

УДК 523.164.32

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕННОСТИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА СОЛНЦЕ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА ЭВОЛЮЦИИ

А. С. Гребинский, О. В. Коробчук

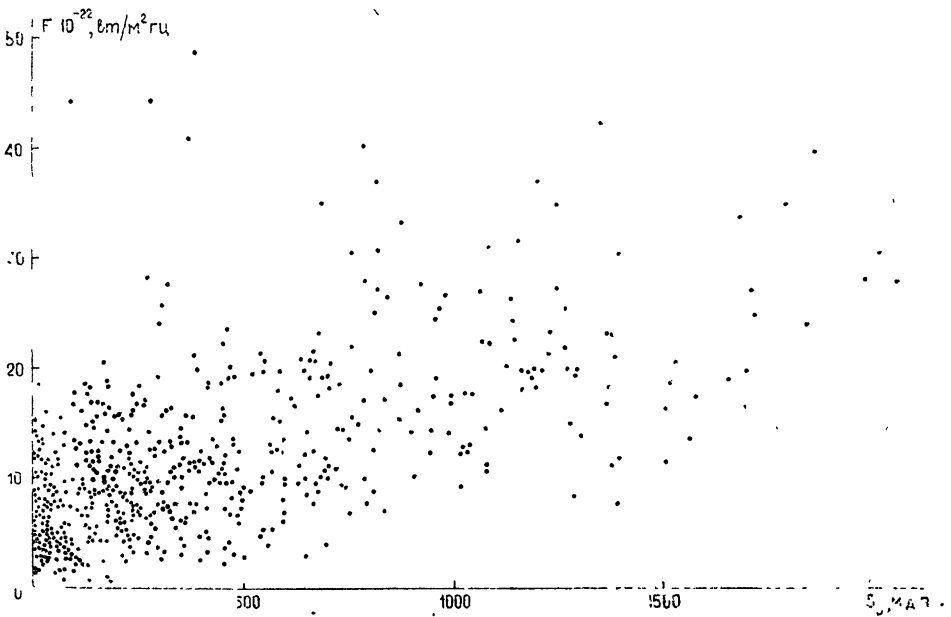
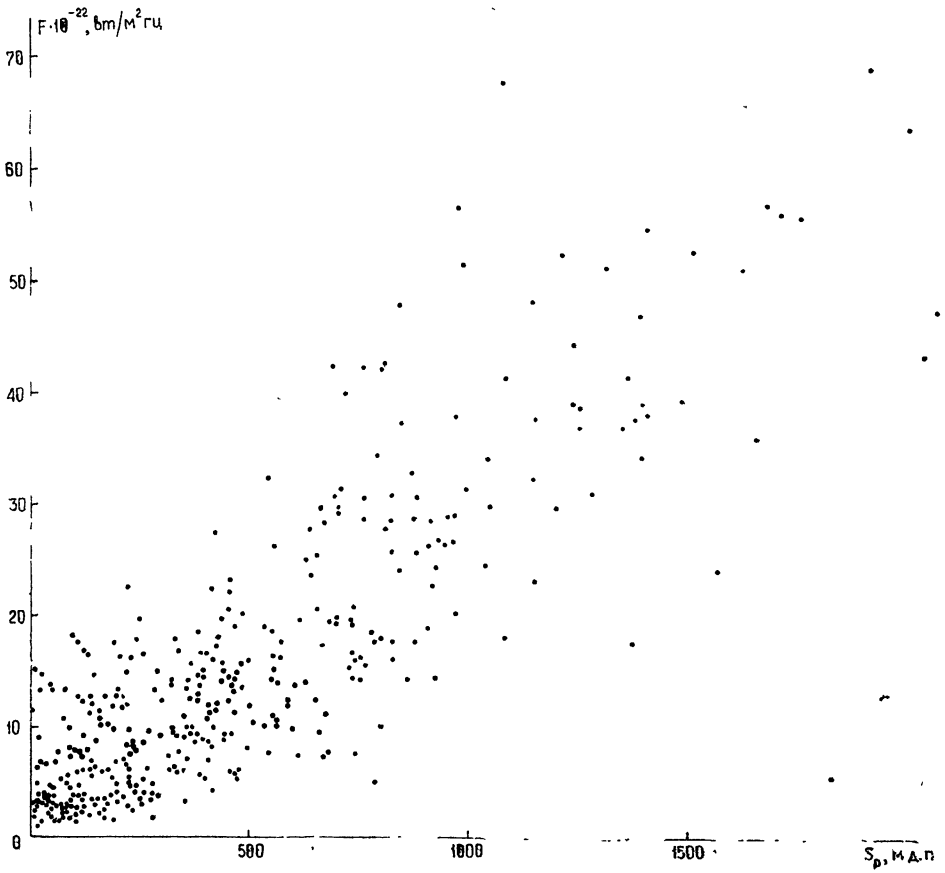
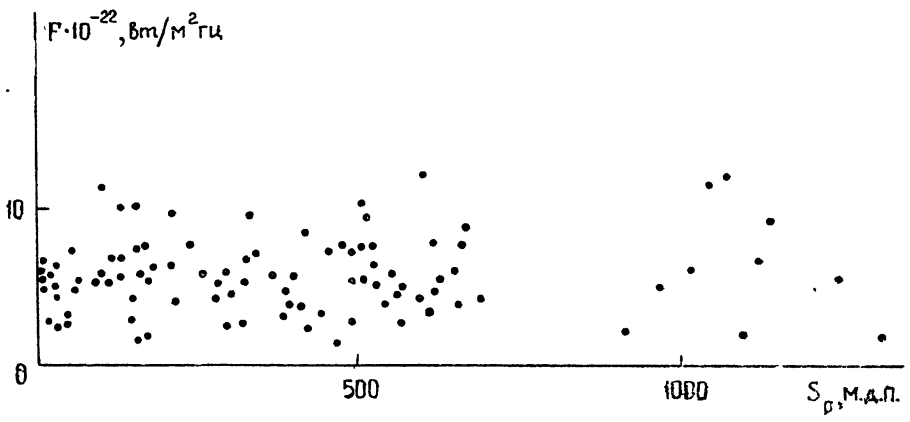
Эффект направленности излучения дает информацию о преобладающих механизмах излучения при перемещении источника по диску Солнца. Но на эффект направленности, изучаемый по перемещению источника по диску, накладывается эффект эволюции, связанный с изменением площади группы пятен, переходом в другие классы, изменением структуры группы.

