

УДК 629.198.3

С. Н. КУЗНЕЦОВ, Б. М. МАХМУДОВ, И. А. САВЕНКО

## ВЫСЫПАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ

Представлены результаты исследования захваченных частиц с энергией больше 60 и больше 300 кэв на высотах 200÷260 км с помощью спутника Земли «Космос-228» с углом наклона к плоскости экватора 51°. Измерены большие потоки квазизахваченных и высыпающих частиц ночью в южном полушарии, днем в северном. На основе полученных данных построены долготные и высотные хода частиц в интервале  $L$ :  $1,1 \leq L \leq 3,5$ . Дается оценка угловой зависимости частиц с энергией  $E > 60$  кэв для  $L = 1,1; 1,3; 1,8; 3,5$ . Анализируется процесс высыпания частиц ночью. Результаты эксперимента подтверждают предположение работы [8].

Высыпание электронов из радиационных поясов Земли с энергиями больше 60 кэв наблюдалось с помощью различных методов во многих экспериментах. Проводилось непосредственное наблюдение электронов, попадающих в конус потерь [1, 2]. Косвенные измерения высыпающих электронов проводились при наблюдениях тормозного излучения рентгеновских лучей на шарах-зондах [3]. Другой вид косвенных измерений высыпания электронов по данным измерений на спутниках с малой высотой полета связан с наблюдениями электронов на некоторых долготах; электроны из-за долготного дрейфа гибнут в атмосфере в районе Бразильской аномалии [4, 5]. Каждый из этих методов наблюдения высыпания электронов подчеркивает разные особенности высыпания. Так, электроны с питч-углами в конусе потерь приходят туда в течение одного периода колебания в результате либо непосредственной инжекции, либо значительного возмущения питч-угла. Квазизахваченные электроны, которые должны высыпаться во время долготного дрейфа, могут появиться в результате более медленной диффузии по питч-углам.

В работе анализируются низковысотные наблюдения интенсивности электронов с энергией больше 60 и больше 300 кэв на спутнике Земли «Космос-228». Параметры спутника, а также расположение детекторов прибора РГ-1 показаны на рис. 1. Измерение интенсивности

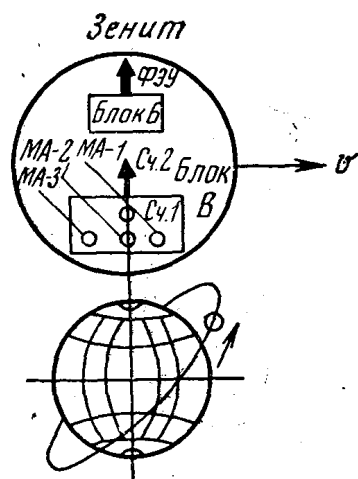


Рис. 1. Параметры спутника «Космос-228» и расположение детекторов прибора РГ-1 21—22 июня 1968 г.  $a$  — 265 км,  $p$  — 205 км,  $\alpha$  — 51°,  $T$  — 88 мин

электронов с энергиями  $E > 60$  кэв проводилось двумя счетчиками типа СБТ-9 (С<sub>41</sub>, С<sub>42</sub>. Блок В), а интенсивности электронов с энергиями  $E > 300$  кэв — сцинтилляционным счетчиком (С<sub>43</sub>. Блок Б). Прибор РГ-1 описан в работе [6]. Счетчики 1, 2 и 3 имели одинаковые широкоугольные коллиматоры с углом конуса  $60^\circ$ . Счетчики 1 и 2 имели геометрический фактор  $G = 3 \cdot 10^{-1} \text{ см}^2 \text{ стер}^{-1}$ , а счетчик 3 имел  $G = 0,8 \text{ см}^2 \text{ стер}^{-1}$ . Счетчики 2 и 3 были направлены в зенит, а счетчик 1 был направлен во время полета приблизительно перпендикулярно к силовым линиям. Спутник работал 21—22 июня 1968 г. В таблице 1 приводится Кр — индекс для этих дней.

