

## НЕЙТРАЛЬНЫЙ ВОДОРОД В ПЕРСЕЕВОМ РУКАВЕ ГАЛАКТИКИ

*Н. В. Быстрова*

По наблюдениям на Большом пулковском радиотелескопе с полосой приемника 90 кгц построены в антенных температурах изофоты нейтрального водорода в Персеевом рукаве. Исследована область неба, ограниченная галактическими долготами  $l=165^\circ$  и  $240^\circ$  и широтами  $b=-10^\circ$  и  $+10^\circ$ . В большей части этой области Персеев рукав имеет две линии максимумов. Наиболее вероятно отождествление их с ветвями, которые проявляются на достаточно однородном фоне излучения рукава. Определены галактические и  $z$ -координаты ветвей. Каждая из ветвей Персеева рукава состоит из облаков HI с размерами в несколько сот парсек. В эти облака входит лишь 15—20% газа, содержащегося в рукаве.

On the basis of observations with the Large Pulkovo Radio Telescope having a receiver band of 90 kHz the antenna temperature isophotes are constructed of neutral hydrogen in the Perseus arm of the Galaxy. The region of the sky between the galactic longitudes  $l=165^\circ$  and  $240^\circ$ , and latitudes  $b=-10^\circ$  and  $+10^\circ$  was investigated. In the most part of this region the Perseus arm has two lines of maxima. It is most probable to identify them with the branches standing out against a fairly homogeneous radiation background of the arm. The galactic and  $z$ -coordinates of the branches are determined. Each of the Perseus arm branches consists of HI clouds having dimensions of several hundred parsec. The clouds contain only 15—20 percent of the gas belonging to the arm.

### ВВЕДЕНИЕ

В 1963 г. Хёглунд [1] представил результаты наблюдений нейтрального водорода в области антицентра Галактики в форме, удобной для выделения спиральных рукавов и их деталей. На построенной им диаграмме спиральный рукав, обычно называемый Персеевым, имеет почти во всем исследованном интервале долгот ( $130-250^\circ$ ) по два максимума яркостной температуры, скорости которых различаются на 5—8 км/сек. Исключение составляет лишь область около  $l=195^\circ$ , где скорости всех рукавов близки к нулю. Была обнаружена корреляция между скоростью и галактической широтой максимумов — более далекие максимумы больше отклонялись от плоскости Галактики. Это явление было интерпретировано Хёглундом как существование двух ветвей в Персеевом рукаве; другие интерпретации, как например кольцевого сечения рукава, представлялись маловероятными. Таким образом, в результате работы Хёглунда, основанной на наблюдениях нейтрального водорода с антенной диаметром 7.5 м, были известны скорости предполагаемых ветвей и грубые сведения об их галактических широтах.

В 1963 г. отдел радиоастрономии в Пулкове располагал приемником для радиолинии нейтрального водорода с шириной полосы 90 кгц. Было решено пронаблюдать на Большом пулковском радиотелескопе (БПР) Персеев рукав в доступном интервале долгот. Полоса в 90 кгц захватывала по скорости обе ветви рукава, но за счет высокой разрешающей спо-

способности БПР предполагалось возможным выделить расположенные на разной широте детали и получить структуру ветвей в картинной плоскости. Наблюдение широтного распределения газа в зоне нулевых скоростей вблизи антицентра могло дать сведения о соединении частей рукава, расположенных по обе стороны от этой зоны. Можно отметить, что в более поздних работах, выполненных на 25-метровой и 90-метровой антеннах и посвященных исследованию нейтрального водорода в области антицентра [2, 3], тонкая структура Персеева рукава не рассматривалась.

### НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдения проводились в основном в 1964 г. на Большом пулковском радиотелескопе и состояли в получении на разных склонениях кривых прохождения через неподвижную диаграмму антенны, равную  $7'$  в горизонтальном направлении. Приемник, подробное описание которого дано в [4], имел три канала по 90 кгц, один из них настраивался на частоту Персеева рукава согласно [4]. Чувствительность при  $\tau=8$  сек. составляла

