

## К ТОЧНОСТИ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА РАТАН-600

*М. Г. Мингалиев, В. Н. Черненко*

В работе проводится анализ основных причин, ограничивающих координатную точность при наблюдениях на радиотелескопе РАТАН-600. Основной вклад в ошибку определения прямого восхождения дает ошибка, обусловленная точностью установки первичных рупоров в электрическую ось системы «главное зеркало + вторичное зеркало». При этом точность единичного измерения получается около  $4''$ . Применение дополнительных методов контроля ориентации электрической оси и первичных рупоров позволяет существенно повысить точность. Точность одного определения прямого восхождения получается в пределах  $0.3''$ — $0.5''$ . В работе также проводится оценка вклада атмосферы в координатную точность при наблюдениях на РАТАН-600.

The possible limitations of accuracy of coordinate measurements with the RATAN-600 radio telescope are discussed. The main source of position measurement errors deals with instability of the electric axis and horn type antenna orientation (the accuracy of RA determination is about  $4''$ ). Using special methods for control of the electric axis and horn type antenna orientation makes it possible to decrease an accuracy of position measurements up to  $0.3''$ — $0.5''$ . The part of errors of coordinate measurements due to the atmosphere events is discussed also.

Радиотелескоп РАТАН-600 предназначен для решения широкого круга астрофизических, радиофизических и прикладных задач. Высокая разрешающая сила и большая собирающая площадь РАТАН-600 позволяют использовать его в качестве инструмента для высокоточных позиционных наблюдений радиоисточников.

Диаграмма направленности (ДН) РАТАН-600 близка к ножевой, вытянутой в вертикальной плоскости. Такая форма ДН определяет основной принцип координатных измерений, заключающийся в регистрации момента прохождения радиоисточника через избранный вертикал на небесной сфере. При наблюдениях в меридиане радиотелескоп работает как пассажный инструмент, что позволяет использовать его для определения прямых восхождений. При этом оптимальными для точности измерений являются наблюдения в симметричных относительно меридиана азимутах с максимальным изменением позиционного угла [1, 2].

При определении координат радиоисточников на РАТАН-600 в общем случае используются различно ориентированные сектора антенны. Даже при наблюдениях в одном азимуте (например, при определении прямых восхождений в меридиане) нельзя гарантировать постоянство электрической оси системы, поскольку положение каждого отдельного элемента главного зеркала и положение вторичного зеркала на радиальных рельсовых путях будут изменяться в зависимости от высоты наблюдаемого объекта над горизонтом. В связи с этим при позиционных наблюдениях на РАТАН-600 более предпочтительны дифференциальные методы определения координат.

### 1. Анализ факторов, влияющих на точность координатных измерений

Основные причины, ограничивающие координатную точность при наблюдениях на радиотелескопе, следующие:

— неповторяемость ориентации электрической оси системы от наблюдения к наблюдению;

© М. Г. Мингалиев, В. Н. Черненко, 1991

— недостаточно высокое отношение сигнал / шум (при наблюдении слабых радиисточников);

— «дрожание» изображения объекта.

Рассмотрим каждую из этих причин в отдельности.

1. Ошибка в положении ДН антенны на небе определяется как ошибками установки главного и вторичного зеркал радиотелескопа, так и ошибкой установки первичного облучателя в электрическую ось системы «главное зеркало + вторичное зеркало». В настоящее время на РАТАН-600 реализованы два метода, позволяющие заметно уменьшить этот тип ошибок.

Один из них — автоколлимационный метод установки первичного облучателя в электрическую ось системы «главное зеркало + вторичное зеркало» по двум вертикальным элементам главного зеркала [3]. Этот метод позволяет устанавливать первичный облучатель в электрическую ось с точностью порядка 0.1—0.2 мм, что соответствует ошибке в определении прямых восхождений (при наблюдениях в меридиане), равной 0.1—0.3" [4]. В варианте автоколлимационного метода, реализованном на сегодняшний день, в электрическую ось выставляется первичный рупор юстировочного приемника. Далее, по известному расстоянию между рабочим и юстировочным облучателями, механическим перемещением рабочего облучателя выставляется в электрическую ось. Таким образом, добавляются дополнительные ошибки, обусловленные точностью механической установки, а также разным законом облучения юстировочного и рабочего облучателей. Дальнейшее повышение точности возможно, если для автоколлимации использовать один и тот же первичный облучатель, что и для наблюдений.