Таблица 1

День	hh	hh	hh	hh	hh	hh	hh	hh
Кр 21	0÷3	3÷6	6÷9	9÷12	12÷15	15÷18	18÷21	21÷0
22	10	1—	0+	1—	10	1—	10	0+
	1—	2—0	3—	3—	3+	20	3—	2+

### Результаты

Имеющиеся данные проанализированы для интервала  $1,1 \leq L \leq 5,5$ . В статье мы рассмотрим поведение потока электронов только для четырех значений  $L$ , с помощью карты [7] точки северного полушария приведены в сопряженные точки южного полушария.

$L = 1,1$  находится на внутренней границе внутреннего пояса и существование радиации на данной  $L$  невозможно, так как на  $L = 1,1$  мала  $h_{\min}$  в экваторе.

$L = 1,3$  находится вблизи максимума внутреннего пояса.

$L = 1,8$  находится на внешней границе внутреннего пояса и здесь могут проявляться эффекты, характерные для внешнего пояса.

$L = 3,5$  находится на внутренней границе внешнего пояса. Поведение радиации по данным эксперимента на  $L = 3,5$  такое же, как и на более высоких  $L$ , но на  $L > 3,5$  мы имеем меньшее количество данных из-за малого угла наклона плоскости орбиты спутника к плоскости экватора.

В ночное время в области долгот  $280 \div 350$  на  $L = 1,1$  наблюдаются значительные потоки электронов как с  $E_e > 60$  кэв, так и  $E_e > 300$  кэв. При измерениях в дневное время потоки электронов на  $L = 1,1$  на этих долготах малы. Счет детекторов практически соответствует фону космических лучей. Такое явление говорит о том, что, во-первых, на  $L = 1,1$  нет постоянно существующих захваченных потоков электронов, во-вторых, в ночное время происходит интенсивная диффузия электронов поперек дрейфовых оболочек с больших  $L$  на  $L = 1,1$ . Механизм этой диффузии пока не ясен. На  $L = 1,3$  при регистрации интенсивности электронов в ночное время, интервал долгот в котором наблюдается, повышенная интенсивность значительно больше, чем для  $L = 1,1$  (см. рис. 3)  $270 \div 0 \div 20^\circ$ . Так как  $L = 1,3$  находится вблизи максимума внутреннего пояса, это говорит о том, что в ночное время наблюдается интенсивность высыпания электронов из пояса. На  $L = 1,8$  (рис. 4) высыпание электронов происходило эффективнее, чем на  $L = 1,1$  и  $L = 1,3$ .

В результате высыпания потоки электронов наблюдались до  $120^\circ$  восточной долготы в южном полушарии в ночное время. В северном полушарии большие потоки наблюдались днем в области долгот  $120 \div 240^\circ$ . При наблюдении в дневное время в южном полушарии счет детектора оказался в пределах фона на долготах начиная от границы аномалии до  $+120^\circ$ , а в северном полушарии космический фон регистрировался в ноч-

ное время на долготах 120–240°. Можно предполагать, что высыпание частиц такого рода связано с местным временем Бразильской аномалии. Ход высыпания электронов на  $L=3,5$  (рис. 5) (внутренняя граница внеш-