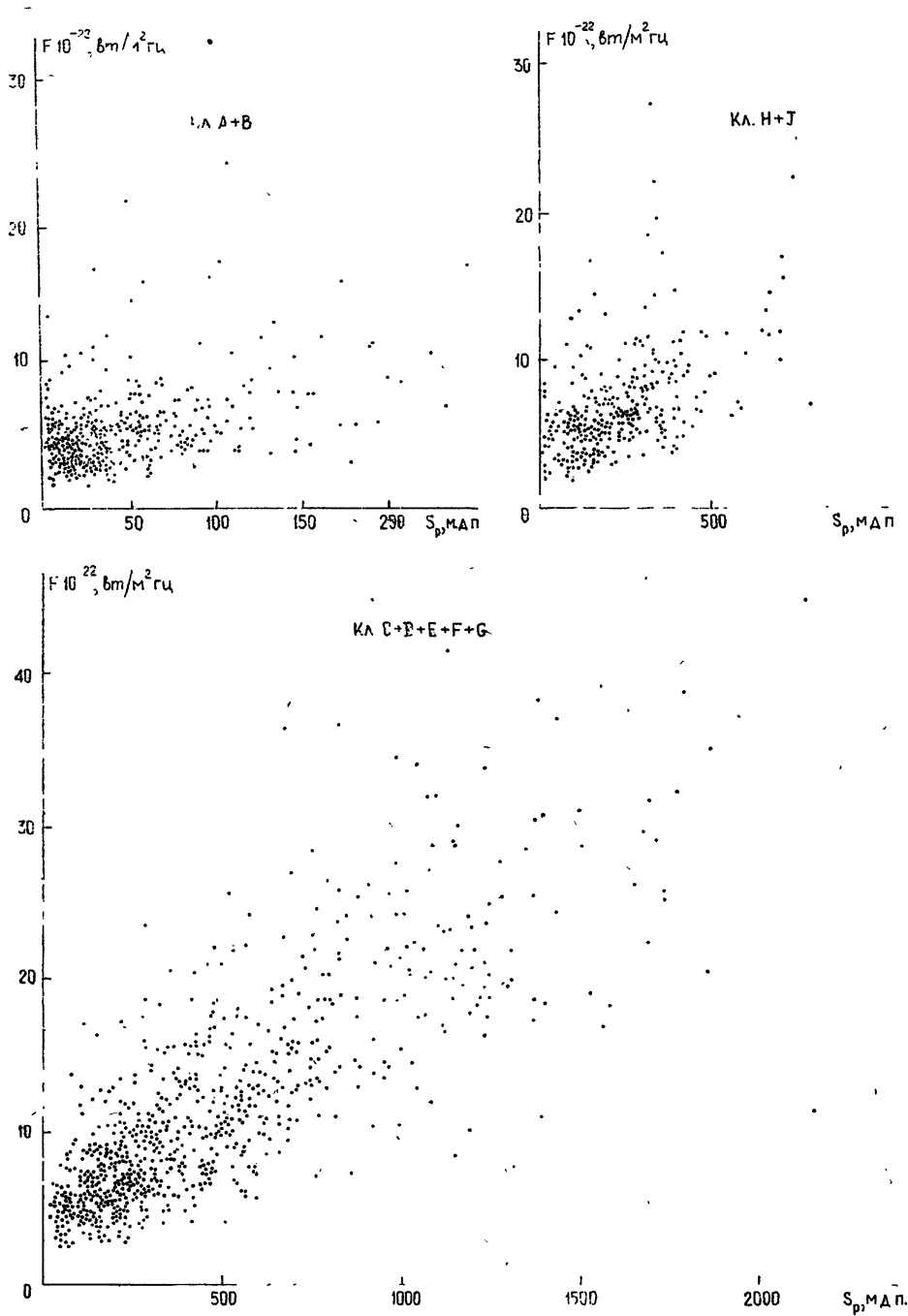
Целью настоящей работы было исследование эффекта направленности с учетом эволюции источника, для чего потребовалось 1) изучить связь оптических и радиохарактеристик групп пятен на разных волнах и 2) с учетом связи плотности потока F_u с площадью S_p рассмотреть изменение плотности потока с долготой на разных волнах.