Другая возможность — использование в наблюдениях метода «неподвижного фокуса» [5]. Суть метода в следующем. Вторичное зеркало и первичный облучатель закрепляются в определенном положении, и меняется положение только главного зеркала. Таким способом можно проводить наблюдения исследуемого и опорного объектов при неподвижном состоянии системы «вторичное зеркало + первичный облучатель», меняя лишь форму главного зеркала. Ошибка же из-за неточной установки главного зеркала будет несущественной, поскольку осреднится по всем элементам (около 200). Допустимое использование этого метода зависит от высоты источника над горизонтом: разность высот опорного и исследуемого объекта может меняться от нескольких десятков угловых минут до нескольких десятков градусов. Подробнее об этом методе наблюдений см. [5].

2. Ограничение на координатную точность, обусловленную недостаточным отношением сигнал / шум, можно оценить по следующей формуле [6]:

$$\varepsilon_{\text{ш}} = \frac{1}{2} \frac{\Delta T_{\text{ш}}}{T_{\text{с}}} \theta_{0.5}$$

где  $\Delta T_{\text{ш}}$  — флуктуационная чувствительность радиотелескопа;  $T_{\text{с}}$  — антенная температура наблюдаемого радиисточника;  $\theta_{0.5}$  — ширина ДН по уровню 0.5.

Как видно из этой формулы, для уменьшения величины ошибки необходимо уменьшать общую шумовую температуру радиотелескопа, увеличивать эффективную площадь и время накопления сигнала. Для увеличения времени накопления сигнала от наблюдаемого объекта на РАТАН-600 применяется метод скольжения, основанный на сопровождении движения изображения источника вдоль фокальной линии вторичного зеркала перемещением первичного облучателя [7]. Более подробно использование метода скольжения для координатных измерений описано у Афанасьевой и др. [8].

3. Эффект «дрожания» изображения есть результат флуктуации фазы волны на неоднородностях атмосферы, особенно при прохождении ее через тропосферу [9]. Тот факт, что на работу антенны существенно влияют лишь флуктуации общего набега фазы, позволяет описывать этот эффект единственной интегральной характеристикой — структурной функцией электрической длины пути в тропосфере. По экспериментальным данным пространственная структурная функция, определяемая при изменении вдоль трасс, расположенных на расстоянии  $\Delta r$ , аппроксимируется функцией [9, 10]

$$D_l(\Delta\rho) = C_l^2 \Delta\rho^{5/3} *$$

где  $C_l$  — структурный коэффициент, который равен 0.00001—0.00005 корня шестой степени сантиметра. Из  $D_l$  определяется среднеквадратичное отклонение положения центра тяжести ДН (т. е. ошибка в определении координаты, обусловленная наличием турбулентной тропосферы):

$$\varepsilon_a = K [D(\Delta\rho)]^{1/2} / \Delta\rho,$$

где  $K$  — коэффициент порядка единицы, зависящей от формы апертуры и амплитудного распределения поля на апертуре. Или, подставляя  $D_l$ , имеем:

$$\varepsilon_a = C_l \Delta\rho^{-1/6},$$

здесь  $K$  полагаем равным единице [6, 9, 10]. Как видно отсюда, в первом приближении координатная точность не зависит ни от длины волны, ни от размеров базы в широком диапазоне значений. Подставляя реальные значения базы для радиотелескопа РАТАН-600, мы получаем  $\varepsilon_a \approx 0.3-1.5''$ . Такого порядка точность реализуется и на практике при координатных измерениях на РАТАН-600 (см., например, в [4]).

ТАБЛИЦА 1

Условия	$\lambda$ , см			
	2.08	3.9	7.6	8.2
$\theta_{0.5}$ прямое восхождение	16"	31"	63"	68"
склонение	2.2	4.1	8.0	8.6
Вынос из электрической оси в длинах волн	1.9	2.3	2.8	4.3

Таким образом, и теория и практика наблюдений на РАТАН-600 показывают, что ошибка координатных измерений из-за эффекта «дрожания» не может заметно превосходить величины порядка 1".

