НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ МЕРЦАНИЙ НА 60 *Ми*

Мерцания радиоисточников малых угловых размеров ($\gtrsim 0.5$) на неоднородностях межпланетной плазмы, помимо информации о структуре самого источника, содержат также информацию и о параметрах межпланетной плазмы. Методом мерцаний можно определить характерные размеры неоднородностей, среднеквадратичные отклонения электронной концентрации, скорость солнечного ветра и др. Уже имеется несколько работ [1-3], в которых по наблюдениям мерцаний определены важные параметры межпланетной плазмы. Так, в работе [2] по наблюдениям мерцаний радиоисточников на частотах 195, 430 и 611 *Ми* определены среднеквадратичные отклонения электронной концентрации $\Delta N_e = \sqrt{\Delta N_*^2}$, для которой получено значение 0.14 r^{-2} эл/см³, где r—расстояние рассматриваемого объема от Солнца в астрономических единицах, $\frac{\Delta N_e}{N_*} = 0,02$, которое остается постоянным в интервале расстояний 0.1 *а. е.* < r < 0.9 *а. е.* и характерный размер ξ_0 ($\xi_0 = 110$ км).

В опубликованной недавно работе [3], наряду с рассмотрением других вопросов, с помощью наблюдений мерцаний радиоисточников 3С 48 и 3С 298 на частоте 86 M_{12} определены среднеквадратичные отклонения от среднего значения электронной концентрации межпланетной плазмы $\sqrt{\Delta N_e^2}$ и характерные размеры этих неоднородностей. На расстояниях 0.6 *a.e.* < r < 1.3 *a.e.* для характерного размера и среднеквадратичного отклонения электронной концентрации неоднородностей межпланетной плазмы соответственно получены значения 180 *км* и приблизительно 0.1 *эл/см*³. В этих расчетах исходными данными являются измеренные из наблюдений мера мерцаний f и средний квазипериод мерцаний \overline{T} . Поскольку обе эти величины зависят от угловых размеров мерцающих радиоисточников, то желательно учитывать это влияние на f и \overline{T} и, тем самым, точнее определить параметры меж-5-127

планетной плазмы. В настоящей статье анализируются экспериментальпланетной ималия радиоисточников 3С 48 и 3С 144 на частоте 60 Мги ные данные неры параметров межпланетной плазмы с учетом влияния угловых размеров мерцающих радиоисточников на меру мерцаний f и средний квазипериод мерцаний T.

Наблюдения мерцаний радиоисточников малых угловых размеров (3C 48, 3C 144, 3C 161, 3C 273 и 3C 298) на неоднородностях межпланетной плазмы были проведены на ДКР-1000 (радиоастрономическая станция ФИАН СССР) с июня 1967 года по август 1968 года с помощью радиометра, изготовленного радиоастрономическим отделом Бюраканской астрофизической обсерватории АН Армянской ССР. Рабочая частота приемника — 60 Мгц, полоса пропускания — 0.6 Мгц, постоянная времени выходного устройства радиометра-приблизительно 0.5 сек. Источники записывались при прохождении через диаграмму направленности антенны.

Флуктуации интенсивности обычно носили случайный характер, т. е. колебания интенсивности около среднего значения принципиально нельзя было предсказать. Только в редких случаях встречаются колебания интенсивности, изменяющиеся по квазигармоническому закону. На рис. 1 приведены копии отрезков записей с вышеуказанными особенностями.

