

Министерство высшего и среднего специального образования  
РСФСР

Ордена Трудового Красного Знамени  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ

Препринт № 23

А.Г.Кисляков



**ИРФИ**

ТЕХНИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ  
РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ,  
ВЫПОЛНЕННЫХ В СССР В 1969-71 гг.  
НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ И СУБМИЛЛИМЕТРОВЫХ  
ВОЛНАХ

г. Горький  
1972

В данной работе дается краткий обзор результатов радиоастрономических наблюдений галактических и метагалактических источников, Луны, планет и Солнца, выполненных в СССР на миллиметровых и субмиллиметровых волнах в 1969-71 г.г. Затрагиваются вопросы, связанные с исследованием прозрачности земной атмосферы, а также с состоянием приемной и антенной техники.

## 1. Введение

Развитие приемной техники миллиметровых волн и создание ряда крупных радиотелескопов стали базой, на основе которой в последние годы получены интересные результаты в области радиоастрономии. Это, в первую очередь, открытие интенсивного излучения большого числа галактических источников в линиях молекулярных вращательных спектров. Результаты наблюдений излучения межзвездных молекул позволяют судить о физических условиях в области формирования линий, оценивать обилие и распределение концентраций молекул, а также открывают совершенно новую возможность для исследования химической эволюции Галактики.

Прогресс в технике внеатмосферных наблюдений позволил существенно продвинуться в исследованиях спектра космического реликтового излучения, а также получить некоторые данные об интенсивности излучения Галактики (и нескольких других источников) в субмиллиметровой области спектра электромагнитных волн.

В период 1969–71 г.г. в СССР также были разработаны новые приборы и антенны для наблюдений на

миллиметровых и субмиллиметровых волнах, и получен ряд интересных результатов в этой области. Ниже мы дадим краткий обзор техники и результатов наблюдений.

## 2. Приемная техника

В 1971 г. введен в строй пассажный радиотелескоп миллиметрового диапазона волн РТ-25х2 [1]. РТ-25х2 расположен в обсерватории "Зименки" Горьковского научно-исследовательского радиофизического института. Это антенная система перископического типа. Изменение направления излучения по углу места осуществляется с помощью наклоняемого плоского рефлектора. Наблюдению доступны источники со склонениями от  $-30^{\circ}$  до  $+60^{\circ}$ . Управление диаграммой направленности по прямому восхождению производится путем смещения облучателя, что позволяет сканировать в пределах  $\pm 35'$  от направления на юг и сопровождать наблюдаемый источник в течение 3-7 мин. (продолжительность зависит от склонения объекта). Движение облучателя происходит автоматически по заданной программе, координаты и скорость перемещения фиксируются с помощью цифровой системы индикации. Точность наведения радиотелескопа по склонению  $\pm 10''$ , по прямому восхождению  $\pm 2''$ . Качество поверхностей антенны позволяет использовать ее на волнах вплоть до 1 мм (средне-квадратичная ошибка поверхности составляет около  $\pm 0,1$  мм). Разрешающая способность РТ-25х2 по прямому восхождению составляет, на  $\lambda = 1$  мм, около  $10''$ . Диаграммы направленности РТ-25х2 на  $\lambda = 1,36$  мм и  $\lambda = 3,7$  мм, снятые автокол-

димационным методом, пред гавлены на рис. 1а,б.

Эффективная площадь радиотелескопа по измерениям на  $\lambda = 2,3$  мм [1] составляет  $(20 \pm 3)$  м<sup>2</sup>.

На РТ-25х2 установлен комплекс аппаратуры, перекрывающий диапазон волн от субмиллиметров до 4 мм. Радиометр субмиллиметрового диапазона волн (0,5-3 мм) представляет собой приемник на  $In Sb$

$n$ -типа, охлажденном до 4°К с помощью жидкого гелия. Чувствительность этого приемника [2] составляет  $2-3 \cdot 10^{-3}$  К при постоянной времени 1 сек., однако ее не удается реализовать при наблюдениях вследствие поглощения субмиллиметровых радиоволн в земной атмосфере.

Для наблюдений в диапазонах волн 1,9-2,8 мм и 3,7-5,7 мм установлены радиометры с широкополосными супергетеродинными приемниками [3]. Чувствительности этих радиометров в средних точках диапазонов равны, соответственно, 1°К и 0,5°К при постоянной времени  $\tau = 1$  сек. Разработаны также радиометры на диапазоны волн 0,8-1,1 мм и 1,1-1,6 мм [4] с чувствительностями в средних точках диапазонов 10°К и 2-3°К при  $\tau = 1$  сек. В радиометрах широко используются элементы квазиоптических трактов. Данные радиометров суммируются в таблице 1.

Радиотелескоп РТ-25х2 использовался для наблюдений Солнца, Венеры и некоторых галактических источников. Результаты их будут приведены ниже.

Близко к завершению строительство двухантенного интерферометра миллиметрового диапазона волн

Т а б л и ц а 1

Тип приемника в радиометре	Рабочий диапазон волн мм	Полоса пропускания частот, Гц	Чувстви- тельность °К
$n$ - $\bar{I}_n$ СВ	0,5 - 3	~ 500	$2-3 \cdot 10^{-3}$
Супергетеродин	0,8 - 1,1	~ 1,5	10
то же	1,1 - 1,6	~ 1,5	2 - 3
то же	1,9 - 2,8	0,5	1,5
то же	3,7 - 5,7	0,5	0,7

МВТУ им. Н.Баумана [5]. Каждая из антенн интерферометра диаметром 7,5 м будет изготовлена с точностью  $\pm 0,1$  мм (одна из антенн уже смонтирована и испытывалась). Предполагается, что интерферометр, база которого составляет 250 м, будет работать в диапазоне волн 1–8 мм и использоваться для исследований распределений яркости Луны, Солнца, планет и дискретных источников радиоизлучения. Намечается также ставить некоторые задачи радиолокационной астрономии.