Однако в недавно опубликованной работе [11] описываются случаи «аномальной рефракции», обнаруженные при наблюдениях на миллиметровых волнах с 30-метровым параболомидом IRAM и сантиметровых волнах со 100-метровым параболомидом в Эффельсберге. Как пишут авторы, изображение смещалось («выбрасывалось» из ДН) вплоть до 40". Это сообщение и послужило поводом к обобщению результатов координатных измерений на РАТАН-600 и оценке возможного вклада «аномальной рефракции» в общую ошибку определения координат в условиях наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600. Ниже мы приведем результаты как специальных наблюдений, так и результаты координатных измерений прошлых лет.

## 2. Наблюдения и обсуждение результатов

Наблюдения проводились в сентябре 1987 г. на Северном секторе на длинах волн 2.08, 3.9, 7.6 и 8.2 см в режиме неподвижного фокуса». Были выбраны точечные, достаточно сильные радиоисточники (квезары): 1055+01, 1148-00, 1226+02 и 1253-05. К моменту начала наблюдения первого в сутках источника (1055+01) вторичное зеркало и первичные облучатели выставлялись в расчетное положение и оставались неподвижными во время наблюдений всех четырех источников. В остальное время суток Северный сектор работал по другим программам наблюдений, т. е. вторичное зеркало было подвижным. Наблюдения проводились при различных состояниях погоды (см. табл. 2). Приемники на длинах волн 2.08 и 3.9 см использовались в режиме диаграммной модуляции (двухлучевой прием), а на 7.6 и 8.2 см — в режиме однолучевого приема. В электрическую ось выставлялась середина между западным и восточным первичными облучателями на волнах 2.08 и 3.9 см. ДН по прямому

\* В области масштабов 1—10 000 м.



восхождению и склонению на уровне половинной мощности и расположение первичных облучателей относительно электрической оси приведены ниже в табл. 1.

Наблюдения состояли в определении моментов прохождения указанных выше источников через ДН радиотелескопа, работающего в режиме пассажного инструмента (методом оптимального автоматического вписывания гауссианы в кривую прохождения источника [12]). В табл. 2 и на рис. 1 приведены разности наблюдаемых и предвычисленных моментов кульминаций («О — С»). В качестве примера взяты данные по источникам 1148—00 и 1226+02 (по ним наиболее длинные ряды наблюдений).\*

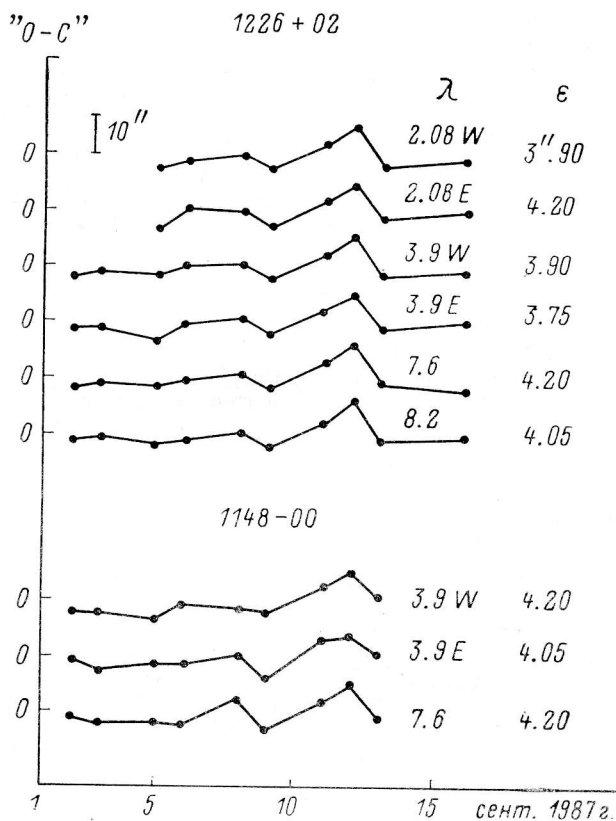


Рис. 1. Разности наблюдаемых и предвычисленных моментов кульминаций («О—С») по наблюдениям квазаров 1148—00 и 1226+02.