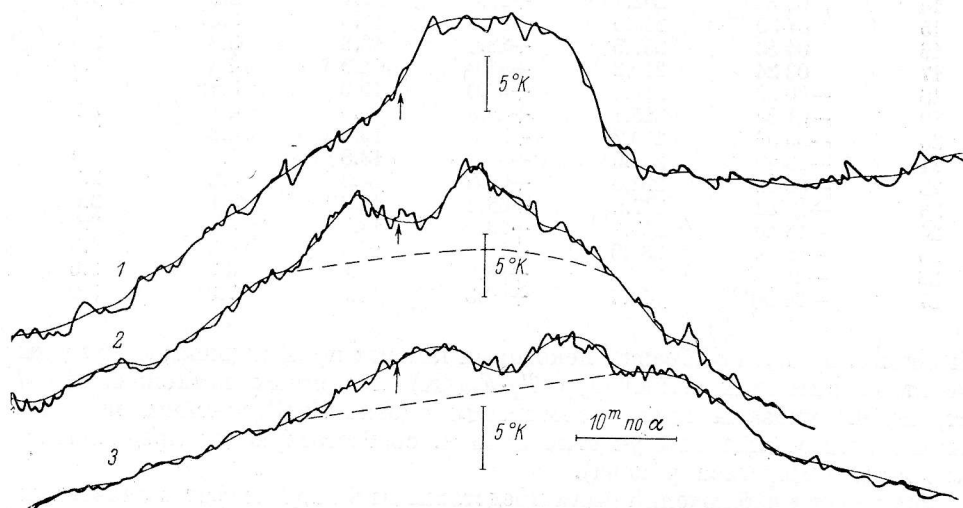


Рис. 1. Образцы усредненных кривых прохождения.

1 —  $\delta=+15^{\circ}27'$ ,  $V_r=+8$  км/сек.; 2 —  $\delta=-0^{\circ}59'$ ,  $V_r=+43$  км/сек.; 3 —  $\delta=-12^{\circ}52'$ ,  $V_r=+65$  км/сек.

$1^{\circ}$  К. Поправки за движение Земли и Солнца относились к точкам пересечения плоскости Галактики на кривых прохождения и вычислялись по таблицам [5]. Длительность каждого сечения составляла около 2 часов, чтобы охватить область галактических широт от  $+10$  до  $-10^{\circ}$ . Калибровка записей производилась с помощью шумовой газоразрядной трубки, сигнал от которой вводился в приемный тракт через калиброванный направленный ответвитель.

Обработка записей состояла в усреднении флуктуаций на интервалах в  $30^s$ , последующем усреднении нескольких записей и проведении средней линии на результирующих кривых. Склонения, на которых были получены кривые прохождения, галактическая долгота точек пересечения плоскости Галактики и скорости излучающего газа относительно местного стандарта покоя (LSR) даны в столбцах 2—4 табл. 1. Часть кривых (для 3 сечений из 27) была опубликована ранее при исследовании других объектов [6].\*

\* В получении 69 кривых прохождения для остальных 24 сечений участвовали, кроме автора, З. А. Алферова (14 кривых), В. А. Яковлев (5), Н. С. Евграфов (4), И. В. Госачинский (3), Т. М. Егорова (2), В. С. Ефименко (2).

ТАБЛИЦА 1

Характеристики кривых прохождения, полученных на БПР для Персеева рукава

Номер сечения	$\delta$	$l$ при $b = 0$	$V_r$ (LSR), км/сек.	$R$ , кпс	$r$ , кпс	$\Delta r$ , кпс
1	40°30'	166°0	-08.0	11.2	1.2	3.2
2	37 46	169.1	-13.0	12.8	2.8	5.1
3	35 31	172.0	-10.0	13.1	3.1	7.6
4	33 16	174.7	-08.0	13.9	3.9	13.5
5	30 46	177.7	-06.0	—	—	—
6	28 16	180.7	-04.0	—	—	—
7	26 16	183.0	+03.0	12.3	2.3	~19
8	24 16	185.3	+05.0	12.2	2.2	~11
9	22 36	187.3	+09.0	13.0	3.0	~9
10	19 56	190.3	+06.0	11.2	1.2	4.4
11	17 28	193.2	+08.0	11.3	1.3	3.4
12	15 27	195.5	+08.0	11.1	1.1	3.0
13	12 40	198.7	+15.0	11.8	1.9	2.6
14	09 39	202.1	+25.0	12.7	2.9	2.9
15	07 30	204.5	+32.0	13.3	3.5	2.7
16	04 53	207.5	+38.0	13.6	3.9	2.5
17	02 24	210.3	+45.0	14.0	4.5	2.6
18	-00 59	214.1	+43.0	13.3	3.8	2.1
19	-01 54	215.1	+49.0	13.8	4.4	2.2
20	-05 56	219.7	+53.0	13.6	4.2	2.0
21	-06 40	220.5	+55.0	13.8	4.5	2.0
22	-08 12	222.3	+63.0	14.3	5.2	2.2
23	-12 52	227.6	+65.0	14.0	5.1	2.0
24	-16 10	231.3	+73.0	14.3	5.7	2.1
25	-18 18	233.8	+76.0	14.4	6.0	1.9
26	-20 40	236.5	+84.0	14.8	6.7	2.0
27	-26°00'	242°7	+90.3	14.9	7.3	2.0