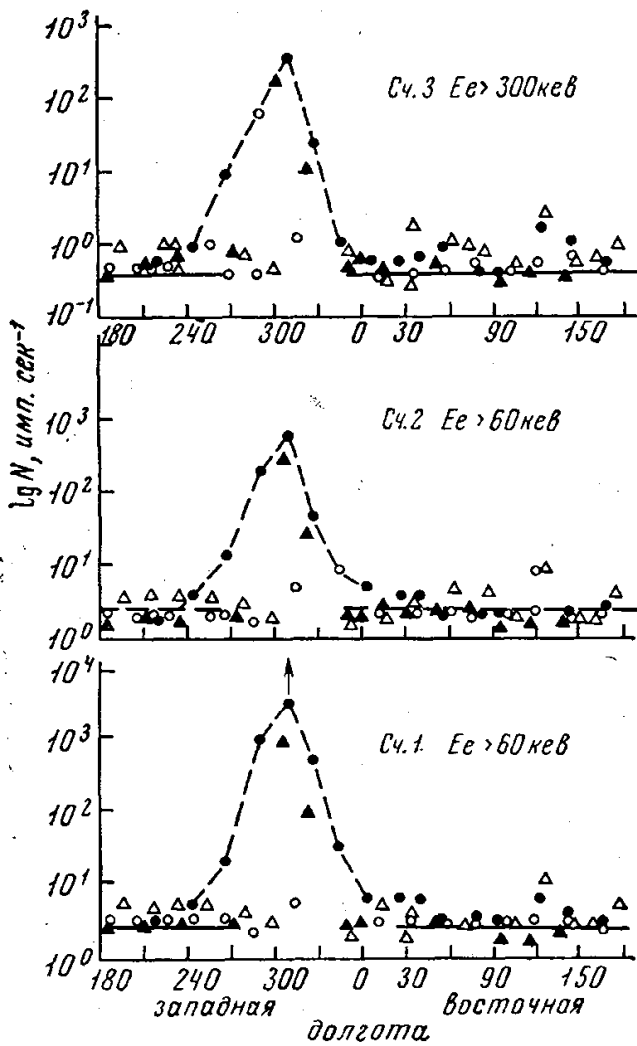


Рис. 2. Зависимость потока электронов с энергией  $E_e$  60 и 300 кэВ от долготы при  $L=1,1$ . Поток частиц, зарегистрированных днем ( $\circ\triangle$ ) и ночью ( $\bullet\blacktriangle$ ) в северном ( $\triangle\blacktriangle$ ) и южном ( $\circ\bullet$ ) полушариях

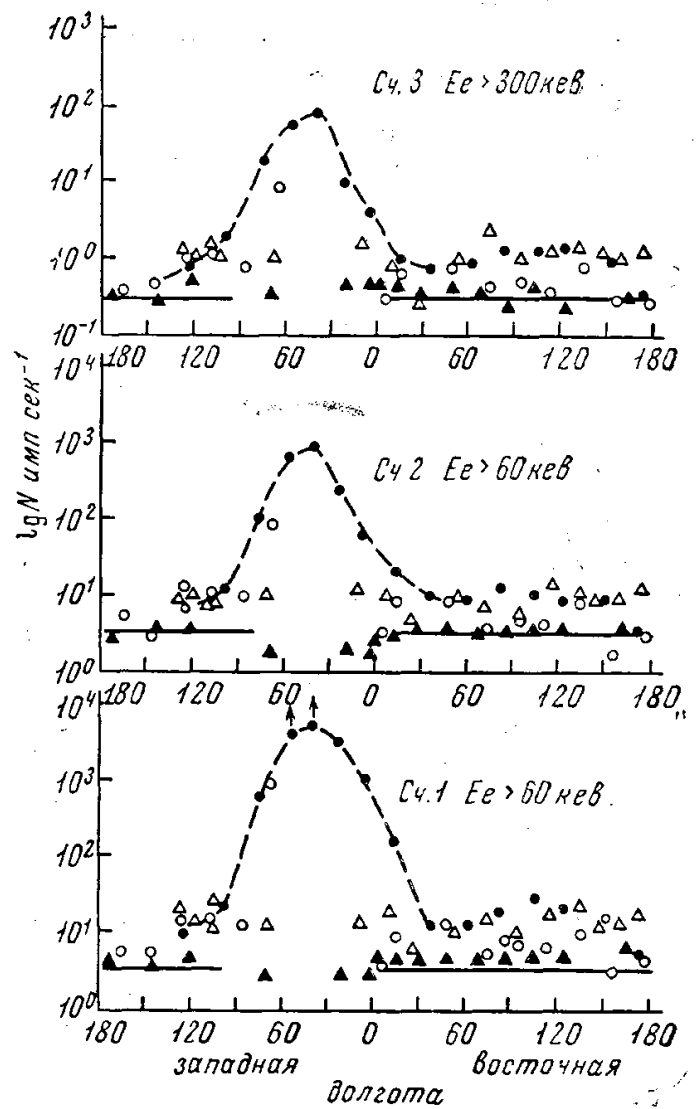


Рис. 3. Зависимость потока электронов с энергией  $E_e$  60 и 300 кэВ от долготы при  $L=1,3$ .