Из полученных записей определены мера мерцаний по максимуму $f = \frac{|\Delta I_{max}|}{I_{a}}$ и средний квазипериод мерцаний \overline{T} , как среднее расстояние между двумя максимумами за данную запись. Кроме этого, нами были получены значения отдельных квазипериодов мерцаний Т. На рис. 2 приведен ход изменения меры мерцаний радиоисточника ЗС 48 от углового расстояния от Солнца. Поскольку при удалении радиоисточника от Солнца мера мерцаний f уменьшается, то максимальное угловое расстояние, на котором еще наблюдаются мерцания, зависит от того, во сколько раз сигнал от радиоисточника превосходит шумовую дорожку на записи. В случае радиоисточника ЗС 48 отношение сигнала от радиоисточника к шумовой дорожке в среднем составляло 6, а мерцания можно было обнаружить, когда $f > 10^{\circ}_{0}$. Как видно из рис. 2, мерцания на частоте 60 Мгу наблюдаются на угловых расстояниях от Солица до 120°. На рис. З приведены гистограммы средних квазипериодов мерцаний Т радиоисточников 3C 48 и 3C 144 ((а) и (б)) и гистограммы отдельных квазипериодов мерцаний T ((в) и (г)). Из этих гистограмм видно, что наиболее вероятное значение квазипериодов (также и средних квазипериодов) мерцаний радиоисточника ЗС 48 смещено в сторону больших значений T (соответственно \overline{T}) относительно того же значения для ЗС 144. Поскольку оба радноисточника наблюдались почти на одинаковых угловых расстояниях от Солнца, то такое смещение квазипериодов мерцаний указывает на разные значения угловых размеров этих радиоисточников и, тем самым, на необходимость их учета при определении истинных значений квазипериодов и меры мерцаний.



Рис. 1. Формы флуктуаций интенсивности. а-дорожка записи, б-случайные отклонения. в-квазипериодические отклонения. ЗС 144, 18.08.68 г., v=60 Мид.

ւկ, 1, Ինտենսիվության ֆլուկտուացիաների ձևերը, ա—գրանցման գիծ, բ—ինտենսիվության պատանական շեղումներ, գ—ինտենսիվության բվագինարմոնիկ շեղումներ։ 3C 144, 18,08,1968 թ., ν= 60 Մնց։



Рис. 2. Зависимость среднего значения меры мерцавий f от углового расстояния радиоисточника 3С 48 от Солица с на частоте 60 Миц.

Նկ. 2. 3C 48 ռադիռաղբյուրի *f* առկայծման չափի կտխումը Արեգակից ունեցած **գ** անկյունային ճեռավորությունից, v= 60 Մճց։

Посмотрим теперь, как можно определить характерные размеры электронных неоднородностей и среднеквадратичные отклонения электровной концентрации по характеристикам мерцаний, учитывая замазытровной констракционной картины на Земле вследствие конечных угловых размеров мерцающих радиоисточников.



Рис. З. а и б-гистограммы средних квазипериодов мерцаний ЗС 48 и ЗС 144 соответственно, в и г-гистограммы отдельных квазипериодов мерцаний радиоисточников 3С 48 и 3С 144.

Նկ. 3, ա և բ-3C 48 և 3C 144 ռաղիոաղբյուրների առկայծումների միջին թվագի. պարբերությունների ճիստոգրամները. գ, դ-նույն ռադիոաղբյուրների առանձին թվագիպարբերությունների ճիստոգրամները։

Определить истинную меру мерцаний и истинный спектр квазипериодов мерцаний можно, например, если известны угловые размеры мерцающего радиоисточника 20, радиус корреляции электронных неоднородностей с и расстояние от наблюдателя до центра тяжести неоднородного слоя L_D. Используя значения угловых размеров радиоисточников 3С 48 [4] и мерцающего компонента 3С 144*, а также наиболее вероятное значение радиуса корреляции электронных неоднородностей t₀=285км [4] и принимая L₀=1 α.е., находим поправочные коэффициенты k для меры мерцаний и квазипериодов мерцаний (см., например, [5]):

$$k_{3C48} = \left[1 + 2 \left(L_0 \theta_{03C48} / \xi_0\right)^2\right]^{1/2} = 1.4, \quad k_{3C144} \left[1 + 2 \left(L_0 \theta_{03C144} / \xi_0\right)^2\right]^{1/2} = 1.27.$$

• По имеющимся у нас данным, угловой днаметр мерцающего компонента ЗС 144 на частоте 60 Мац равен 0.4.

параметры межпланетной плазмы

Полученные значения k показывают во сколько раз надо уменьшить квазипериоды мерцаний T или во сколько раз увеличить меру мерцаний f, чтобы получить истинные значения этих величин.