Результаты настоящей работы основаны на статистической обработке наблюдений локальных источников радиоизлучения Солнца на волнах $\lambda = 0,86$ см [1], 6,6 см [2], 9,1 см [1] и 21 см [1] и оптических данных бюллетеня [2] за период 1966—71 гг.

Для изолированных источников изучалась статистически связь плотности потока радиоизлучения на каждой волне с площадью соответствующей группы пятен. Разделения групп по классам при этом не проводилось, однако на волне $\lambda = 9,1$ см были исключены источники, соответствующие группам классов H и J за период 1967—69 гг., обнаружившие аномальные свойства [4] на этой волне. Для исключения возможного влияния эффекта направленности рассматривались источники с долготой $|l| \leq 60^\circ$. В результате на каждой волне была определена линия регрессии $\overline{F_u}(S_p)$. Анализ рис. 1 показывает, что 1) на волне $\lambda = 0,86$ см нет зависимости плотности потока радиоизлучения от площади; среднее значение $\overline{F_u} = 5,4 \cdot 10^{-22}$ вт/м²·Гц; 2) на волнах $\lambda = 6,6; 9,1; 21$ см зависимость $\overline{F_u}(S_p)$ нелинейна; 3) на $\lambda = 21$ см заметно насыщение при площадях $S_p > 1000$ м. д. п.

Результаты работ по исследованию эффекта направленности часто весьма различны. В работе [5] по наблюдениям на $\lambda = 0,8; 3,2; 9,1; 21$ и 43 см с большим угловым разрешением сделан вывод об отсутствии заметной направленности на $\lambda = 9,1 \div 21$ см, которая проявляется как на более длинных, так и на более коротких волнах, приводя к полному исчезновению источников при $|l| > 60^\circ$ на $\lambda = 0,8$ и 43 см. На основании анализа изменения размеров φ_u и яркостной температуры $T_{я}$ с долготой сделан вывод, что излучение самого источника мало направлено на всех волнах, а наблюдаемый эффект направленности связан с поглощением излучения в вышележащих слоях атмосферы Солнца. Это совпадает с результатами исследования 10 источников на $\lambda = 0,22$ и 0,82 см [6], где отмечается слабая направленность и полное исчезновение радиоизлучения источников при $|l| > 60^\circ$.