него пояса) имеет такой же характер, как и на  $L=1,8$  но из-за отсутствия данных в аномалии анализ этого рисунка менее определен. Были построены высотные хода высыпающих и квазизахваченных частиц при фиксированном значении  $L$  от 1,1 до 5,0. Поведение электронов рассматривалось в зависимости от максимальной высоты точки отражения частиц ( $h_{\min}$ ) на высотах до  $\sim 300$  км. Отмечается, что на  $L=1,1$  зарегистрирован большой поток высыпающих электронов при  $h_{\min} < 100$  км. В области  $200 > h_{\min} > -300$  км наблюдался четкий высотный ход для точек, зарегистрированных ночью. Такая же картина наблюдается и на других значениях  $L$ . Повышенные значения интенсивности регистрируются вплоть до  $B$  0,5 гаусс.

Высотные хода для  $L=1,8$  становятся неопределенным из-за смещения точек, снятых в ночное и дневное время в южном и северном полушариях. Наблюдаемое высыпание электронов вносит большие неопреде-

ленности в высотные хода. Оценка угловой зависимости потока электронов с энергиями  $E_e > 40$  кэв в интервале от 1,1 до 5,6  $L$  приведена в таблице 2.

В области фона космических лучей интенсивность двух детекторов была почти одинакова. При большом потоке частиц интенсивность детектора 1 в несколько раз превышает интенсивность детектора 2.

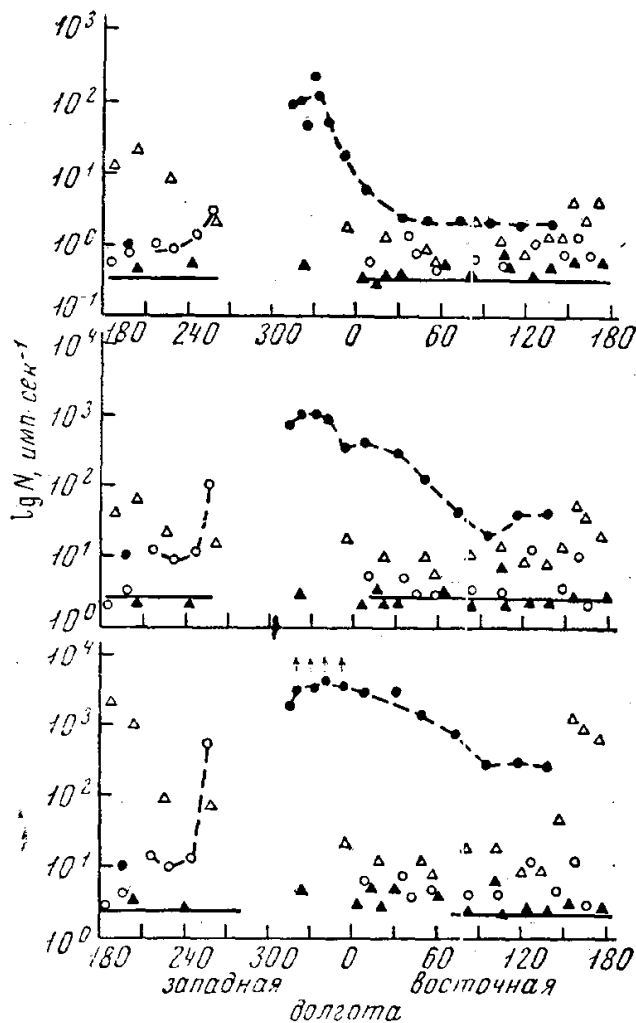


Рис. 4. Зависимость потока частиц электронов с энергией  $E_e$  60 и 300 кэв от долготы при  $L=1,8$