Размер дифракционной картины определится из $l_{110, Kapt.} = v \cdot T/k$, где v — средняя скорость дифракционной картины на Земле, равная 235 км сек [6]. В случае набега фазы на неоднородностях $\Delta s_0^2 < 1$ размер электронных неоднородностей межпланетной плазмы равен размеру дифракционной картины от точечного источника $l_{neol.} = l_{300}$. Карт. Можно определить и радиусы корреляции электронных неоднородностей t_0 и радиус корреляции дифракционной картины от точечного источника t_0 . Поскольку при $\Delta s_0^2 < 1$, $t_0 = t_0$, то в случае гауссовского вида автокорреляционной функции дифракционной картины на Земле $\xi_0 = t_0 = \frac{vT}{2.6 k}$.

По известным значениям истинной меры мерцаний $f_{\text{ист}} = kf$ и истинного радиуса корреляции неоднородностей ξ_0 определяем среднеквадратичное отклонение электронной концентрации [3, 7]. В случае тонкого фазового экрана среднеквадратичная мера мерцаний $\Delta F = \frac{\overline{I^2} - (\overline{I})^2}{(\overline{I})^2}$ от слоя ΔL выражается соотношением:

$$\Delta F = 2 \overline{\Delta s_0^2} \left(1 - \frac{1}{1 + 4 \lambda^2 L_0^2 / \pi^2 \xi_0^4} \right),$$

где $V\overline{\Delta s_0^2}$ — среднеквадратичное отклонение фазы волны в слое, λ — длина волны, L_0 — расстояние наблюдателя до слоя, ξ_0 — радиус корреляции неоднородностей. Если функция корреляции ковффициента преломления имеет гауссовский вид, то

$$\overline{\Delta s_0^2} = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \sqrt{\pi} \,\overline{\Delta n^2} \,\Delta L \xi_0,$$

где $\overline{\Delta n^2} = 2 \cdot 10^{-19} \overline{\Delta N_e^2} \lambda_{\rm M}^4$, а $\sqrt{\Delta N_e^2}$ — выражено в эл/см³. В том случае, когда $\Delta L \sim L_{\rm u}$, необходимо весь неоднородный слой разбить на слои δL_i равной толщины с набегом фазы $\overline{\Delta s_i^2}$ и с соответствующим расстоянием до наблюдателя L_i . Тогда F выразится суммой

$$F = \sum_{i} \Delta F_i$$
.

Вычисления среднеквадратичного отклонения электронной концентрации $\sqrt{\Delta N_e^2}$ можно упростить, если ввести некоторую эффективную толщину слоя $\Delta L_{\rm 900b}$, которую определим по спаданию вели-

чины F от максимального значения до значения 0.5 как в сторону чины и от наблюдателя. Для больших, так и в сторону меньших расстояний от наблюдателя. Для оценки $\Delta L_{аррр}$ и соответствующего расстояния от наблюдателя L_0 необходимо задаться законом изменения $\Delta N_e^2(L)$ или $\Delta N_e^2(r)$. Примем $\Delta N_{e}^{2}(r) = \frac{\text{const}}{r^{2m}}, m = 1.75$ [8]. Для среднеквадратичного отклонения электронной концентрации окончательно получаем

$$\Delta N_e^2 = 7 \cdot 10^{10} \frac{\Delta s_0^2}{\lambda_{\rm H}^2 \Delta L_{\rm sphy} \, \rm km} \xi_0 \, \rm km$$

где $\overline{\Delta s_0^2} = \frac{1}{2} F$, а F в свою очередь связано с мерой мерцаний по максимумам f в среднем соотношением $F = 0.5 f^2$. Результаты соответствующих вычислений с использованием данных мерцаний радноисточника 3С 48 (рис. 2) приведены в табл. 1.

Tabauna 1

				11 A					
ę°	f (º/o)	F (%)	F _{HCR} . (⁰ / ₀)	L ₀ (a. e.)	∆L (a. e.)	r ₀ (a. e.)	€0 (KM)	√ <u>∆s</u> ² радваны	$V_{\Delta N_{e}^{2}}$
50	31	4.8	9.6	0.66	0.9	0.65	215	0.31	0.12
60	27	3,65	7.3	0.56	0.95	0.86	235	0.27	0.1
70	23	2.65	5.3	0.5	0.9	0.95	245	0.23	0.058
80	21	2.2	4.4	0.4	0.85	1.0	250	0.21	0.054
90	18.5	1.7	3.4	0.35	0.75	1.05	235	0.18	0.055
100	17	1.45	2.9	0.35	0.71	1.13	200	0.17	0.053
110	16	1.28	2.56	0.3	0.67	1.15	170	0.16	0.06
120	15	1.12	2.24	0.3	0.63	1.18	150	0,15	0.057

Как видно из рис. 2, кривая мер мерцаний квазара ЗС 4В на частоте 60 Миц имеет загиб на угловых расстояниях, меньших 30°. Причина такого поведения пока не совсем ясна. Поэтому наши вычисления $\sqrt{\Delta N_{\bullet}^2}$ произведены для $\varphi > 40^\circ$.