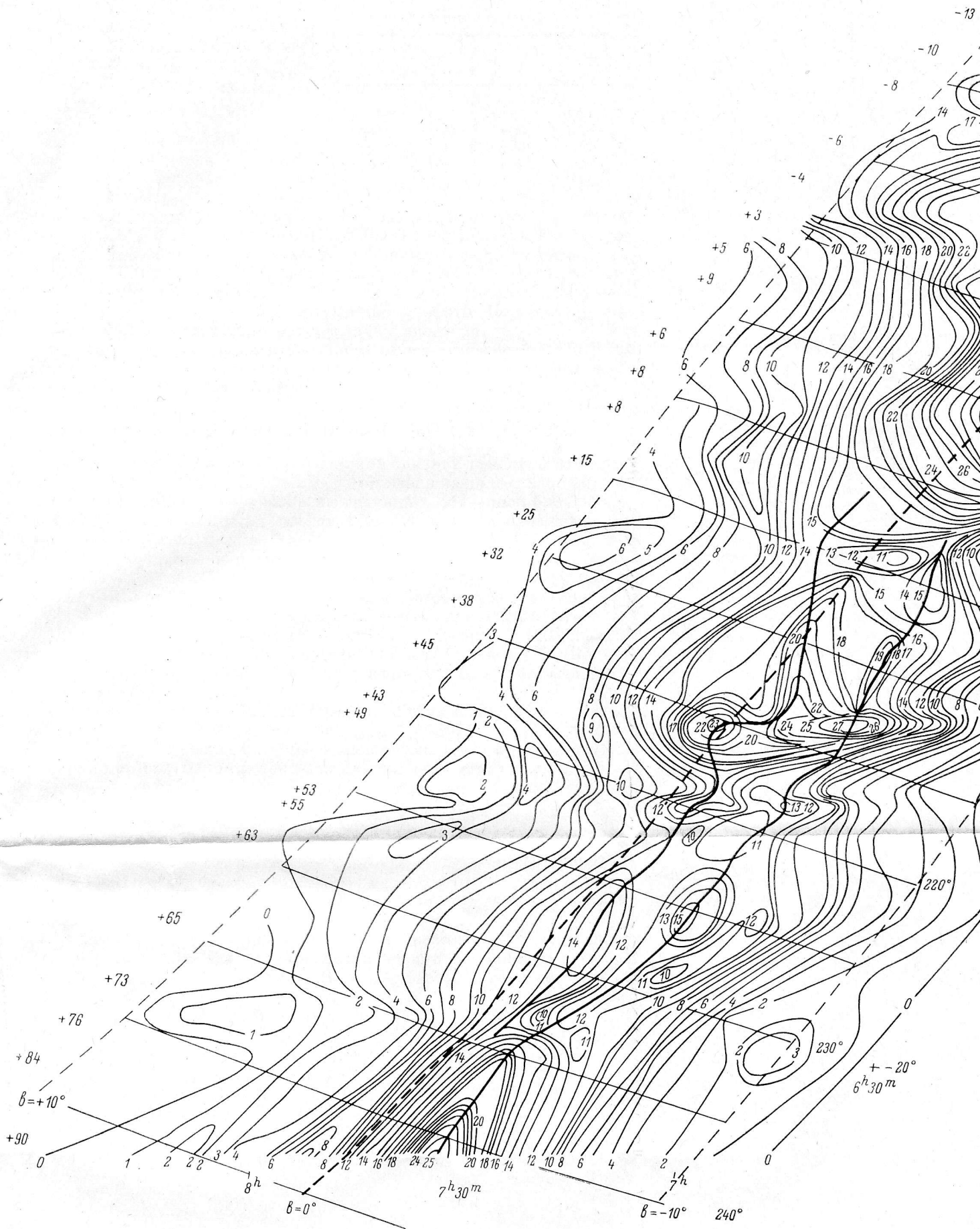
На рис. 1. показаны образцы некоторых кривых прохождения; приведены масштабы антенных температур  $T_a \cdot F$  ( $^{\circ}\text{K}$ ) и прямых восхождений ( $\alpha$ ) (стрелками указаны точки пересечения плоскости Галактики, штриховыми линиями отделены участки записи, соответствующие предполагаемым ветвям Персеева рукава).