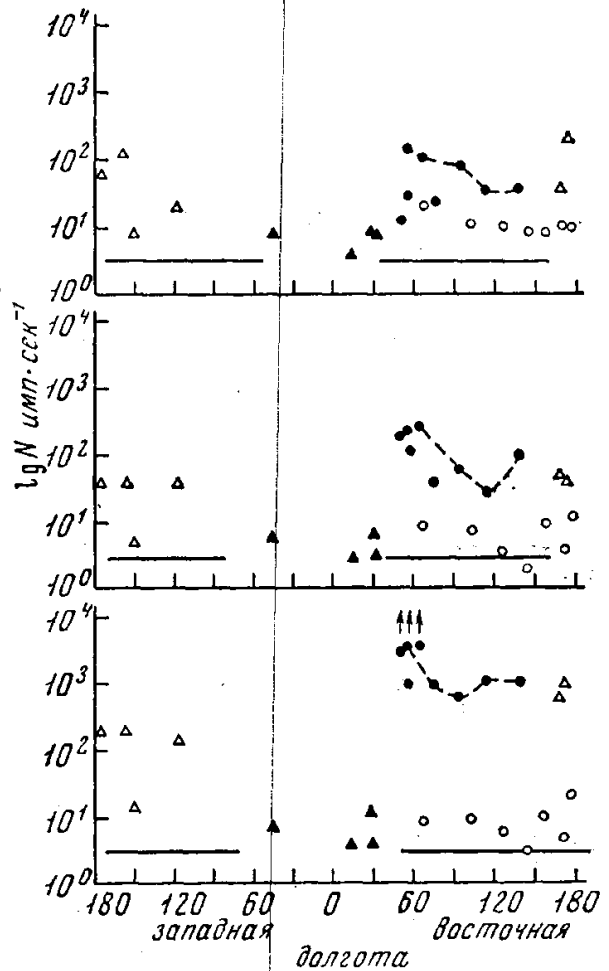


Рис. 5. Зависимость потока электронов с энергией  $E_e$  60 и 300 кэв от долготы при  $L=3,5$

Изменение потоков высыпающих электронов в северном и южном полушарии связано с изменением  $B$ . Анализировать этот процесс можно на основе рис. 6, где показана зависимость  $B$  от долготы при  $L=1,8$  в северном и южном полушарии на высоте  $\sim 250$  км. В области долгот  $240 \div 120^\circ$  в южном полушарии (напряженность в южном полушарии ( $B_S$ ) меньше, чем в северном полушарии ( $B_N$ )) детекторы могут регистрировать больший поток частиц, чем в северном. В области аномалии на долготах  $310 \div 30^\circ$  регистрируются частицы радиационных поясов. Когда напряженность в южном полушарии ( $B_S$ ) будет больше напряженности в северном полушарии ( $B_N$ ), могут наблюдаться большие потоки частиц в северном полушарии. Это области долгот  $140 \div 210^\circ$ . Потоки частиц были на уровне фона днем в южном полушарии, когда  $B_S < B_N$ , в северном полушарии ночью при  $B_S > B_N$ . Совокупность полученных данных показывает, что в то время, когда в Бразильской аномалии местное время меняется от  $20^h$  до  $02^h$ , в южном полушарии на долготах

0—120°, где  $B_S < B_N$ , наблюдаются большие потоки электронов, в то время на долготе 120÷240° (день) при  $B_N < B_S$  наблюдаются также большие потоки электронов.

Если в Бразильской аномалии время от 04<sup>h</sup> до 12<sup>h</sup> (аномалия находится в дневные часы), то по всей траектории спутника наблюдается космический фон. Можно сделать вывод, что частицы, высыпающиеся из

Таблица 2

L	$N_1/N_2$
1,1	8—10 раз
1,15	8—9
1,2	4—6
1,3	4—5
1,4	3—5
1,6	3—6
1,8	4—4,5
2,0	5—10
2,2	5—10
2,5	4—12
2,8	5—10
3,0	5—15
3,5	3—6
4,0	3—10
4,5	3—11
5,0	3—9
5,5	4—7

