

## РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ (ШАЛ) КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

*С.Н.Вернов, А.Т.Абросимов, В.Д.Воловик, И.И.Залюбовский  
Г.Б.Христиансен*

После ряда теоретических [1-3] и экспериментальных работ [4-8] на комплексной установке НИИЯФ МГУ было проведено изучение пространственного распределения радиоизлучения ШАЛ.

Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис.1. Подробное описание комплексной установки дано в [9]. На расстоянии 60 и 140 м от центра установки расположены широкополосные горизонтальные полуволновые вибраторы  $A_1$  и  $A_2$ . Оси вибраторов ориентировались в направлении восток-запад. Вибраторы были расположены на высоте 0,225λ. Резонансная частота для обоих вибраторов равнялась 30,2 МГц, а полосы пропускания на уровне 3 дБ для антенн  $A_1$  и  $A_2$  (с усилителями) были равны, соответственно, 3,7 и 2,2 МГц.

Развертки осциллоскопа ( $\tau_p = 5$  мксек) ДЭСО-1 (О) запускались от импульсов управляющей установки, находящейся в центре. Импульсы от двух управляющих сцинтилляционных счетчиков  $D$  (площадь каждого  $\sim 0,5$  м<sup>2</sup>, расстояние между ними 3 м) формировались и поступали

на схему совпадений  $C$ , так что импульс совпадений служил управляющим сигналом для регистрации импульсов радиоканалов. Разрешающее время схемы управления составляет  $200 \text{ нсек}$ . Радиоизлучение отливной реги-