Полученные нами значения $V \overline{\Delta N_{*}^{2}}$ в среднем почти в 1.5 раза меньше соответствующих величин, приведенных в [3] и почти в 2 раза меньше значений, полученных в [2].

Для грубого значения электронной концентрации межпланетной среды на расстоянии $L_0 = 1 \ a. e.$ возьмем значение $N_e = 6 \ s_A/c_M^3$ [9], тогда $\frac{\Delta N_{\bullet}}{N_{\bullet}}$ на этом расстоянии составит 1 $^{\circ}/_{0}$.

Вернемся теперь к гистограммам квазипериодов мерцаний. На гистограммах средних квазипериодов мерцаний (рис. 3 а, б) по оси

70

абсцисс, кроме значений \overline{T} , нанесены также значения средних размеров неоднородностей, определяемые как $\overline{l}_{\text{исол.}} = \frac{v\overline{T}}{k}$, и значения радиусов корреляции неодноростей (характерных размеров), определяемые как $\overline{\epsilon}_0 = \frac{v \cdot \overline{T}}{2.6 \ k}$. Из приведенных гистограмм гадиусов корреляции неоднородностей видно, что наиболее вероятное значение радиусов корреляции неоднородностей приходится на величину около 300 км, что почти в 2 раза больше значений радиуса корреляции межпланетных неоднородностей, приведенных в [1-3]. Значению $\overline{\epsilon}_0 = 300 \ \kappa m$ соответствует средний размер неоднородностей около 750 км. Имеется большой разброс радиусов корреляции неоднородностей: от 130 до 700 км. Рассмотрение гистограмм отдельных квазипериодов мерцаний (рис. 3 в, г) показывает, что наиболее вероятное значение размеров неоднородностей лем, равно 500 \div 600 км, а спектр размеров неоднородностей простирается от 170 до 2000 км.



Рис. 4. Зависимость средних квазипериодов мерцаний *Т* от углового расстояния от Солнца. Точки представляют усредненные за 10° значения средни хквазипериодов; а — радиоисточник 3С 48, 6 — радиоисточник 3С 144.

`հկ.4. Միջին քվազիպարբ**Երությունն**Երի՝ T կախումը ռադիոաղբյուրի՝ Արեգակից ունեցած **անկյունային ճեռավորությունից։ Կետերը** ներկայացնում են քվազիպարբերությունների արժեքները միջինացված 10°-ի վրա. ա−3C 48 ռադիոաղբյուր, բ−3C144 ռադիոաղբյուր։

По нашим данным, имеется определенная зависимость значений средних квазипериодов мерцаний \overline{T} от углового расстояния φ радиоисточника от Солнца. На рис. 4 приведены зависимости значений средних квазипериодов мерцаний, усредненные за 10°, от углового расстояния φ от Солнца для радиоисточников 3С 48 и 3С 144. Из обеих кривых видно, что с увеличением углового расстояния радиоисточника от Солнца средние квазипериоды мерцаний увеличиваются. Но на некотором угловом расстоянии (для 3С 48 — 80°, а для 3С 144 — 50°) имеется максимум квазипериодов. При дальнейшем удалении радиоисточника от Солнца квазипериоды уменьшаются и как будто стремятся к значению около 3 *сек*. Отношение максимального значения к мини-

мальному по имеющимся данным составляет приблизительно 1,5. В связи с этим интересно было бы получить ход кривых $\overline{T}(\varphi)$ на угловых расстояниях $\varphi < 22^{\circ}$.

С целью выявления корреляции мерцаний на разных частотах радиоисточник 3С 48 наблюдался одновременно на 86 и 60 Мии, а 3С 144 — на 86, 60 и 40 Мии.