б)

Рис. 1. Зависимость плотности потока радионизлучения $F_{\text{и}}$ от площади группы пятен S_p (1970–71 гг.):
 а) на волнах (сверху вниз) $\lambda = 0,86; 6,6; 21$ см, Кл. $A + B + C + D + E + F + G + H + J$;
 б) на волне $\lambda = 9,1$ см (по классам).

На $\lambda = 4,5 \text{ см}$ [3] отмечается сильная направленность поляризованного излучения групп классов H ($\sim \cos^2 l$) и слабая—для мультиполяризованных групп. В неполяризованном излучении отмечается некоторая направленность для групп всех классов.

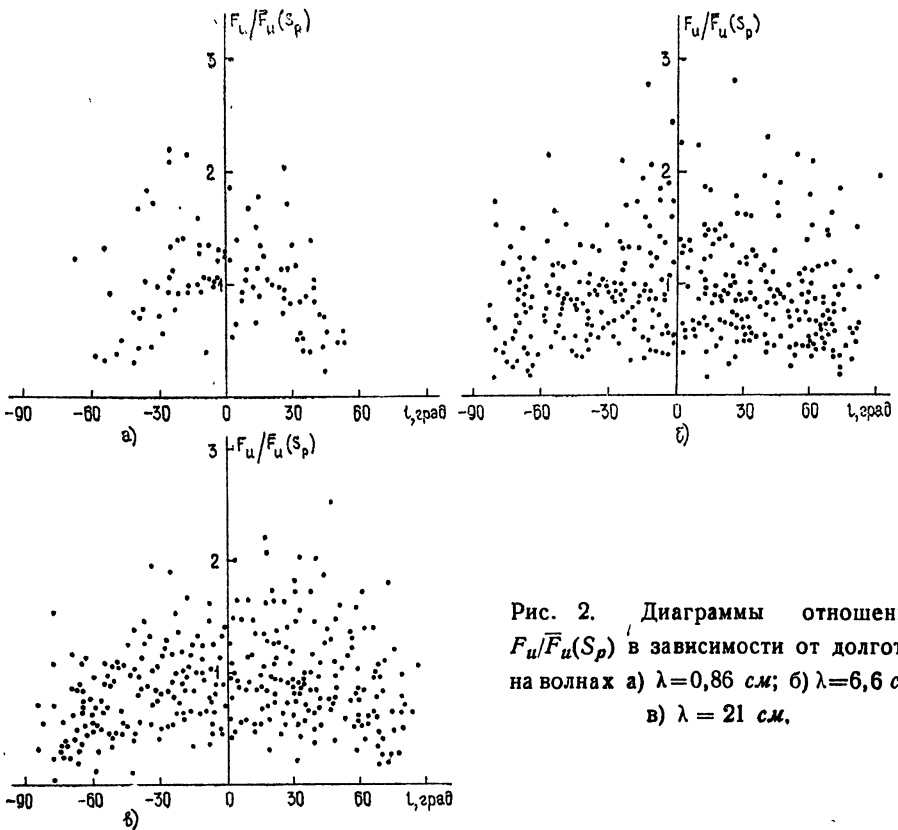


Рис. 2. Диаграммы отношения $F_u/\bar{F}_u(S_p)$ в зависимости от долготы на волнах а) $\lambda = 0,86 \text{ см}$; б) $\lambda = 6,6 \text{ см}$ в) $\lambda = 21 \text{ см}$.

Однако в [7] делается вывод о слабой направленности на $\lambda = 1,76 \text{ см}$. По исследованиям суммарных потоков S -компоненты на $\lambda = 1,76$ и $7,5 \text{ см}$ установлено отсутствие направленности на $\lambda = 7,5 \text{ см}$. Заключение основано на том, что $F_u 7,5 \text{ см}/F_u 1,7 \text{ см}$ изменяется при перемещении по диску, а отношение $F_u 7,5 \text{ см}/\cos l F_u 1,7 \text{ см}$ не меняется.