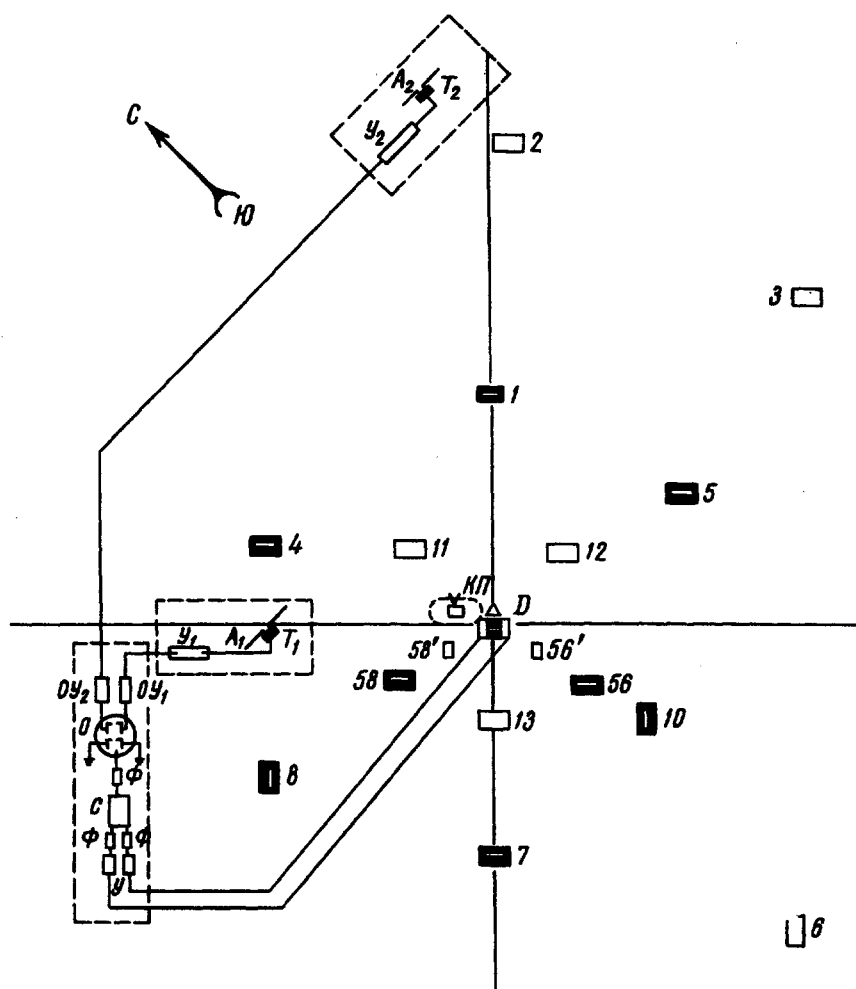


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки:  $A_1, A_2$  – полуволновые горизонтальные вибраторы;  $T_1, T_2$  – симметризирующие трансформаторы;  $Y_1, Y_2$  – предусилители;  $OY_1, OY_2$  – конечные усилители;  $\Phi$  – формирователи;  $Y$  – усилители; КП – пункт контроля; в пунктах 1, 4, 5, 56, 58, 7, 8, 10 расположены и годоскопы и сцинтилляционные счетчики, в пунктах 2, 3, 6, 11, 12, 13, 56<sup>1</sup>, 58<sup>1</sup> – только годоскопы;  $\Delta$  – подземный  $\mu$  – мезонный детектор

стрировалось в течение 1100 час. Полный анализ зарегистрированных радиоимпульсов проведен для последних 400 час. Радиоимпульсы с превышением уровня мощности сигнала над уровнем шума в 25 раз проанализированы для всех 1100 час.

За 400 час работы установки зарегистрировано 27 ШАЛ, сопровождаемых потоком мощности радиоизлучения (вблизи  $A_1$  или  $A_2$ ), в пять или более раз превосходящим поток мощности космических шумов. За остальные 700 час наблюдалось 17 ШАЛ с потоком мощности радиоизлучения, превосходящим поток мощности космических шумов в 25 раз.

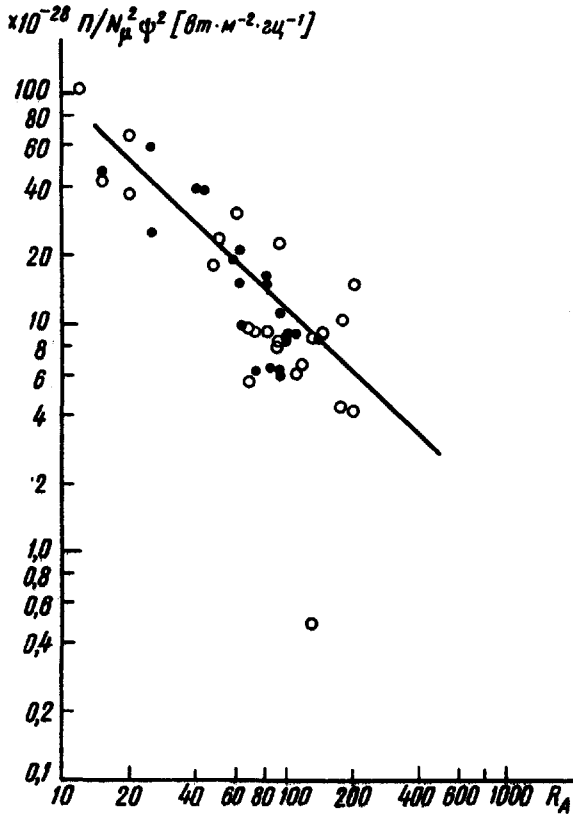


Рис.2. Пространственное распределение радиоизлучения ШАЛ при нормировке потока мощности к  $N_{\mu}^2$  и  $\psi^2$ . • — малые амплитуды ( $P_{рег} > 25 P_{шум}$ ), ○ — большие амплитуды ( $P_{рег} > 25 P_{шум}$ ). Сплошная кривая — теоретическая [3]