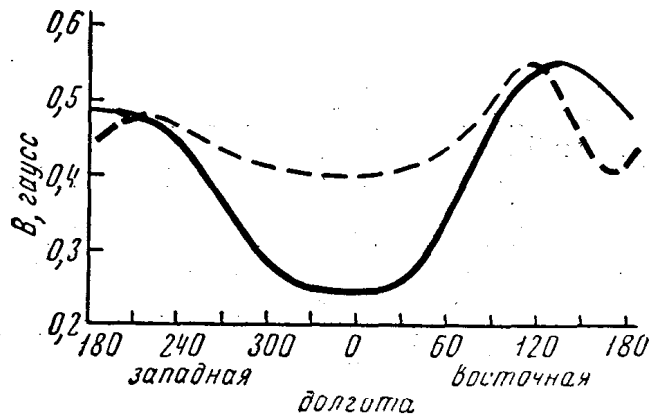


Рис. 6. Зависимость напряженности поля  $B$  от долготы при  $L=1,8$

области поясов в ночное время, легче регистрируются, когда область высыпания ближе всего подходит к земле, т. е. Бразильская аномалия находится в затемненном полушарии. В северном полушарии наблюдаются частицы, высыпающиеся в районе Бразильской аномалии, так как аномалия на долготе  $\sim 160^\circ$  значительно слабее Бразильской.

Согласно [8] высыпание частиц может происходить благодаря взаимодействию частиц с электромагнитными волнами ультранизких частот. При этом плотность электромагнитных волн должна быть выше в ночное время, когда ионосфера не так интенсивно поглощает электромагнитное излучение. Данные этого эксперимента подтверждают предположение работы [8].

На основе анализа полученных данных можно сделать следующие выводы.

На всех  $L$  оболочках наблюдается регистрация частиц на запрещенных дрейфовых траекториях ночью в южном полушарии.

На  $L=1,1$  нет постоянно существующих захваченных потоков электронов. Обнаружение большого потока в ночное время указывает на интенсивную диффузию электронов, поперек дрейфовых оболочек с больших  $L$  на  $L=1,1$ . Механизм этой диффузии пока не ясен.

На  $L=1,8$  наблюдается более эффективное высыпание электронов, чем на меньших  $L$  ( $L=1,8$ ), где область потока высыпающихся электронов расширяется в южном полушарии до  $120^\circ$  восточной долготы. Регистрация большого потока высыпающихся электронов ночью в области от аномалии до долготы  $+120^\circ$  в южном полушарии, днем в области долгот 120÷240° в северном полушарии связана с особенностями земного геомагнитного поля.

На  $L=3,5$  характер высыпания электронов такой же, как и на  $L=1,8$ .

Высотные хода высыпающихся частиц наблюдались на  $L=1,1$  и  $L=1,3$ . На  $L=1,8$  и  $L=3,5$  из-за неопределенности смещенных точек, зарегистрированных ночью и днем в южном и северном полушарии, высотный ход не определен.

Угловая зависимость двух детекторов в области фона космических лучей одинакова. При больших потоках частиц счетчик 1 регистрирует поток частиц в 4 раза больше, чем счетчик 2 для  $L=1,8$ .

Такая разность в счете двух детекторов наблюдалась и для  $L=1,1$  ( $8 \div 10$  раз), для  $L=1,3$  ( $4 \div 5$  раз) и для  $L=3,5$  ( $3 \div 6$  раз).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. O'Brien B. G. YGR, **67**, 3637, 1962.
2. O'Brien B. G. YGR, **69**, 13, 1964.
3. Anderson K. A. Stanford Press., 1965, p. 46.
4. Imhof W. L., Smith R. Y. YGR, **70**, 569, 1965.
5. Vernov S. N. et al. Space Res., **5**, 404, 1965.
6. Махмудов Б. М., Мадиев В. Л., Писаренко Н. Ф. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., № 4, 1969.
7. Compbell W. H. et al. YGR, **72**, 13, 3518, 1967.
8. Тверской Б. А. Динамика радиационных поясов Земли. М., «Наука», 1968.

Поступила в редакцию  
27. 2. 1970 г.

НИИЯФ