Результаты наблюдений были представлены в виде изофот в значениях антенной температуры. Такой способ является достаточно удобным для решения поставленных задач.

#### ПОСТРОЕНИЕ ИЗОФОТ ПЕРСЕЕВА РУКАВА

Изофоты были построены в экваториальных координатах  $\alpha$  и  $\delta$  (1950.0) через интервал в  $1^{\circ}$  антенной температуры, приведенной к зоне склонений, в которой эффективность БПР максимальна. Изменение эффективной площади БПР с высотой было определено нами в [7] для части антенны (70 щитов), а затем и для случаев установки действительного количества щитов БПР с использованием уточненных значений потоков. В табл. 2 даны полученные редуцированные величины  $F$  для приведения антенной температуры к зоне максимальной эффективности БПР. Для построения изофот служили значения  $F \cdot T_a$ , где  $T_a$  — антенная температура, определенная при калибровке по шумовой трубке.

На части сечений при двухчасовых записях нулевой уровень не был достигнут. Для установления нулевой линии на каждой из записей и ликвидации аппаратного дрейфа нуля в предположении его линейного хода были использованы профили радиолитии Н1 из работ [8—10]. По профилям, взятым близко к границам наших записей, определялась яркостная температура на соответствующей скорости, усредненная по



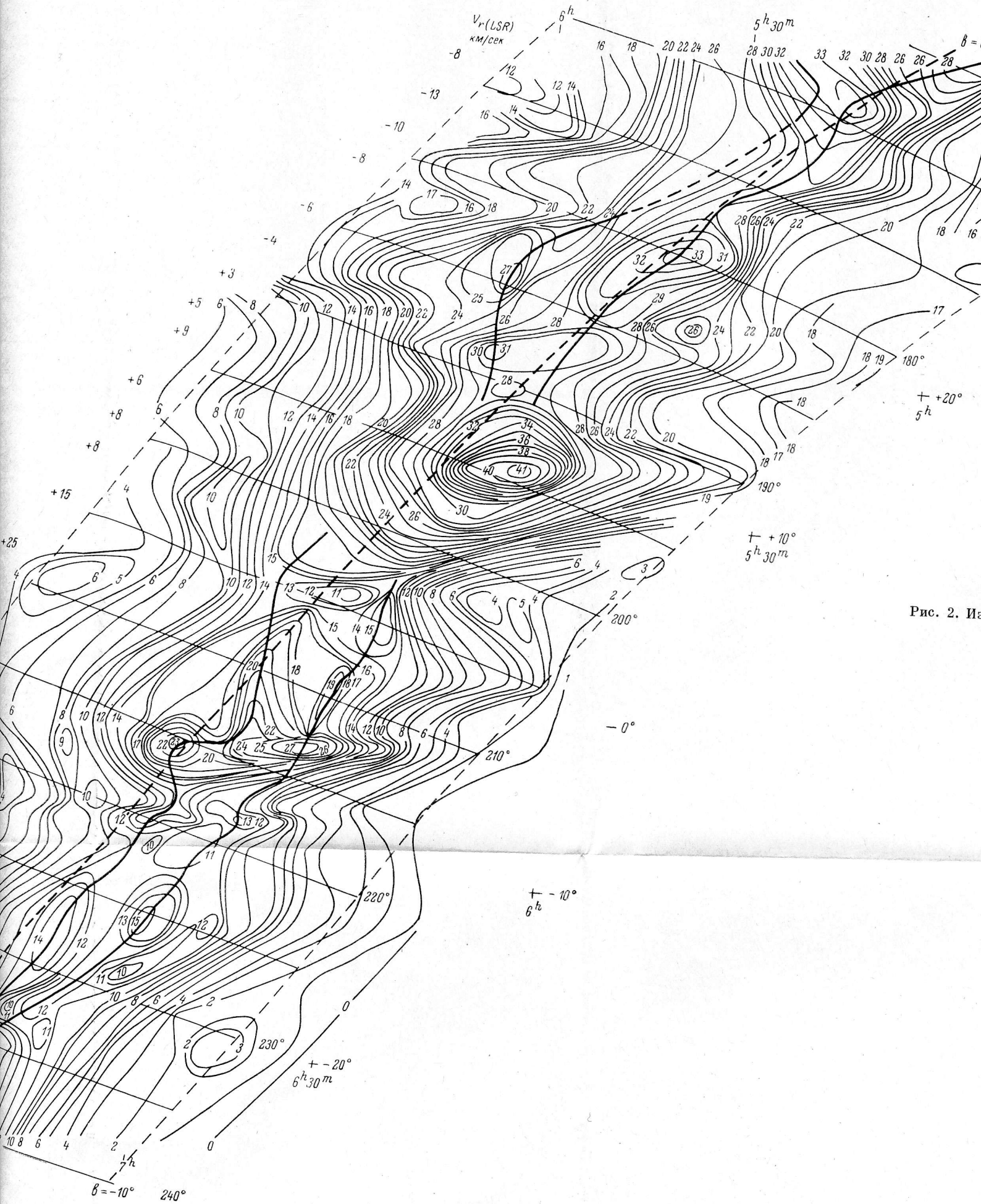


Рис. 2. Из

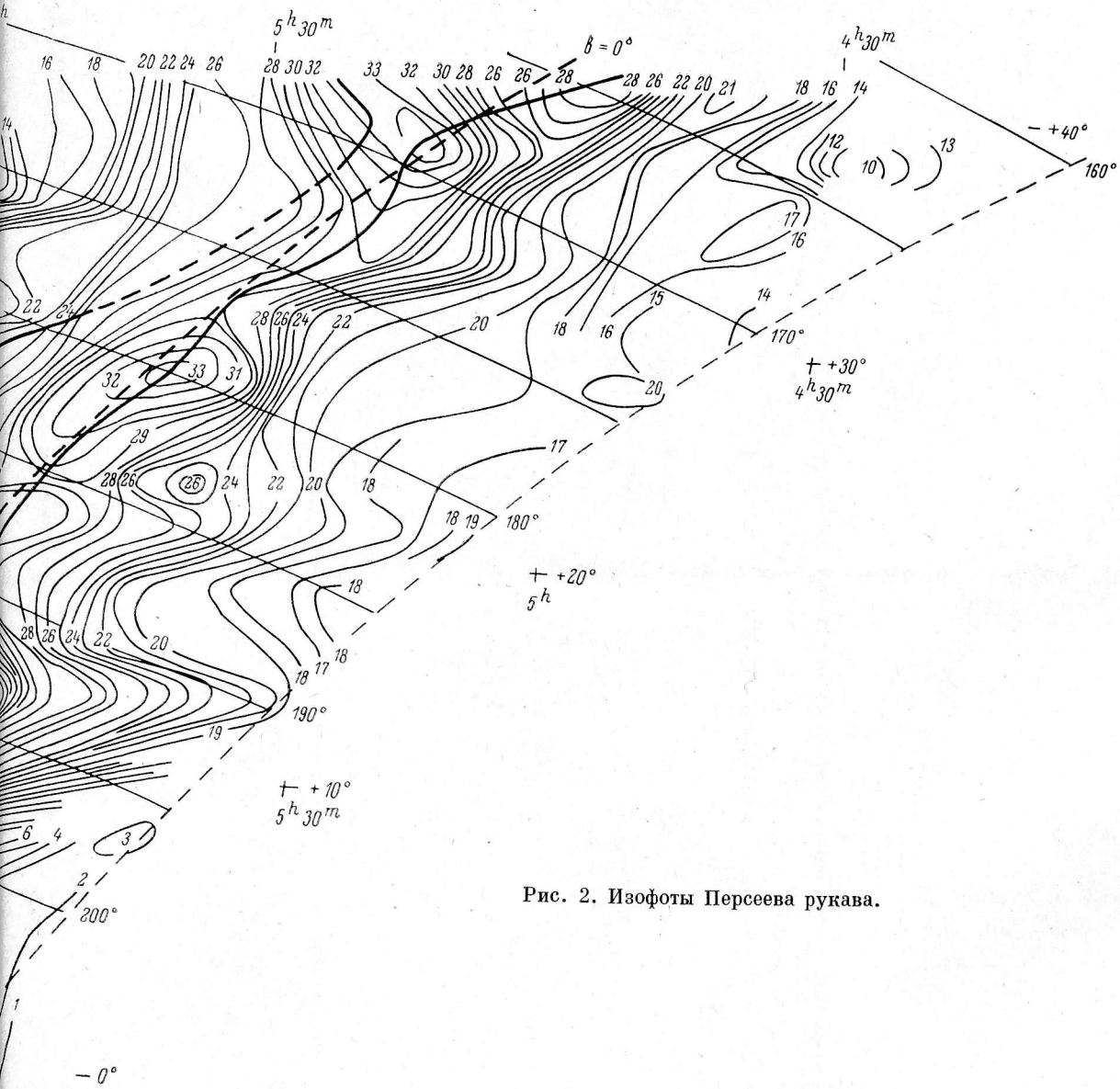


Рис. 2. Изофоты Персея рукава.

10°

прямоугольной полосе в 90 кгц. При этом учитывалось возможное изменение настройки приемника (по отношению к местному стандарту покоя) на краях записей из-за того, что вносилось лишь одно фиксированное значение поправки за движение Земли и Солнца, отнесенной к точке пересечения плоскости Галактики.

Соотношение между яркостной и антенной температурами для протяженных объектов, проходящих через диаграмму БПР, имеет вид

$$F \cdot T_a = 0.43 T_b \quad (*)$$

Оно было получено из наблюдений области с центром около  $\alpha = 15^h 30^m$ ,  $\delta = -2^\circ 16'$  [11], в которой, согласно [12], интенсивность, полуширина

и центральная частота радиолитии НИ относительно постоянны на участке неба размером  $6^\circ \times 6^\circ$ . Было учтено соотношение между полушириной радиолитии и использованной нами полосой приемника. Можно надеяться, что формула (\*) будет справедливой на границах записей ( $b = \pm 10^\circ$ ), так как на этих широтах распределение НИ более сглажено, чем в плоскости Галактики. На рис. 2 приведены полученные изофоты Персеева рукава с интервалом  $1^\circ$  антенной температуры; даны экваториальные (1950.0) и галактические координаты; указаны скорости излучающего газа относительно местного стандарта покоя; жирными линиями обозначены предполагаемые ветви Персеева рукава.