Напряженность электрического поля радиоизлучения ШАЛ, предсказываемая в работе Кана и Лерча [3],  $\sim [vH]$ , т.е. излучение линейно поляризовано. При построении кривых пространственного распределения потока мощности радиоизлучения, последний нормировался к квадрату полного числа мюонов  $N_{\mu}^2$  (рис.2) или электронов  $N_e^2$  (рис.3) при учете соотношения

$$\psi^2(\theta, \phi) = |E(\theta, \phi)|^2 / E_{max}^2,$$

где  $\psi(\theta, \phi)$  – степень поляризации;  $E(\theta, \phi)$  – напряженность электрического поля, возникающего при черенковском радиоизлучении тока [3],  $E_{\max}$  – максимальная напряженность электрического поля, возникающе-

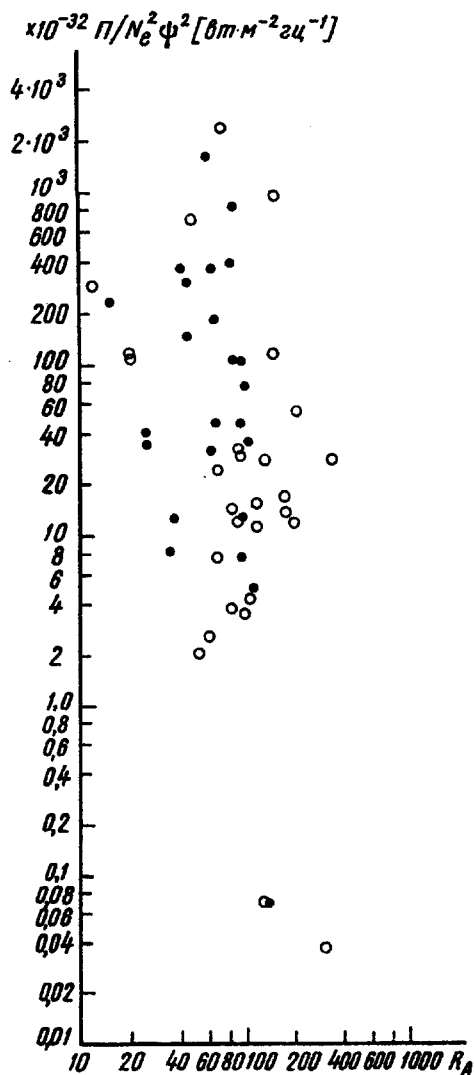


Рис.3. Пространственное распределение при нормировке потока мощности радиоизлучения к  $N_e^2$  и  $\psi^2$   
 • – малые амплитуды, ○ – большие амплитуды

го при движении оси ливня перпендикулярно направлению напряженности магнитного поля Земли.

На рис. 2 сплошная прямая соответствует теоретической зависимости для пространственного распределения радиоизлучения, рассчитанного в теории Кана и Лерча [3].

Анализ, проведенный ранее [10], показывает, что наблюдаемый на рис.2 разброс значений мощности радиоизлучения можно, с одной стороны, объяснить наличием корреляции между средней мощностью радиоизлучения на заданном расстоянии от оси ливня и величиной зенитного угла  $\theta$  оси ШАЛ, а, с другой стороны, — ошибками в определении: а) зенитного  $\theta$  и азимутального  $\phi$  углов оси, б) потока  $\mu$ - мезонов и в) самого потока радиоизлучения\*.

На рис.3 видно, что разброс потока мощности радиоизлучения при нормировке к  $N_e^2$  на несколько порядков больше по сравнению со случаем нормировки к  $N_\mu^2$ . Отметим также, что, как показано в [10], нормировка потока радиоизлучения без учета  $\psi^2$  приводит к резкому разбросу потока мощности, даже если нормировка проводится к  $N_\mu^2$ . Таким образом, мы заключаем, что поток радиоизлучения является линейно поляризованным и пропорционален  $N_\mu^2$ . Отметим, что  $N_\mu$  является хорошей мерой энергии  $E_0$  первичной частицы, вызвавшей ШАЛ, и поэтому приближенно  $\Pi \sim E_0^2$ .