По одновременным записям на разных частотах вычислялись функции частотной корреляции:

$$B(\tau) = \frac{\overline{\Delta I_{v_{k}}(t) \cdot \Delta I_{v_{k}}(t+\tau)}}{\left[\overline{\Delta I_{v_{k}}^{2}(t) \cdot \Delta I_{v_{k}}^{2}(t)}\right]^{1/2}}$$

Расчет был проведен на ЭВМ "Наири".

В большинстве случаев функции частотной корреляции были сдвинуты относительно нулевого пространственного (временного) разноса. Рис. 5 представляет типичные функции частотной корреляции мерцаний с характерным сдвигом. Такой сдвиг функции частотной корреляции можно объяснить дисперсией горизонтальной рефракции.



Рис. 5. Функции частотной корреляции с характерным сдвигом относительнонулевого пространственного (временного) разноса.

а-радноисточник 3С 48, 18.06.1968, v1-v2=50-86 Миц,

6-радионсточник ЗС 144, 19.07.1968, v1-v2=60-86 Миу,

в-радиоисточник 3С 144, 31.07.1968, v1-v2=40-60 Мгц.

Интервалы по времени $\Delta \tau = 0,375$ сек.

Նկ․ 5. Զրո տարածական (ժամանակային) կալակման նկաամամբ շեղում ցուցաբերած մի բանի հաճախային կոռելացիոն ֆունկցիաներ,

w-3C 48 nunphnunpjnip, 18.06.1968, v1-v2=60-86 Uffg,

F-3C 144 nunhamqparp. 19.07,1968, v1-v2=60-86 Ufag.

q-3C 144 nunphnungpinip, 31.07.1968, v1-v2=40-60 Ufig.

72

Сдвиг функции частотной корреляции Δ-0 дает возможность вычислить интегральное значение градиента электронной концентрации в радиальном направлении от Солнца. Согласно [10, 11],

$$\left(\frac{\partial N_e}{\partial r}\right)_{\text{no.m.}} = \int_{U} \frac{\partial N_e}{\partial r} \, dL = \frac{v \,\Delta \tau_0 \,(1 - \delta^2) \,2\pi m \,\overline{v^2}}{4L_0 \delta e^2 \sin \psi},$$

где е и m—заряд и масса электрона, v—скорость дифракционной картины на Земле, $\Delta \tau_0$ —сдвиг частотной корреляционной функции относительно нулевого пространственного разноса, L_0 —расстояние наблюдателя до неоднородного слоя, $\delta = \frac{v_1 - v_2}{v_1 + v_2}$, $\overline{v} = \frac{1}{2}(v_1 + v_2)$, ϕ —угол падения луча на неоднородный слой. В табл. 2 приведены результаты вычислений $\int_0^{\infty} \frac{\partial N_e}{\partial r} dL$ по сдвигу частотной корреляционной функции относительно нулевого пространственного разноса. Угол падения луча на неоднородный слой вычислялся по формуле $\phi = \arccos \frac{L_0^2 + r_0^2 - 1}{2r_0L_0}$, где $r_0 = \sqrt{1 + L_0^2 - 2L_0 \cos \varphi}$ — расстояние центра тяжести неоднородного слоя от Солнца.

Таблица 2

Дата наблюдения	Радно- источник	(M113)	ç0	L ₀ (a. e.)	r ₀ (a.e.)	ųο	∆-0 (сек) [² 0	$\frac{\partial N_e}{\partial r} dL (\mathfrak{s}\mathfrak{s}\mathfrak{s})$
20.04.68	3C144	60-40	50	0.7	0.77	85	0.75	285
18.06.68	3C48	86-60	55	0.65	0.83	84	0.375	153
19.06.68	3C144	86-60	32	0.85	0.55	90	0.375	118
19.06.68		86-60	32	0.85	0.55	90	0.375	118
21.07.68		86— 6 0	34	0.84	0.55	89	0.375	122
31.07.68		60-40	44	0.71	0.71	89	0.375	140
4.08.68	11	60-40	50	0.70	0.77	85	0.75	300
6.08.68	17	60-40	52	0.68	0.8	85	0.187	<75
8.08.68	11	60-40	54	0.66	0.83	84	0.375	150
14.08.68		60-40	60	0.6	0.87	83	0.187	<85
20.08.68	u	60-40	66	0.54	0.92	82	0.187	<92

В заключение автор благодарит Г. Г. Гетманцева и Л. М. Ерухимова за указание на важность данной темы, В. В. Виткевича за любезное разрешение проведения наблюдений на ДКР-1000 и сотрудников РАС ФИАН П. Д. Цыганкова, В. В. Иванову и С. Я. Калугина за помощь в проведении наблюдений на ДКР-1000.