Следует отметить также разработки аэростатных радиометров субмиллиметрового диапазона волн, интенсивно ведущиеся в ФИАН [6,14]. Радиометры предназначены для исследования спектра космического радиоизлучения в диапазоне волн 0,5–2 мм. Чувствительность спектрометра, в котором используется приемник на  $InSb$   $n$ -типа, охлаждаемый в жидком гелии [2], составляет около  $2^{\circ}K$ . Спектрометр успешно испытывался в наблюдениях с баллона [7].

Интересен опыт применения приемника на  $InSb$   $n$ -типа в наблюдениях на РТ-22 КАО АН СССР [8]. Благодаря большой площади приемника ошибки поверхности антенны не так сильно сказываются на эффективности приема, как это было бы для приемника с размером порядка дифракционного пятна. С помощью приемника на  $InSb$  на РТ-22 КАО АН СССР выполнены сотрудниками ГАИШ и ИКИ АН СССР ряд наблюдений планет и дискретных источников в миллиметровом диапазоне волн [9,10].

В длинноволновом краю миллиметрового диапазона волн успешно применяются лазеры [11, 12, 51] и

параметрические усилители [13].

Особенный интерес представляет многоканальный спектрометр 8-миллиметрового диапазона волн с квантовым парам. гнитным усилителем на входе, с помощью этого приемника и РТ-22. Омской радиоастрономической станции ФИАН была обнаружена комбинационная линия  $H\ 56\alpha$  [15]. Чувствительность спектрометра в полосе 1 Мгц составляет  $\sim 0,5^{\circ}K$  при  $\tau = 1$  сек. Методика наблюдений планет, а также вопросы работы с высокочувствительным ( $\Delta T \approx 0,1^{\circ}K$ ) радиометром 8-мм диапазона на РТ-22 ФИАН СССР рассматриваются в работе [42].

### 3. Исследования прозрачности атмосферы для миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн

Помимо общего интереса, связанного с проблемами геофизики, эти исследования важны и для радиоастрономии, поскольку их результаты можно использовать для правильного выбора рабочих интервалов волн, а также для интерпретации спектров космического радионизлучения, прошедшего сквозь атмосферу.

Поглощение миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн атмосферой Земли обусловлено их взаимодействием с молекулами воздуха, имеющими пепеходы вращательного спектра в этих диапазонах волн.

В таблице II перечислены наиболее распространенные примеси, а также приведены сведения об их концентрациях.



Почти все молекулы земной атмосферы имеют электрические дипольные моменты. Исключение составляет кислород, имеющий магнитный дипольный момент.

Вращательные спектры всех молекул, перечисленных в табл. II, хорошо изучены спектроскопически [16, 17]. Однако, для расчета теллурической линии нужно еще знать распределение концентрации молекул с высотой, а также физические условия (давление, температуру) во всей области формирования линии. Лучшее всего обстоит дело с линиями  $H_2O$  и  $O_2$ , хотя вопрос о количестве паров воды в стратосфере еще окончательно не выяснен.

В последнее время НИРФИ проведены экспериментальные исследования спектра излучения атмосферы в диапазоне волн 1,8–2,8 мм [18]. Показано, что этот спектр не удается объяснить поглощением радиоволн только в  $O_2$  и  $H_2O$ . Ряд особенностей спектра (см. рис. 2) приписан атмосферным  $CO$ ,  $N_2O$  и  $N_2O$ . Это исследование было выполнено с помощью анализатора, имеющего полосу пропускания частот шириной  $\Delta f = 400$  Мгц. Позднее [19] были проведены исследования теллурических линий  $CO$  ( $J = 0 \rightarrow 1$ ,  $\lambda = 2,59$  мм) и  $N_2O$  ( $J = 4 \rightarrow 5$ ,  $\lambda = 2,38$  мм) с помощью спектрометра с  $\Delta f = 17$  Мгц, в результате чего были более точно отождествлены линии этих газов и определены их относительные концентрации  $f$  в атмосфере. Оказалось, что  $f_{CO} = (2-5) \cdot 10^{-8}$  и  $f_{N_2O} = (1-8) \cdot 10^{-8}$ . Эти концентрации заметно больше соответствующих значений, измеренных по интенсивности полос поглощения в солнечном спектре на ИК волнах [20].

Т а б л и ц а II

## Примесные газы в атмосфере Земли

На з в а н и е	Формула	Обилие на уровне Земли (частей на млн.)
О з о н	$O_3$	$(0 + 5) \cdot 10^{-2}$
В о д о р о д	$H_2$	$0,4 + 1,0$
Окись углерода	$CO$	$0,04 + 2,2$
М е т а н	$CH_4$	$1,2 - 1,5$
Углекислый газ	$CO_2$	$(2 - 4) \cdot 10^2$
Формальдегид	$H_2CO$	$(0 - 1) \cdot 10^{-2}$
Закись азота	$N_2O$	$0,25 + 0,6$
Окись азота	$NO$	$\ll 10^{-4}$
Двуокись азота	$NO_2$	$3 \cdot 10^{-4}$
А м м и а к	$NH_3$	$(0 - 2) \cdot 10^{-2}$
Сернистый газ	$SO_2$	$(0 - 20) \cdot 10^{-3}$
Сероводород	$H_2S$	$(2 - 20) \cdot 10^{-3}$
Х л о р	$Cl_2$	$(3 - 15) \cdot 10^{-4}$
И о д	$I_2$	$(0,4 - 4) \cdot 10^{-5}$

Причину расхождения предстоит выяснить в дальнейшем.

Прозрачность атмосферы изучалась также в субмиллиметровом диапазоне волн группой исследователей в Англии и США (см., например [21, 22]). Как показано в [23], на этих спектрах также можно обнаружить линии  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{O}_3$ . Повышенное излучение верхней атмосферы в окрестности  $\lambda = 0,87$  мм, обнаруженное в [22], можно, по-видимому, отнести за счет атмосферной  $\text{NO}$  [23].