W — западный первичный облучатель, E — восточный. Среднее значение «О—С» по всем дням наблюдений по каждому рупору приравнено нулю.

Случайная ошибка одного наблюдения на всех длинах волн получается одного порядка и равна примерно 4'', а максимальный размах порядка 13''. Отсюда можно сделать следующие заключения:

— при работе с подвижным вторичным зеркалом и однократном наблюдении не удается определять прямые восхождения точнее, чем 4'';

— при наблюдениях с подвижным вторичным зеркалом на длинах волн короче 2 см уже нельзя проводить осреднение наблюдений, проведенных в разные даты (так, на длине волны 1.35 см полуширина ДН порядка 7—8'').

Из рис. 1 видно, что существует высокая степень корреляции между наблюдениями на разных длинах волн и разных источниках,\*\* т. е., по-видимому,

\* В этом цикле наблюдений приемники на волнах 2.08 и 8.2 см имели не лучшую чувствительность. На этих приемниках не на всех источниках реализовывалось достаточное отношение сигнал/шум, и поэтому в табл. 2 для 1148—00 приводятся данные только на 3.9 и 7.6 см.

\*\* Средний коэффициент корреляции между наблюдениями источника 1226+02 на разных длинах волн, определенный по всем парам рупоров, получается равным  $0.97 \pm 0.02$ .

основной вклад в величину  $\varepsilon$  дает неповторяемость (от дня ко дню) установки вторичного зеркала и первичных облучателей. Этот вывод подтверждается данными, приведенными на рис. 2 и 4, в табл. 3. В табл. 3 и на рис. 2 и 4 результирующая ошибка поделена на величину  $\sqrt{2}$ , так как одна точка есть результат двух измерений: либо разность двух рупоров, либо разность двух наблюдений разных источников). Случайная ошибка одного определения получается меньше  $1''$ . Эта ошибка является суммой следующих составляющих:

— ошибки вписывания гауссианы в кривую прохождения источника, так как из-за выноса первичных рупоров из электрической оси кривая прохождения не имеет идеально симметричную форму;

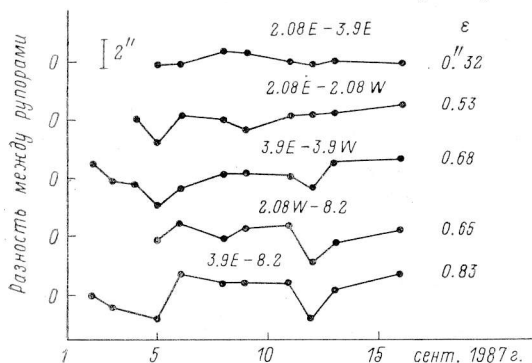


Рис. 2. Изменение расстояния между рупорами от дня ко дню (1226+02).

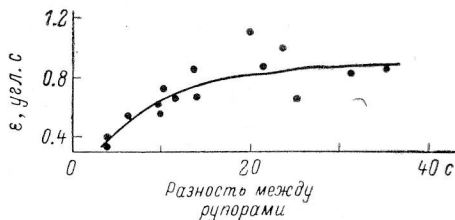


Рис. 3. Зависимость ошибки одного определения  $\varepsilon$  от расстояния между рупорами.

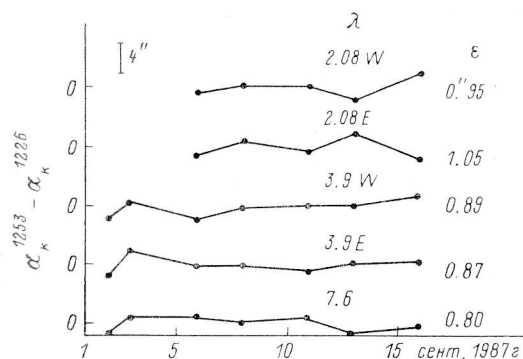


Рис. 4. Оценка точности дифференциального метода определения координат на РАТАН-600.

$$(\langle O-C \rangle)_{1253} - (\langle O-C \rangle)_{1226}$$

— ошибки из-за термической деформации конструкций, на которых жестко закреплены первичные облучатели;

— ошибки из-за турбулентности атмосферы;

— и, в меньшей степени, ошибки из-за отношения сигнал / шум (к примеру, на длине волны 3.9 см для этого источника  $0.1''$ )

На рис. 3 приведена зависимость  $\varepsilon$  от расстояния между рупорами. По ней можно определить предельную точность координатных измерений на радиотелескопе РАТАН-600 —  $\varepsilon \approx 0.3''$ . Из рисунка также видно, что при увеличении расстояния между рупорами точность несколько ухудшается. По-видимому, на больших временных масштабах турбуляция атмосферы несколько больше.