ય. ૧. ΦULULSUL

ሆԻደሆበԼበՐԱԿԱՅԻՆ ՊԼԱԶՄԱՅԻ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԻ ՔԱՆԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԸ 60 <mark>ՄՀՑ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ</mark> ՎՐԱ ԿԱՏԱՐՎԱԾ ԱՌԿԱՅԾՈՒՄՆԵՐԻ ԳԻՏՈՒՄՆԵՐԻՑ

Ամփոփում

Որոշված են 60 Մնց Հաճախության վրա միջմոլորակային պլաղմայի ան-Համասեռությունների վրա 3C 48 և 3C 144 ռադիոաղբյուրների առկայծումների հատկանիշները։ Դրանց հիման վրա որոշված են միջմոլորակային էլեկտրոնային անհամասեռությունների չափերն ու էլեկտրոնային խտության ֆլուկտուացիաների միջին քառակուսային արժեքները՝ հաշվի առնելով առկայծող ռադիոաղբյուրների վերջավոր չափերով պայմանավորված դիֆրակցիոն պատկերի աղավաղումը Երկրի վրա։

Ցույց է տրված, որ ռադիոաղբյուրների՝ Արեգակից ունեցած անկյունային տարբեր հեռավորություններին համապատասխանող քվաղիպարբերություննե րի արժեքներն ունեն մի մաքսիմում, և որ անկյունային հեռավորության հետագա մեծացման կամ փոբրացման դեպքում քվաղիպարրերությունները փոբրանում են։

Տարբեր հաճախությունների վրա (86, 60, 40 ՄՀց) առկայծումների միածամանակյա դիտումների հիման վրա հաշվված են առկայծումների հաճախային կոռելացիոն ֆունկցիաները և ըստ վերջիններիս տեղաշարժի զրո տարածական (ժամանակային) կալակման նկատմամբ ստացված են էլեկտրոնային խտության գրադիենտի ինտեգրալ արժեջները Արեգակից ռաղիալ ուղղություններով։

V. G. PANAJIAN

SOME PARAMETERS OF INTERPLANETARY PLASMA IRREGULARITIES FROM SCINTILLATIONS AT 60 MHz

Summary

The characteristics of the scintillations of the radio sources 3C48 and 3C144 on the interplanetary plazma irregularities at 60 MHz are obtained. By means of these characteristics the roof mean squere electron density fluctuations and the scale of irregularities are determined, taking into account the bluring of diffraction pattern on the Earth, caused by the finite angular dimentions of the scintillating sources.

It is shown that the mean quasiperiods versus angular separation from the Sun have a maxima: with increasing or decreasing of the angular distances from the Sun the values of the mean quasiperiods of scientillations are decreasing.

параметры межпланетной плазмы

By the simultaneous records of scintillations at different frequences (86,60,40 *MHz*) the frequency correlation functions were computed and by their shifts in relation to zero space delay the integral values of the gradients of electron density in radial distance from the Sun are calculated.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Hewish et al., Nature, 209, 1188, 1966.

2. M. H. Cohen et al., Ap. J., 147, 449, 1967.

3. Т. Д. Антонова, В. В. Виткевич, Астров. ж. 45, 991, 1968.

4. В. Г. Панаджян, Астрофизика, 5, 291, 1969

5. L. T. Little, A. Hewish, M. N., 134, 221, 1966.

6. В. В. Виткевич, В. И. Власов, Препринт, ФИАН, 1966.

7. H. A. Jomosa, YOH 95, 292, 1968.

8. В. И. Бабий и др., Астрон. ж., 42, 197, 1965.

9. M. F. Ingham, M. N., 122, 157, 1961.

10. Л. М. Ерухимов, Геомагнетнэм и аэрономия 6, 400, 1966.

11. М. П. Долуханов, Распространение радиоволи, М., 1965.