Отметим в заключение этого раздела наблюдения радиоизлучения верхней атмосферы с борта баллона, выполнение ФИАН СССР [7].

#### 4. Наблюдения радиоизлучения Солнца.

Радиоизлучение Солнца на миллиметровых и субмиллиметровых волнах характеризует состояние вещества в области хромосферы, примыкающей к фотосфере. Эта область характерна, в частности, тем, что в ней расположен слой с минимальной кинетической температурой в атмосфере Солнца. Высота его над фотосферой составляет, по-видимому, около 500-600 км, а температура равна 4000-4200° К. В слоях хромосферы с высотой  $h_c > 600$  км, генерирующих миллиметровые волны, градиент температуры положителен, поэтому солнечный диск при наблюдении его в миллиметровом диапазоне волн должен иметь повышенную яркость на лимбе (так называемое "уярчение на краю")

Как отмечалось в недавнем обзоре [24], в литературе нет полной ясности по вопросу о существовании уярчения при  $\lambda \leq 4$  мм. В связи с этим в НИРФИ были предприняты исследования экваториального распределения яркости по диску Солнца на  $\lambda = 40,8$  мм с помощью радиотелескопа РТ-25x2 [1], имеющего на этой волне разрешение по прямому восхождению около  $40''$ . В результате установлено существование на солнечном лимбе источника повышенного радиоизлучения с угловым размером  $\leq 40''$  и интенсивностью  $(5,5 \pm 2)\%$  от уровня "спокойного Солнца".

Крымской астрофизической обсерваторией проведены измерения спектра "спокойного" Солнца в интервале волн 8-16 мм методом сравнения с Луной. В результате получены следующие значения яркостных температур солнечного диска [27]:  $7950 \pm 500$ ,  $9700 \pm 600$  и  $11750 \pm 700$  К на волнах 8, 13 и 16 мм, соответственно.

В период с 1967 по 1970 г. КАО АН СССР совместно с НИРФИ проводили исследования спектра медленной компоненты спорадического радиоизлучения Солнца в диапазоне волн 1,35-8 мм [25, 26]. Наблюдения Солнца проводились на РТ-22 КАО с разрешением около  $1'$ .

На основе полученных экспериментальных данных о медленной компоненте радиоизлучения Солнца в диапазоне волн 1,35-16 мм можно сделать следующие выводы.

1) Спектры интенсивностей радиоизлучения активных областей довольно разнообразны. Области, отожд-

дествляемые с биполярными или мультиполосными группами пятен, имеют спектр примерно  $\lambda^{-2}$  в интервале волн 1,35–4 мм. При 6 мм  $< \lambda < 16$  мм интенсивности излучения этих областей примерно постоянны. Радиостанции над флоккулами имеют в интервале волн 2–8 мм спектр, близкий к  $\lambda^{-2}$  [26]. Спектр  $S$ -компоненты в диапазоне волн 1,35–16 мм представлен на рис. 3.

2) Размеры активных областей примерно совпадают с размерами соответствующих оптических образований на диске Солнца (групп пятен и факельных полей). С уменьшением длины волны размер излучающей области увеличивается. [26].

3) Направленность излучения отсутствует.

На основании этих данных сделан вывод [28], что спектр излучения областей повышенного радиоизлучения в интервале  $\lambda = 1,35$ –4 мм подобен спектру черного тела.

Аналогичные исследования  $S$ -компоненты спорадического радиоизлучения Солнца начаты НИРФИ с помощью радиотелескопа РТ-25х2 на волнах 4,1 мм и 1,35 мм с разрешением по углу прямого восхождения  $40''$  и  $13''$  [1]. Сделанный выше вывод о подобии этого спектра спектру черного тела подтверждается, кроме того, установлено существование на диске Солнца источников повышенного радиоизлучения с размерами, не превышающими ширины диаграммы направленности и таким же спектром. Поскольку эти источники оказались короткоживущими, возможно, что мы имеем дело с явлением хромосферной грануляции.

Интересны результаты исследований поляризованного по кругу радиоизлучения из активных областей Солнца. По наблюдениям КАО АН СССР [41] на  $\lambda = 8$  мм установлены вариации поляризованной компоненты радиоизлучения биполярной группы пятен при прохождении ее по диску Солнца, что связывается с соответствующими изменениями магнитного поля. Степень круговой поляризации в максимумах не превышала 3%.

## 5. Луна и планеты.

Исследования радиоизлучения Луны на коротких миллиметровых волнах, по недавним сообщениям [47, 48], были направлены на изучение гармонического состава фазовой зависимости ее радиоизлучения. Обнаружено существенное отличие рассчитанных и измеренных отношений амплитуды второй гармоники к постоянной составляющей радиотемпературы Луны, что объясняется, как предполагают авторы [47], влиянием шероховатостей лунной поверхности, не учитываемых в теории.

Радионаблюдения планет в период 1969–71 г.г. привели к некоторым интересным выводам.

Самым удивительным результатом наблюдений Венеры на миллиметровых волнах было отсутствие фазового хода ее радиоизлучения, который прежде так хорошо обнаруживался. Группа исследователей из ФИАН СССР считает, что на волне 8,2 мм фазовые вариации интегрального потока радиоизлу-

чения Венеры отсутствуют с точностью до 1% [29].  
Подробный обзор результатов исследований атмосферы Венеры опубликован недавно [30].