Направленность источника в зависимости от его интенсивности на волне $\lambda = 9,1 \text{ см}$, согласно [8, 9], увеличивается с ростом интенсивности. Для отдельных источников отмечается сильная направленность излучения [9] при исследовании по стенфордским картам, что не противоречит выводам работы [10]. Кроме того, в [9, 11] отмечается асимметрия кривой направленности излучения на $\lambda = 9,1 \text{ см}$, максимум которой сдвигается к востоку от ЦМ для слабых источников ($T_e < 73 \cdot 10^3 \text{ К}$), а для сильных ($T_e > 250 \cdot 10^3 \text{ К}$) соответствует ЦМ [11].

Цель настоящей работы—исследование изменения потока с долготой, учитывая изменение площади группы. С этой целью предлагается рассматривать зависимость отношения наблюдаемой величины потока к той средней величине (определяемой по линии регрессии), которая соответствует значению площади группы пятен, связанной с источником. Основанием для этого служит хорошая корреляция F_u с S_p (на волне $\lambda = 0,86 \text{ см}$ бралось среднее значение $\bar{F}_u = 5,4 \cdot 10^{-22} \text{ вт/м}^2 \cdot \text{гц}$). На рис. 2 приведены диаграммы отношения $F_u/\bar{F}_u(S_p)$ в за-

висимости от долготы l на волнах $\lambda\lambda = 0,86; 6,6; 9,1$ и 21 см. Из рисунка видно, что заметная направленность наблюдается на $\lambda = 0,86$ см ($\overline{F_u^*}|_{l=60^\circ} = 0,6$) и на $\lambda = 21$ см ($\overline{F_u^*}|_{l=60^\circ} = 0,75$) и выражена слабее на $\lambda = 6,6$ см ($\overline{F_u^*}|_{l=60^\circ} = 0,85$).

Большое число исследованных источников (~ 2000) на $\lambda = 9,1$ см позволяет изучить эффект направленности для групп разных классов (рис. 3). Анализ показывает, что направленность практически отсутству-

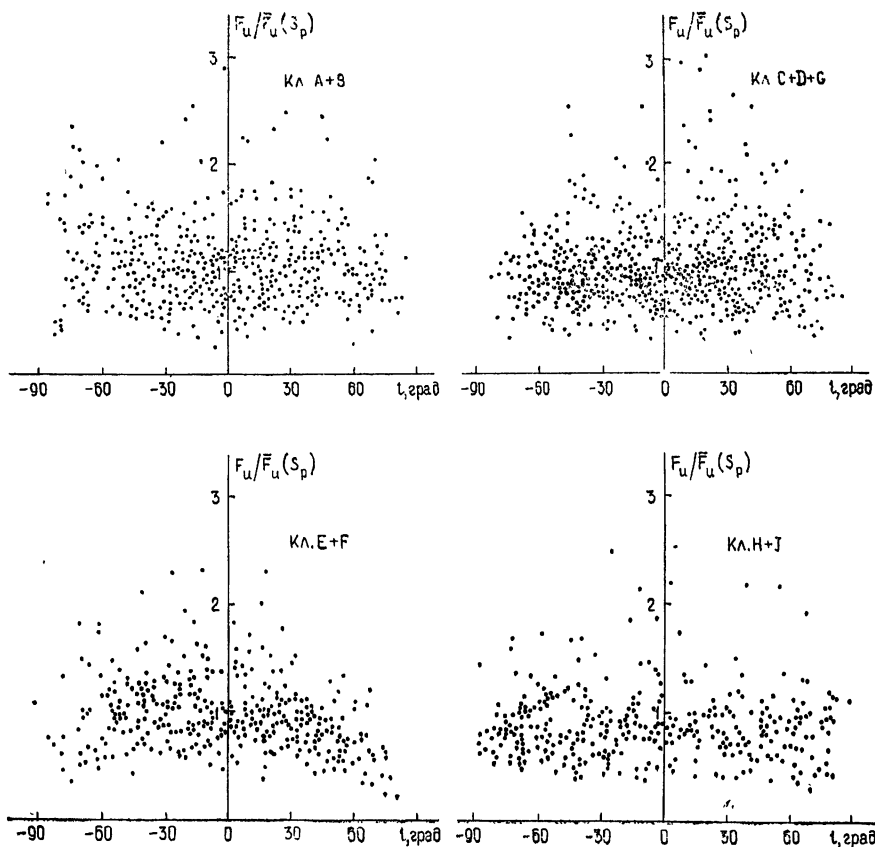


Рис. 3. Диаграммы отношения $F_u/\overline{F_u}(S_p)$ в зависимости от долготы на волне $9,1$ см для разных классов групп пятен.