На рис. 4 приведены значения разностей моментов кульминаций квазаров 1253—05 и 1226+02:

$$\alpha_K^{1253} - \alpha_K^{1226}$$

Точность определения прямого восхождения 1253—05 в одном наблюдении получалась равной  $0.85''$  при максимальном размахе порядка  $2.5''$ . Эта ошибка также является суммой описанных выше составляющих.

Для 1226+02 и 1148—00 —  $0.88 \pm 0.04$ . Величина  $\gamma$  здесь несколько хуже, чем только для 1226+02. Это, скорее всего, объясняется тем, что при наблюдениях 1148—00 хуже отношение «сигнал/шум», и средний коэффициент корреляции между наблюдениями 1148—00 на разных длинах волн равен  $0.85 \pm 0.04$ .

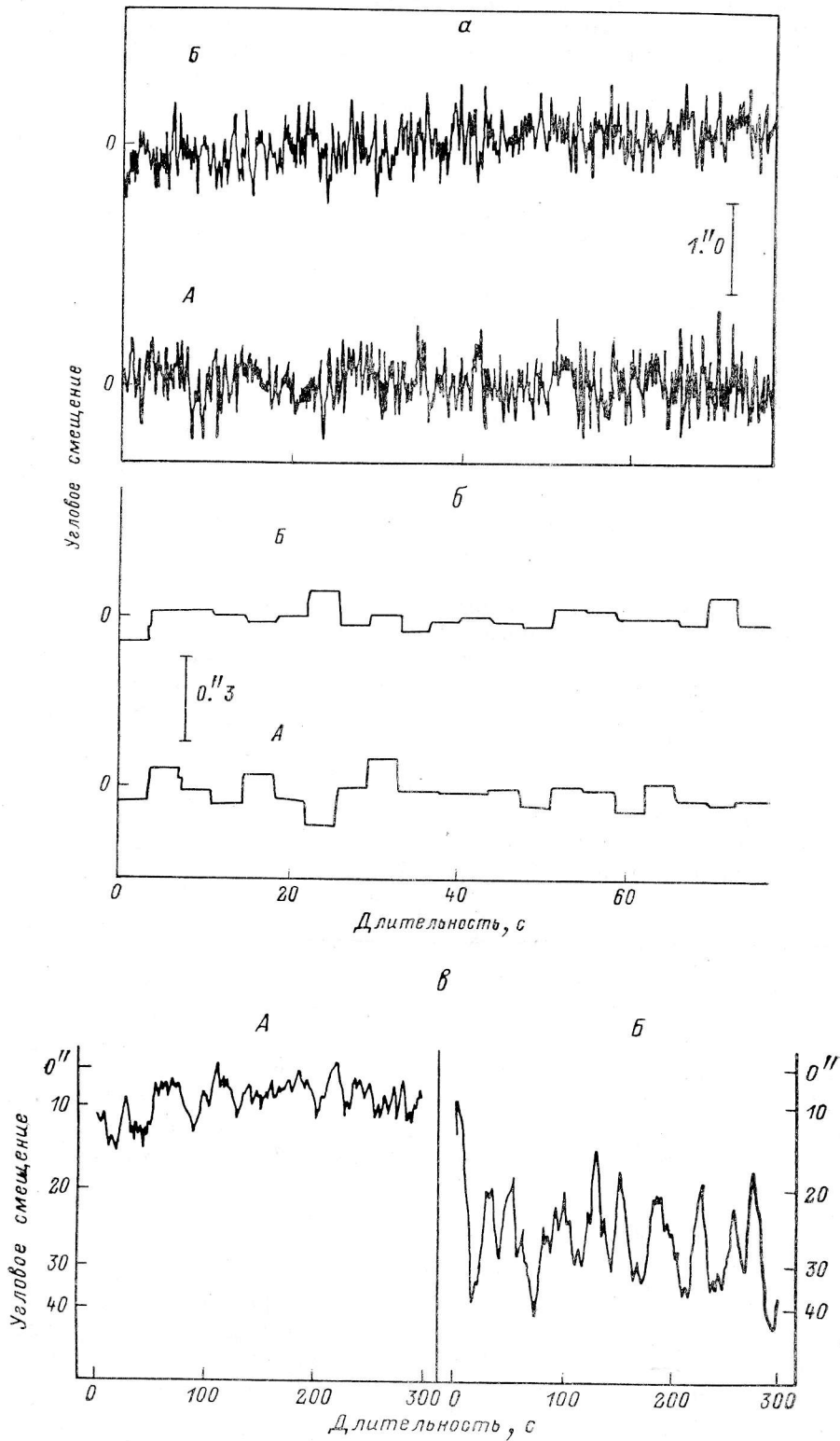


Рис. 5. Типичные примеры сопровождения.

а — радиостанция ЗС 84 на длине волны 1.38 см (А) и типичный пример записи шумовой дорожки при неподвижной ДН антенны и отсутствии источника (Б). Время интегрирования  $\tau$  равно 0.1 с. Подробнее см. текст; б — то же, что и а, но при  $\tau=3.6$  с; в — сопровождение при наличии «атмосферной рефракции» на длине волны 1.35 см на 100-метровом параболическом рефлекторе (А — сопровождение источника 1226+02 на максимум ДН, Б — на уровне половинной мощности). Рисунок взят из [11].

Таким образом, в этом цикле наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 эффект «аномальной рефракции» не был обнаружен, хотя, как было отмечено выше, наблюдения проводились при разных погодных условиях, как хороших, так и плохих.

Рассмотрим теперь кратко результаты координатных измерений прошлых лет. В 1977 г. с мая по август на Северном секторе РАТАН-600 был проведен длительный цикл координатных наблюдений Меркурия и опорных радиоисточ-

ТАБЛИЦА 4