Наблюдения НИРФИ и КАО АН СССР на волнах 2 и 8 мм [44, 45] во время нижнего и верхнего соединений Венеры позволили установить пределы для превышения яркостной температуры освещенной стороны планеты над ночной. На волне 2 мм это превышение заключается в пределах  $(10-90)^{\circ}\text{K}$ , а на  $\lambda = 8,15$  мм это превышение с вероятностью около 0,5 находится в интервале  $(80-160)^{\circ}\text{K}$ . Спектр радиоизлучения Венеры в диапазоне волн 2-8 мм соответствует спектру излучения планеты с горячей поверхностью и холодной поглощающей атмосферой, коэффициент поглощения которой растет с уменьшением  $\lambda$ . На  $\lambda = 2,16$  мм оптическая толща атмосферы составляет по оценкам [46].  $\tau \geq 2,3$ .

Планеты, у которых атмосфера отсутствует (Меркурий) или сильно разрежена (Марс), можно исследовать аналогично тому, как это было сделано с Луной [31]. Итоги наблюдений Марса на миллиметровых волнах во время противостояния 1969 г. подводились на XIУ Генеральной Ассамблее МАС в Брайтоне (Англия) [32], и показали ряд противоречий в данных различных наблюдателей. Всей совокупности наблюдаемых данных в одинаковой степени удовлетворял как плоский в интервале волн 0,1-10 см спектр [33], так и спектр с ростом (в соответствии с предсказанием теории [31]) яркостной температуры в интервале волн от 8,15 мм до 2,3 мм [34]. Имелось также противоре-

ние в данных об отношениях яркостных температур Юпитера и Марса  $\Gamma$  на волне 8 мм, полученных наблюдателями ФИАН ( $\Gamma_8 = 1,22 + 0,03$  [35]) и КАО и НИРФИ ( $\Gamma_8 = 1,45 + 0,1$  [34]). Во время наблюдений великого противостояния Марса 1971 г. это противоречие сгладилось, по данным тех же наблюдателей  $\Gamma_8 = 1,28 + 0,03$  и  $\Gamma_8 = 1,4 + 0,05$ . Данные КАО и НИРФИ о росте отношений яркостных температур Марса и Юпитера при переходе от  $\lambda = 8,15$  мм до  $\lambda = 2,3$  мм подтверждены, величина  $\Gamma_2 = 1,6 + 0,1$ . Обработка всей совокупности данных о спектре радиоизлучения Марса в сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн позволила установить следующие параметры вещества поверхности планеты (см. таблицу III):  $\epsilon = 3,0 + 0,5$ ,  $m = 4,5 + 1$ . Пользуясь выражением  $m = c\gamma [28(\epsilon\lambda t_0)^{1/2}]^{-1}$ , где  $\gamma = (k\rho c)^{-1/2}$  ( $k$  — теплопроводность,  $\rho$  — плотность и  $c$  — теплоемкость),  $t_0$  — период инсоляции, можно определить (по данным таблицы III) удельный тангенс угла потерь  $\delta = \text{tg } \Delta / \rho$ . Он равен  $\delta = (5 + 2) \cdot 10^{-3}$ , что близко соответствующей величине для верхнего слоя Луны. Таким образом, результаты наблюдений Марса на миллиметровых волнах свидетельствуют о подобии физических свойств верхнего слоя этой планеты и Луны.

Наблюдения Урана на волне 2,2 мм, выполненные в ФИАН [40], подтвердили ранее установленный факт: превышение эффективных температур планет-гигантов в радиодиапазоне над равновесным. Для Урана яркост-



## Т а б л и ц а Ш

## Физические свойства марсианского вещества

Параметр	Единицы СГС	Примечание
$c$	0,2	По аналогии с земными породами
$\rho$	200	По ИК данным
$t_0$	$8,86 \cdot 10^4$	
$\epsilon$	$3,0 \pm 0,5$	По данным о радионейтронах
$m$	$4,5 \pm 1$	
$\nu$	$(5 \pm 2) \cdot 10^{-3}$	Марса

ная температура, отнесенная к видимому диску, составляет на  $\lambda = 8,2$  мм  $(131 + 15)^{\circ}\text{K}$ , т.е. вдвое превышает равновесное значение. Наблюдения Сатурна дали яркостную температуру  $(132 + 4)^{\circ}\text{K}$  [42] и позволили оценить оптическую толщину его колец  $\tau$  на  $\lambda = 8,2$  мм ( $\tau < 0,3$ ).

Результаты измерений яркостной температуры Урана на  $\lambda = 8,2$  мм хорошо согласуются с моделью радиоизлучения, предложенной в [43]. Предполагается, что излучение и поглощение радиоволн в атмосфере Урана, состоящей, в основном, из водорода, происходит в аммиаке, находящемся в верхней атмосфере планеты.

Ряд наблюдений планет выполнен сотрудниками ИКИ АН СССР и ГАИШ с помощью 22-метрового радиотелескопа КАО АН СССР и широкополосного приемника на  $\Gamma_{\lambda} \text{ } \text{86}$  ИРЭ АН СССР. В приведенной таблице 1У суммированы результаты этих наблюдений [10]. Авторы считают, что яркостные температуры относятся к  $\lambda = 1,4$  мм.

Т а б л и ц а 1У

Планета	Яркостьная температура °К	Дата наблюдений	Фазовый угол
Меркурий	480 ± 80	25 июля 1969	121
	162 ± 30	25 - 31 мая 1970	129
	240 ± 30	7-8 июня 1970	93
Венера	270 ± 30	18-25 июля 1969	
	258 ± 42	Май-июнь 1970	
М а р с	180 ± 50	Май-июнь 1970	
Юпитер	145 <sup>+) )</sup>		
Сатурн	120 ± 30	Июль 1969, июнь 1970	
У р а н	95 ± 28	31 мая, 9-10 июля 1970	
Нептун	160 ± 110	10 июня 1970	

+ ) Принималась известной

## 6. Галактическая радиоастрономия

Одним из самых интересных результатов в этой области <sup>4)</sup> нам представляются наблюдения линии  $H\ 56\alpha$  в туманности Омега, выполненные группой ФИАН [15]. Как известно, наблюдения рекомбинационных линий водорода позволяют решить фундаментальную проблему газовых туманностей — получить распределение атомов водорода по энергетическим уровням.