ТАБЛИЦА 2

$\delta$	$F$	$\delta$	$F$
$-30^\circ$	1.00	$+10$	1.11
$-20$	1.00	$+20$	1.23
$-10$	1.00	$+30$	1.49
0	1.02	$+40^\circ$	1.80

#### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗОФОТ ПЕРСЕЕВА РУКАВА

Как видно из рис. 2, нулевой уровень или близкий к нему достигнуты на границах записей лишь для  $l > 220^\circ$ . Для меньших долгот наблюдается более или менее сильное излучение на границах, обязанное близко расположенному газу. В области долгот  $180-200^\circ$  эта «подложка» асимметрична относительно  $b$ : для  $b = -10^\circ$   $T_a$  примерно вдвое больше, чем для  $b = +10^\circ$ . Максимальная антенная температура в  $41^\circ$  К имеет место около  $l = 194.5$ ,  $b = -2.5$ , в так называемом «горячем пятне» [2], или объекте  $d$  [13]. Хотя Раймонд [13] считает, что этот объект связан с темным облаком, расположенным поблизости, необходимо учесть, что в области антицентра как раз около этой долготы, а не при  $l = 180^\circ$ , наблюдаются наиболее близкие к нулю скорости для всех рукавов [1]. Поэтому здесь особенно сильно переналожение излучения газа и, в частности, деталей Персеева рукава.