Т а б л и ц а

№ п/п	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$R_{1A}$	$R_{2A}$	$\theta^\circ$	$\phi^\circ$	$n$
	вт. м <sup>-2</sup> . гц <sup>-1</sup>	вт. м <sup>-2</sup> . гц <sup>-1</sup>	м	м			
1	$3,1 \cdot 10^{-19}$	$8,9 \cdot 10^{-19}$	132	52	11	168	1,13
2	$28 \cdot 10^{-19}$	$30 \cdot 10^{-19}$	105	98	38	206	1,01
3	$93 \cdot 10^{-19}$	$48 \cdot 10^{-19}$	199	327	23	174	1,31
4	$17 \cdot 10^{-18}$	$80 \cdot 10^{-19}$	93	178	24	316	1,14
5	$50 \cdot 10^{-19}$	$32 \cdot 10^{-19}$	68	115	39	49	0,85
6	$40 \cdot 10^{-18}$	$41 \cdot 10^{-19}$	20	117	36	46	1,29
7	$87 \cdot 10^{-19}$	$48 \cdot 10^{-19}$	90	173	36	350	0,92

В таблице представлены результаты вычислений показателя степени  $n$  функции пространственного распределения потока мощности  $\Pi \approx \alpha R^{-n}$  (здесь  $R$  — расстояние от оси ливня) при использовании данных о потоке от двух одновременно работающих антенн ( $A_1$  и  $A_2$ ). При этом естественно полагать, что уже не нужно учитывать фактор  $\psi^2$ . Следует отметить согласие величины показателя степени для функции пространственного распределения, полученного из данных таблицы ( $\bar{n} = 1,09 \pm 0,06$ ), и показателя степени для пространственного распределения, соответствующего теории Кана и Лерча ( $n \approx 1,0$ ).

В заключение выражаем глубокую благодарность Г.А.Аскарьяну за интерес к работе и ценные дискуссии, В.Б.Атрашкевичу, Г.В.Куликову и В.И.Бойцову за постоянную помощь в работе. Мы признательны Е.С.Шматко, В.И.Кобизскому, И.А.Боржковскому и П.П.Матяшу за помощь в обработке результатов.

Московский государственный университет  
им. М.В.Ломоносова  
Харьковский государственный университет  
им. А.М.Горького

Поступило в редакцию  
3 октября 1966 г.

### Литература

- [1] Г.А.Аскарьян, ЖЭТФ, **41**, 616, 1961.
- [2] Г.А.Аскарьян, ЖЭТФ, **48**, 989, 1965.
- [3] F.D.Kahn, J.Lerche. Proc. Roy. Soc., **289**, 206, 1966.
- [4] J.V.Jelley, J.H.Fruin, N.A.Porter. T.C.Weekes, F.G.Smith, R.A.Porter. Nature, **205**, 327, 1965.
- [5] N.A.Porter et al. Proc. Int. Conf. on C.R., **706**, 1965.
- [6] J.V.Jelley et al. Proc. Int. Conf. on C.R. **503**, 1965.
- [7] И.А.Боржковский, В.Д.Воловик, Е.И.Шматко. Изв. АН СССР сер. физ., **30**, 1705, 1966.
- [8] И.А.Боржковский, В.Д.Воловик, В.И.Кобизской, Е.И.Шматко. Письма ЖЭТФ, **3**, 186, 1966.
- [9] С.Н.Вернов, Г.Б.Христиансен, А.Т.Абросимов и др. Изв. АН СССР сер. физ., **28**, 2087, 1964.
- [10] С.Н.Вернов, А.Т.Абросимов, В.Д.Воловик, И.И.Залюбовский, Г.Б.Христиансен. Изв. АН СССР, сер. физ. **31**, 9, 1967 (в печати).
- [11] А.Т.Абросимов. Диссертация МГУ, М., 1965.

---

\* Ошибка в определении зенитного угла не превышает  $3 \div 4^\circ$ , а в определении азимутального угла —  $6 \div 10^\circ$ ; ошибка в определении полного числа мезонов в ливне составляет не более 35% от  $N_\mu$  [11]; относительная ошибка в определении потока мощности радиосигнала от ШАЛ не более 15% [10].