Температура антенны (наблюдения проводились на РТ-22 Окской радиоастрономической станции ФИАН) в центре линии составляла  $(0,31 \pm 0,03)^\circ\text{K}$ . Ширина контура оказалась равной  $(3,8 \pm 0,3)$  МГц, а доплеровское смещение частоты центра линии отвечает скорости движения излучающей области  $(16,1 \pm 1,2)$  км/сек. Электронная температура туманности Омега по данным наблюдений на волне  $\lambda = 8,2$  мм оказалась равной  $T_e = (9250 \pm 1100)^\circ\text{K}$  и существенно выше значения  $T_e = 6000^\circ\text{K}$ , найденного по наблюдениям в диапазоне сантиметровых волн. Возможно [15], что эта разница температур обусловлена отклонениями от термодинамического равновесия.

Особенно большое внимание уделялось в

---

+) Заметим, что это первая линия, наблюдающаяся в миллиметровом диапазоне волн.

СССР исследованиям Крабовидной туманности (ЗС144), измерениям спектра ее радиоизлучения в миллиметровом диапазоне волн, а также распределения ее радиояркости. В работе [38] установлен рост интенсивности радиоизлучения ЗС144 с уменьшением длины волны от 8,15 мм до 2,16 мм. Плотность потока радиоизлучения, измеренная на  $\lambda = 8,15$  мм, составляет, по-видимому, около 300 ед<sup>+</sup>, в то время как на  $\lambda = 2,16$  мм величина  $S = 1250 \pm \frac{1000}{600}$  ед. . Определения плотности потока радиоизлучения ЗС144 с помощью остронаправленных антенн затруднены в связи с тем, что угловые размеры и распределение яркости этого объекта известны пока недостаточно точно. Необходимо в связи с этим отметить важность проводившихся на 11-метровом радиотелескопе НРАО (США) исследований Крабовидной туманности с разрешением  $\sim 1',2$  на  $\lambda = 3,5$  мм [39]. Автор этой работы приходит к выводу, что размеры источника ЗС144 равны  $(3',92 \pm 0',2) \times (2',41 \pm 0',2)$  (т.е. примерно совпадают с размерами аморфной массы в туманности), а плотность потока радиоизлучения составляет  $(200 \pm 15)$  ед, что соответствует спектру излучения источника с индексом - 0,30. Излучение Крабовидной туманности поляризовано; степень линейной поляризации составляет  $(9 \pm 8)\%$ .

Отрицательный спектральный индекс у источника

---

<sup>+</sup>) 1 ед. =  $10^{-26}$  Вт/м<sup>2</sup> Гц

ЗС<sup>144</sup> установлен также в работе [9], выполненной с широкополосным приемником на  $In Sb$ , рабочий диапазон которого составлял 1-5,0 мм. На "средней волне" ( $\lambda \approx 2,5$  мм) плотность потока радиационного излучения Крабовидной туманности равна  $(255 \pm 80)$  ед.

Наблюдения туманности Орион на радиотелескопе RT-25x2 [1] с помощью широкополосного приемника на  $In Sb$  позволили выявить в туманности источник радиационного излучения с прямым восхождением, отличающимся от прямого восхождения источника  $Orion A$  примерно на  $1^m$ . Эффективная длина волны наблюдения составляет 1,2 мм, размер источника по прямому восхождению не превышает  $2'$ , интенсивность его радиационного излучения порядка 100 ед.

## 7. Исследования метагалактического радиационного излучения

Здесь нужно отметить измерения интенсивности космического реликтового радиационного излучения на  $\lambda = 3,58$  мм [49], которые, в согласии с данными других наблюдений, показывают планковский характер спектра этого радиационного излучения с температурой  $(2,4 \pm 0,7)^\circ K$ . Воспользовавшись совокупностью всех наблюдательных данных (см. рис. 4, заимствованный из обзора [50]), можно получить, что среднее взвешенное значение температуры реликтового излучения составляет  $(2,85 \pm 0,07)^\circ K$  [49].

В период 1968–69 г.г. проводились исследования переменности радиоизлучения квазара 3С273 [36, 37, 44, 51] на волнах 8,2 мм и 2,2 мм. Установлено изменение спектрального индекса этого источника за период с мая 1968 г. по июнь 1969 г. (от  $0,4 \pm 0,15$  до  $0,15 \pm 0,25$ ) [37]. Примерно в этот же период времени в Окской радиоастрономической станции ФИАН проводились наблюдения ряда галактических источников на волнах 8,2 мм и 3,36 см (3С84, 3С273, 3С879 и NRAO 150) [36]. Все эти источники обладают переменностью.

## 8. Выводы

Последние три года (1969–71 г.г.) дали интересные астрофизические результаты благодаря интенсивному проникновению методов радиоспектроскопии в область радиоастрономии. Можно ожидать еще более удивительные результаты, когда этими методами будет охвачен и субмиллиметровый диапазон, что потребует создания достаточно крупных внеатмосферных инструментов и соответствующей приемной техники. Без сомнения, реализация таких устройств, как орбитальный (или стратосферный) радиотелескоп со спектрометром, возможна лишь при больших материальных затратах. В длинноволновой части субмиллиметрового диапазона волн атмосферное поглощение не так велико и в условиях высокогорья наблюдения становятся возможными. Поэтому необходимо разумное сочетание внеатмосферных и наземных наблюдений.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Н.Глазман, А.Г.Кисляков, И.В.Мосалов, Изв. высш.уч.зав. - Радиофизика, 14, № 5, 663-672 (1971).
2. A.N.Vystavkin, V.N.Gubankov, V.N.Listvin, V.V.Migulin, Submillimeter waves, Microwave Res.Inst.Sym.Ser.20, N.Y. 1970, p.321 (1971).
3. А.Г.Кисляков, Ю.В.Лебский, А.И.Наумов, Изв. высш.уч.зав. - Радиофизика, 11, 1792 (1968).
4. Ю.Ю. Куликов, Л.И.Федосеев, Радиотехника и электроника, 16, 554 (1971).
5. П.Д.Калачев, В.П.Назаров, А.А.Паршиков, В.Я.Чашников, Тр. ФИАН СССР, 47, (1969).
6. А.Е.Саломонович, УФН, 99, 427 (1969).
7. В.И.Лапшин, А.Е.Саломонович, С.В.Соломонов, В.Ф.Троицкий, А.Б.Фрадков, А.С.Хайкин, Изв. высш. уч.зав. - Радиофизика, 13, № 3 (1970).