Для  $200^\circ < l < 235^\circ$  на изофотах четко заметно наличие двух максимумов, несколько менее отчетливы они для  $l < 190^\circ$ . Если соединить, подобно Хёглунду, близкие по широте максимумы, то получатся две линии, одна из которых мало отклоняется от плоскости Галактики, а вторая отклоняется от нее сильнее и для  $l < 195^\circ$  проходит в области положительных широт.

На рис. 3 в верхней части в координатах  $l$  и  $b$  изображены полученные линии. Указаны также интервалы широт, приведенные в работе Хёглунда для раздвоенных максимумов в профилях линии НИ для Персеева рукава. Близкий по широте ход полученных нами линий и ветвей Хёглунда свидетельствует, вероятно, об их тождественности. Для определения  $z$ -координат ветвей было проделано следующее.

Чтобы определить по лучевым скоростям расстояния  $r$  от Солнца до излучающего газа и для оценки протяженности  $\Delta r$ , соответствующей полосе в 90 кгц ( $\Delta V_r = 19$  км/сек.), Э. А. Алферовой были составлены

программы для ЭЦВМ на основании численных значений, рекомендованных в [14]:  $R_0=10$  кпс,  $\omega(R, 0)=885.44 \cdot R^{-3/2} - 30\,000 R^{-4}$  км·сек. $^{-1}$ ·кпс $^{-1}$  ( $R$  — в кпс) и  $\omega_0=25$  км·сек. $^{-1}$ ·кпс $^{-1}$ . Здесь  $R_0$  — расстояние от Солнца до центра Галактики,  $\omega$  — угловая скорость вращения на расстоянии  $R$  от центра в плоскости Галактики,  $\omega_0$  — угловая скорость для местного стандарта покоя. Программы для вычисления  $R$ ,  $r$  и  $\Delta r$  были рассчитаны по обычным формулам кругового вращения Галактики с интервалом в  $1^\circ$  по  $l$  и  $0.1$  кпс для  $R$ . Полученные значения  $R$ ,  $r$  и  $\Delta r$  даны в столбцах 5—7 табл. 1. При определении расстояния  $r$  до ветвей учитывалось различие между их лучевыми скоростями согласно [1]. По  $r$  и  $b$  были получены  $z$ -координаты ветвей, приведенные в нижней части рис. 3. Там же круж-

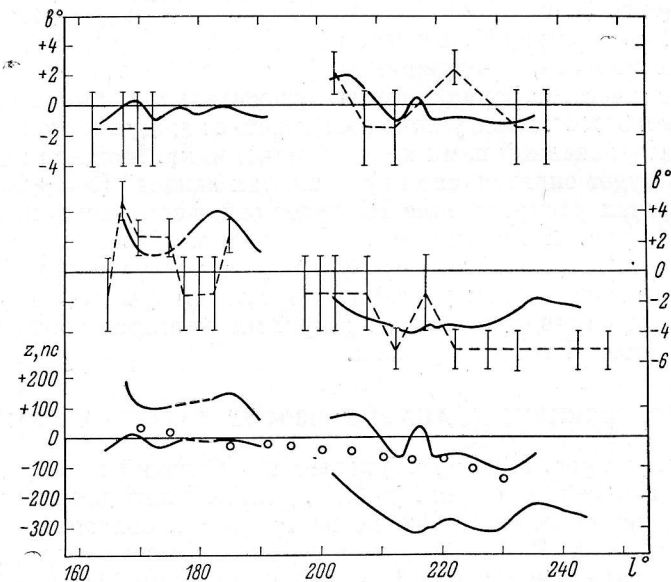


Рис. 3. Галактические и  $z$ -координаты ветвей Персея рукава.

ками обозначены положения центроидов водородного распределения по Хендерсону [3], которые характеризуют среднюю  $z$ -координату для рукава в целом. Величины отклонения центроидов от плоскости Галактики получались из графиков [3] как средние для участков  $\Delta r$ , соответствующих полосе в  $90$  кпс, на расстояниях  $r$ , взятых из табл. 1. Сравнение  $z$ -координат центроидов и ветвей (см. рис. 3) показывает, что имеет место общий ход их изменения с долготой — переход от отрицательных  $z$  к положительным с уменьшением  $l$ . Численным значениям  $z$  для центроидов близки в среднем лишь  $z$ -координаты низкоширотной ветви, имеющие при этом значительные флуктуации. Высокоширотная ветвь систематически сильно, до  $200$  пс и более, отклоняется от линии центроидов сначала к югу, а затем к северу по мере убывания  $l$ . Находящаяся к северу от плоскости Галактики часть ветви выделяется на изофотах менее уверенно. Если это единая ветвь, переходящая через плоскость Галактики около  $l \approx 195^\circ$ , то возникает вопрос о причине такого ее расположения внутри рукава.

