения от среднего биномиального распределения в нем 0.7%. Для интервала 59–62° максимальное число ливней наблюдается в интервале α 195–198°. Вероятность отклонения от среднего для биномиального распределения в нем 0.54%. В ливнях из рассмотренных интервалов не обнаружено особенностей — как среднее число электронов, так и средний возраст не отличаются значительно от значений в других интервалах выборки. Хотя вероятности 4, 0.7 и 0.54% малы, по нашему мнению, этого не достаточно, чтобы делать заключение о том, что данные направления действительно выделены.

Заключение

Проведенный анализ распределений направлений приходов ливней на установке ШАЛ МГУ за 1982–1989 гг. показал, что для частиц с энергией больше $2 \cdot 10^{15}$ эВ эти распределения можно считать равномерными. Таким образом, рассмотренные данные установки ШАЛ МГУ не дают достаточных оснований для заключения о существовании выделенных направлений прихода ШАЛ.

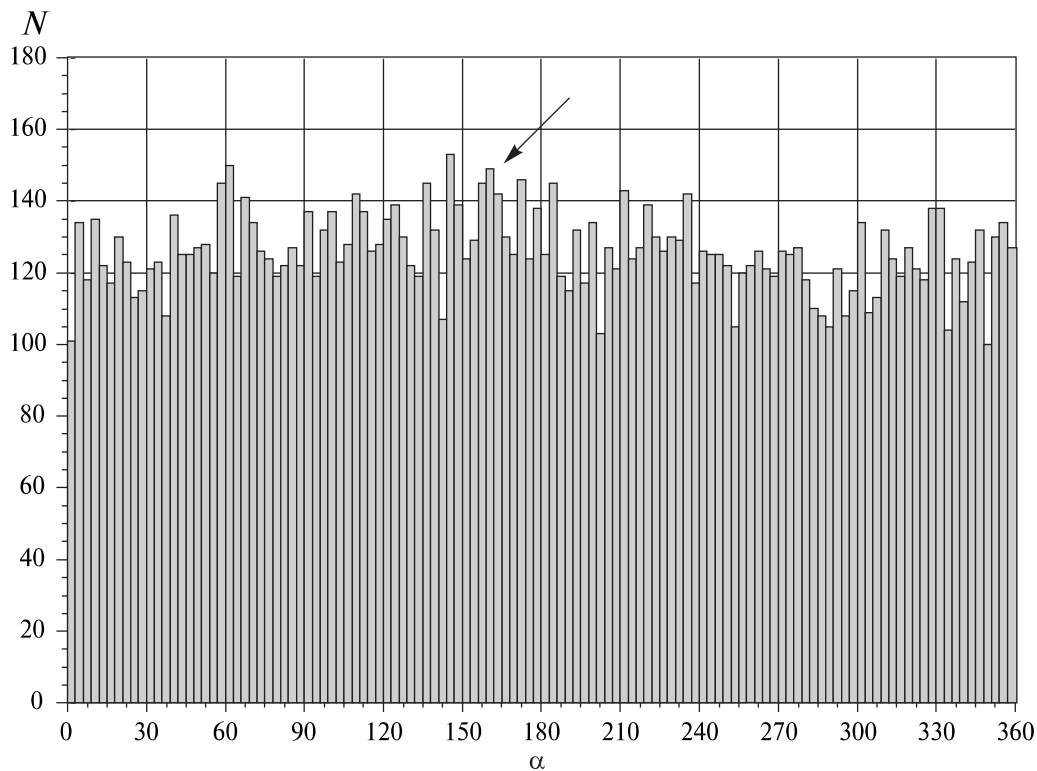


Рис. 4. Распределение числа зарегистрированных ШАЛ N по прямому восхождению α для интервала $\delta 41-44^\circ$

Авторы признательны М. Ю. Зотову и Е. Б. Постникову за полезные обсуждения.

Литература

1. Глушков А.В., Правдин М.И. // ЖЭТФ. 2001. **119**, № 6. С. 1029.
2. Глушков А.В. // Изв. РАН. Сер. физ. 2002. **66**, № 11. С. 1599.
3. Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Атрашкевич В.Б. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1980. **44**, № 3. С. 537.
4. Калмыков Н.Н., Куликов Г.В., Алексей А. Силаев и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2005. **69**, № 3. С. 350.
5. Лагутин М.Б. Наглядная математическая статистика. М., 2003.
6. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М., 1983.

Поступила в редакцию
26.03.07