8. А.Н.Выставки, В.А.Ефимов, В.Н.Лествин, И.Г.Моисеев, Е.Н.Попов, В.Т.Потапов, Изв. КАО СССР, 43, 26 (1971).
9. V.F.Zabolotny, G.B.Sholomitaky, V.I. Slysh. Astroph. Letters, 8, 1-2 (1971).
10. V.I.Kostenko, A.V.Pavlov, G.B.Sholomitaky, V.I.Slysh, V.A.Soglasnova, V.F.Zabolotny, Astroph. Letters, 8, 41-42 (1971).
11. Л.Д.Бахрах, М.Н.Григорьева, В.И.Загатын, П.Д.Калачев, А.Д.Кузьмин, Л.И.Матвеевко, Г.С.Мисежников, В.А.Никитин, В.А.Пузанов, А.Е.Саломонович, Р.Л.Сороченко, В.Б.Штейншлейгер, Изв. высш. уч.зав. - Радиопизика, 12, 1115 (1969).
12. В.И.Загатын, Г.С.Мисежников, В.А.Пузанов, А.Е.Саломонович, Р.Л.Сороченко, В.Б.Штейншлейгер, ПТЭ, № 5, 116 (1968).
13. С.М.Клич, В.Д.Прокофьев, Радиотехника и электроника, 12, 12 (1967).
14. В.И.Лапшин, А.Е.Саломонович, "Краткие сообщения по физике", № 5, 51 (1971).

15. R.L.Sorochenko, V.A.Puzanov, A.E.Salomonovich, V.B.Shteinshleger, Astroph. Lett., 3, 7 (1969).
16. Г.Герпберг, Спектры и строение двухатомных молекул, ИЛ, Москва, 1949.
17. W.Gordy, R.L.Cook. "Microwave Molecular Spectra" Interscience (Wiley) 1970.
18. А.Г.Кисляков, А.И.Наумов, Изв. АН СССР, сер. "Физика атмосферы и океана", 6, 239 (1970).
19. В.Н.Воронов, А.Г.Кисляков, Э.П.Кукина, А.И.Наумов, Изв. АН СССР, сер. "Физика атмосферы и океана", 8, 29 (1972).
20. В.Е.Зуев, Прозрачность атмосферы для видимых и инфракрасных лучей, "Сов.радио", 1966.
21. J.E.Harries, W.J.Burroughs, Infrared Physics, 10, 165 (1970).

22. J.C. Beery, T.Z. Martin, I.G. Nolt, C.W. Wood, Nature Phys. Sci., 230, March 8, 36 (1971).
23. A.G. Kislyakov, Infrared Physics, I2, 61 (1972).
24. А.Г.Кисляков, УФН, 101, 607 (1970).
25. V.A. Efanov, A.G. Kislyakov, I.G. Moiseev, A.I. Naumov, Solar Phys., 8, 331 (1969).
26. В.А.Ефанов, А.Г.Кисляков, Ю.В.Лебский, И.Г.Моисеев, А.И.Наумов, Изв. КАО АН СССР, 44, 137 (1972).
27. В.А.Ефанов, И.Г.Моисеев, Изв. Крымской астрофиз. обс., 43, 21 (1971).
28. V.A. Efanov, A.G. Kislyakov, I.G. Moiseev, Solar Physics, II (1972).

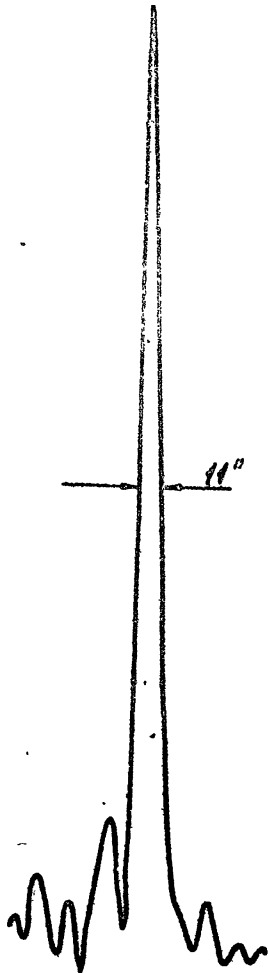
29. Ю.Н.Ветухновская, А.Д.Кузьмин, Б.Я.Лосовский,  
Астрон. ж., 48, 1033 (1971).
30. В.И.Мороз, УФН, 104, 255 (1971).
31. В.С.Троицкий, Астрон. ж., 47, 384 (1970).
32. Proceedings of the Fourteenth General  
Assembly Brighton, 1970, vol. XIVB,  
D.Reidel Publ.Co./Dordrecht-Holland  
(1971).
33. E.E.Epstein, Icarus, 14, 214 (1971).
34. V.A.Efanov, A.G.Kislyakov, I.G.Moiseev,  
A.I.Naumov, Icarus, 14, 198 (1971).
35. A.D.Kuzmin, B.Ya.Losovsky, Yu.N.Vetukh-  
novskaya, Icarus, 14, 192 (1971).