ет для источников классов $A + B$ и $C + D + G$ (отдельные высокие значения величины $\overline{F_u^*}$ у лимбов могут быть связаны с неточным определением площади групп). Для классов $E + F$ направленность выражена сильнее всего ($\sim \cos l$), однако из рисунка видна некоторая асимметрия и отклонение от \cos -закона (для источников восточного полушария, что, возможно, связано с большим разбросом потоков для источников этих классов, обусловленным наличием значительного числа сильных источников, соответствующих группам больших площадей). Удельный вес таких источников в общем количестве, естественно, выше для восточного полушария, учитывая эволюцию источника.

Источники над униполярными группами классов $H + J$ обнаруживают незначительную направленность.

Полученные выше результаты отличаются от выводов работ [8, 9], что, по-видимому, связано с неучетом эффекта эволюции в этих работах. Для проверки этого предположения было проведено сравнительное изучение выборки из 20 групп пятен. Для этой выборки был произведен расчет направленности двумя методами — описанным в настоящей работе и обычным способом (изменение потока с долготой группы по отношению к потоку у центрального меридиана). Результаты сравнения показывают, что второй метод всегда приводит к заметной направленности, которая исчезает при учете эффекта эволюции.

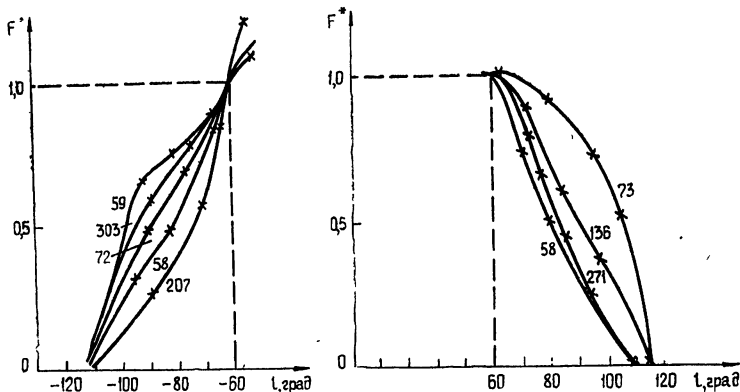


Рис. 4. Изменение плотности потока радиоизлучения источников при восходе и заходе групп пятен.

Вблизи края солнечного диска исследование источников затруднено эффектом проекции и связанным с этим увеличением погрешностей, определения как оптических, так и радиохарактеристик локальных источников и групп пятен. Для уменьшения этих погрешностей необходимо выбирать случаи захода или выхода хорошо изолированных и стабильных групп пятен. На волне 9,1 см за период 1968—69 гг. по данным [1] исследовано около 12 таких групп. На рис. 4 показано изменение плотности потока F^* (нормированного к значению при $l = 60^\circ$) при заходе и восходе группы пятен. Эти результаты хорошо описываются моделью локального источника в виде сферической конденсации, оптически толстой на волне 9,1 см, находящейся на высоте около $40 \cdot 10^3$ км над уровнем фотосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sol. Geophys. Data, ESSA, Boulder, Colorado, USA, 1966—71.
2. Солнечные данные, изд. Наука, Л., 1966—71.
3. Г. В. Гельфрейх, Н. Г. Петерова, Астрон. ж., 47, № 4, 689 (1970).
4. А. С. Гребинский, О. В. Коробчук, сб. Радиоизлучение Солнца, изд. ЛГУ, вып. 2, 45 (1973).
5. А. С. Гребинский, А. Н. Цыганов, Вестник ЛГУ, серия матем., мех., астр., № 13, 151 (1971).
6. V. A. Efanov, A. G. Kislyakov, I. G. Moiseev, A. I. Naumov, Sol. Phys., 8, 331 (1969).
7. A. Tsuchiya, K. Nagane, Sol. Phys., 1, 121 (1967).
8. G. Swarup, AAS—NASA Symp. Phys. Sol. Flares, Greenbelt, Md., 1963.
9. A. C. Riddle, Sol. Phys., 7, 434 (1969).
10. G. Swarup et al., Astrophys. J., 137, № 4, 1251 (1963),
11. U. V. Gopala Rao, Sol. Phys., 4, № 4, 428 (1968).