Из рис. 2 видно, что каждая из ветвей Персея рукава состоит из отдельных облаков HI, расположенных на достаточно однородном фоне излучения рукава. Из работы [15], выполненной с небольшим разрешением, было известно, что спиральный рукав в целом состоит из больших облаков газа с размерами порядка  $1000$  пс. Облака, составляющие ветви рукава,



имеют размеры в несколько сот парсек. Картина изофот рукава удобна для выделения облаков. По некоторым записям для  $l > 210^\circ$ , где на краях достигается нулевой уровень сигнала или близкий к нему, можно было оценить долю газа, приходящуюся на ветви. Для этого на записях (см. рис. 1, кривые 2 и 3) было разделено излучение фона рукава и излучение ветвей и подсчитаны площади, занимаемые ими на графиках. При далеко неочевидном предположении, что температура возбуждения Н I одинакова для фона и ветвей, и при малой оптической толщине газа в этой части Персеева рукава получается, что в облаках ветвей заключено лишь 15—20% нейтрального водорода, содержащегося в рукаве.

На кривых прохождения, по которым строились изофоты, между двумя линиями максимумов имеется понижение антенной температуры (см. рис. 1, кривые 2 и 3). В некоторых работах аналогичные понижения объясняются присутствием холодных облаков, которые поглощают излучение находящегося за ними газа [16, 17].

На основании наших наблюдений с широкой полосой приемника мы пока не можем сделать однозначный выбор на всем протяжении рукава в пользу ветвей или холодных облаков. Во всяком случае участки между максимумами, уверенно выделяемыми для  $l > 210^\circ$ , могли бы увеличить число примеров «холодных облаков», приведенных в [16] и [17].

Автор выражает благодарность Н. Ф. Рыжкову и Т. М. Егоровой за предоставление возможности провести наблюдения Персеева рукава на их приемнике, а З. А. Алферовой за расчеты на ЭЦВМ и участие в обработке наблюдений.

### Литература

1. B. Höglund, Ark. Astr., 3, No. 19, 215, 1963.
2. P. O. Lindblad, Bull. astr. Inst. Netherl., 19, No. 1, 34, 1967.
3. A. P. Henderson. Neutral hydrogen in the Galaxy. Thesis, Univ. of Maryland, USA, 1967.
4. Т. М. Егорова, Н. Ф. Рыжков, Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, 23, № 172, 194, 1964.
5. D. A. MacRae, G. Westerhout. Table for the reduction of velocities to the local standard of rest. Lund, Sweden, 1956.
6. Н. В. Быстрова и др., Астр. цирк., № 243, 3, 1963; Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, 24, № 178, 202, 1965; 24, № 180, 130, 1966.
7. Н. Ф. Рыжков и др., Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, 23, № 172, 25, 1964.
8. H. van Woerden et al., Bull. astr. Inst. Netherl., 16, No. 524, 321, 1962.
9. E. Raimond, Bull. astr. Inst. Netherl. Suppl., 1, 33, 1966.
10. P. O. Lindblad, Bull. astr. Inst. Netherl. Suppl., 1, 177, 1966.
11. З. А. Алферова и др., Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, 25, № 188, 216, 1972.
12. S. J. Goldstein, Proc. Inst. electr. electron. Eng., 52, No. 9, 1964.
13. E. Raimond, Bull. astr. Inst. Netherl., 18, No. 4, 191, 1966.
14. IAU Inf. Bull., No. 11, 1963.
15. R. X. McGee. The Galaxy and the Magellanic Clouds. IAU—URSI Symposium No. 20, Canberra, Australia, 1964, p. 126.
16. R. D. Davies, Mon. Not. R. astr. Soc., 116, 443, 1956.
17. J. L. Locke, J. A. Galt, C. H. Costain, Astrophys. J., 139, No. 4, 1066, 1964.

Январь 1971 г.