36. В.И.Костенко, Л.И.Матвеевко, Изв. высш.уч.зав. -  
- Радиофизика, 13, 1467 (1970).
37. В.А.Ефанов, А.Г.Кисляков, И.Г.Моисеев, А.И.Нау-  
мов, Астрон. ж., 48, 435 (1971).
38. В.А.Ефанов, А.Г.Кисляков, В.И.Костенко, Л.И.Мат-  
веевко, И.Г.Моисеев, А.И.Наумов, Изв. высш.уч.  
зав. - Радиофизика, 12, 803 (1969).
39. L.I.Matveenko, Astrophys.Letters,  
8, 165 (1971).
40. A.D.Kuzmin, B.Ya.Losovsky, Icarus,  
14, 196 (1971).
41. В.А.Ефанов, И.Г.Моисеев, Изв. Крымской астро-  
физ. обс., 45, (1972).
42. Б.Я.Лосовский, Препринт ФИАН № 69 (1971).
43. А.Д.Кузьмин, ДАН СССР, 196, 65 (1971).
44. В.А.Ефанов, А.Г.Кисляков, И.Г.Моисеев, А.И.Нау-  
мов, Изв. высш.уч.зав. - Радиофизика, 13, 219  
(1970).

45. В.А.Ефанов, А.Г.Кисляков, И.Г.Моисеев, А.И.Наумов, Астрон.ж., 46, 147 (1969).
46. В.А.Ефанов, А.Г.Кисляков, И.Г.Моисеев, А.И.Наумов, Тр. симп. по физике планет, Киев, 1968, стр. 352 (1972).
47. Л.И.Федосеев, Ю.Ю.Куликов, Астрон.ж., 47, 914 (1970).
48. А.И.Наумов, В.Н.Воронов, А.Г.Кисляков, Тр. симп. по физике планет, Киев, 1968, стр. 106 (1972).
49. А.Г.Кисляков, В.И.Чернышев, Ю.В.Лебский, В.А.Мальцев, Н.В.Серов, Астрон.ж., 48, 39 (1971).
50. Р.А.Сюняев, УФН, 105, 41 (1971).
51. В.А.Ефанов, В.И.Загатиц, И.Г.Моисеев, Г.С.Миницкий, В.Б.Штейншлегер, Изв. КАО АН СССР, 41-42, 248 (1970).

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис. 1. Диаграммы направленности радиотелескопа РТ-25х2, полученные автокорреляционным методом на волнах:  
а) 1,36 мм и б) 3,7 мм. Распределение поля в первом случае было оптимальным, а во втором близко к равномерному.
- Рис. 2. Спектр оптической толщи "сухой" атмосферы, измеренный (точки) по ее тепловому радиоизлучению с высоты около 3 км над уровнем моря. Сплошная кривая - расчет [18] оптической толщи атмосферного  $O_2$ . Разрешающая способность спектрометра по частоте составляла 400 МГц.
- Рис. 3. Спектр  $S$  - компоненты спорадического радиоизлучения Солнца в миллиметровом диапазоне волн.
- Рис. 4. Спектр космического реликтового излучения [50].



*Fig. 1a*



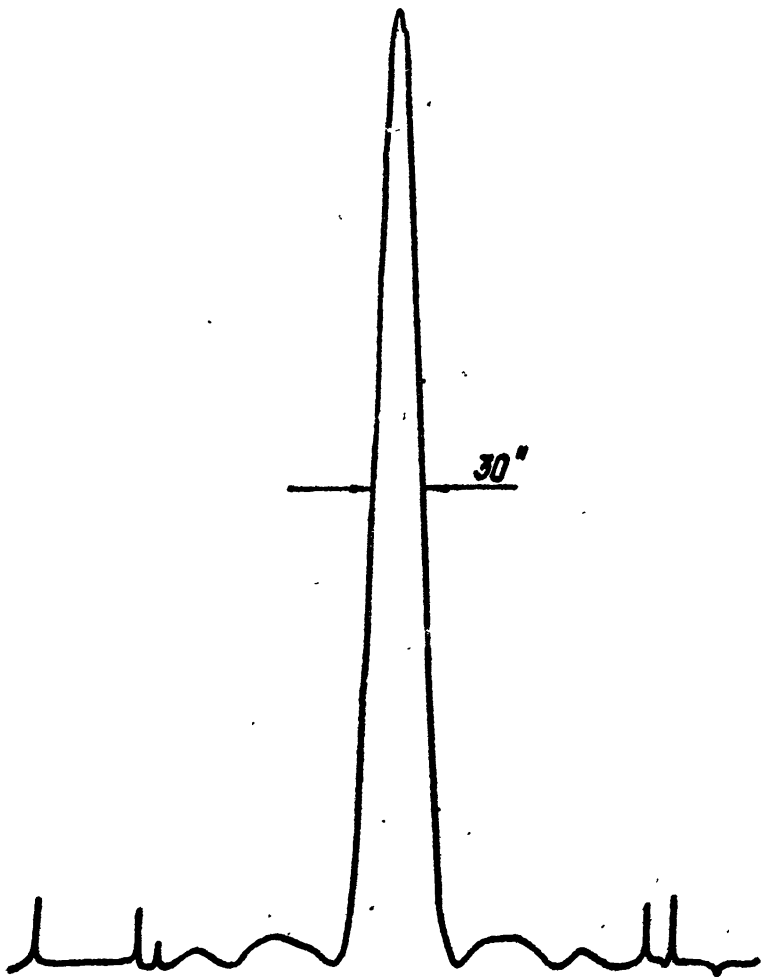


Fig. 18

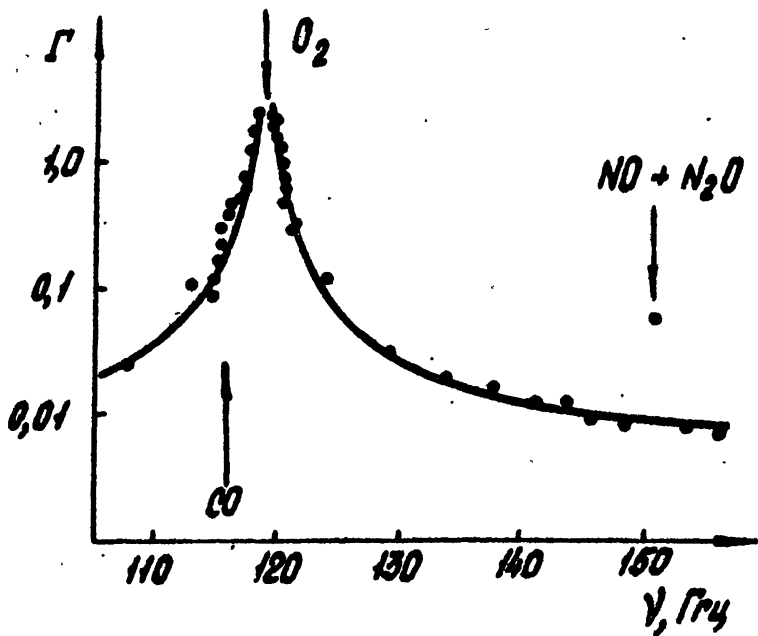
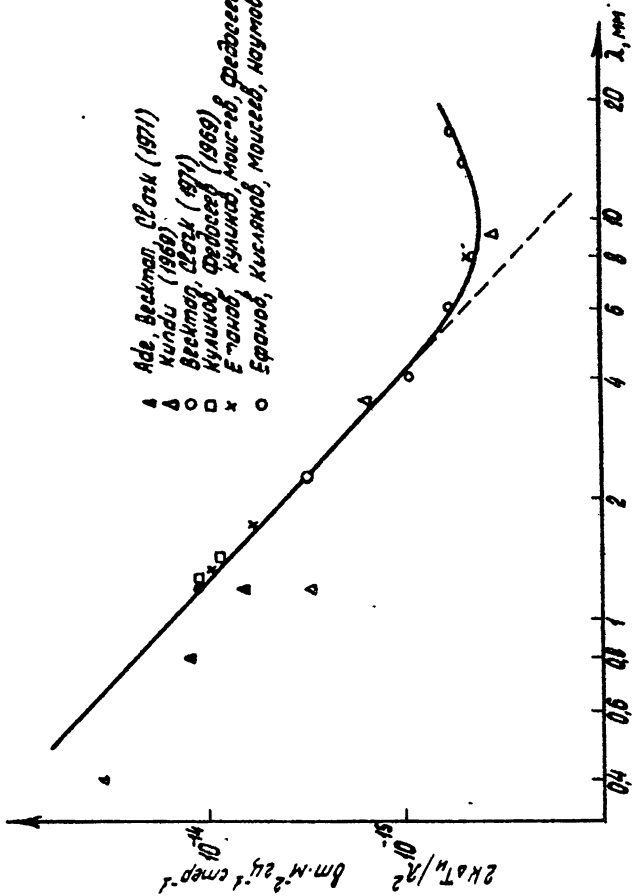


Рис. 2



- ▲ Ade, Beckman, Slotz (1971)
- △ Kundu (1966)
- Beckman, Slotz (1971)
- Куликов, Френкель (1969)
- × Е-панов, Куликов, Моусеб, Фредзевел (1970)
- Франкоб, Кисляков, Моусеб, Наутов (1968)

Рис. 3

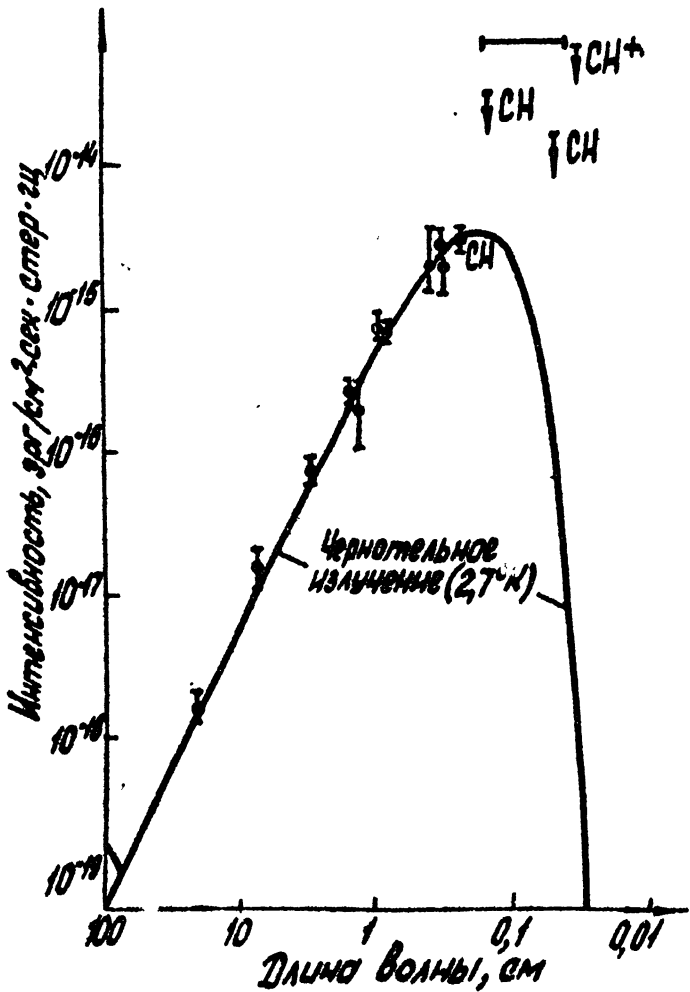


Рис. 4