Источник	$\lambda$ , см	$\epsilon$ , угл. с	Количество наблюдений
0316+41	1.35w	1.5	6
	1.35e	1.05	6
	2.08e	.75	7
2251+15	2.08e	0.24	6
	2.08w *	0.41	6
Меркурий	2.08e	1.4	28

\* Первичный облучатель 2.08w вынесен из оси на 4λ.

ников 2251+15 и 0316+41 [4]. В этом цикле для установки первичного облучателя в электрическую ось системы «главное зеркало+вторичное зеркало» использовался автоколлимационный метод [3]. Реализованные среднеквадратичные ошибки одного наблюдения приведены в табл. 4. В случае наблюдений 0316+41 все первичные облучатели имели вынос из электрической оси, а при наблюдениях 2251+15 и Меркурия в электрическую ось выставлялся восточный первичный облучатель на длине волны 2.08 см (2.08e). Ошибки одного наблюдения, полученные по 0316+41 на волне 1.35 см и Меркурию на волне 2.08 см, оказались больше 1'', что объясняется главным образом уменьшением отношения сигнал / шум.

Следовательно, и в этом цикле наблюдений не имело место явление «аномальной рефракции» с амплитудой, наблюдавшейся в [11].

ТАБЛИЦА 5

Дата	$\epsilon$ , угл. с	Ветер, м/с	Температура, °С	Давление, мбар	Облачность
11.02.88	0.13	1	+4	915	Ясно
12.02.88	0.10	2	+4	915	»
14.02.88	0.17	0	0	918	Небольшая облачность
15.02.88	0.10	2	+3	917	Ясно
16.02.88	0.09	2	+3	917	»
23.02.88	0.22	6—8	-4	907	Идет снег
24.02.88	0.09	7	-1	915	Облачно
25.02.88	0.10	2	-1	917	Небольшая облачность

В феврале 1988 г. был проведен дополнительный цикл наблюдений в режиме сопровождения источника на длине волны 1.38 см. Наблюдаемый объект, в данном случае точечный радиоисточник 3С 84, сопровождался ДН антенны либо на уровне максимума, либо на уровне 0.5.\* Наблюдения проводились на высоте над горизонтом  $h=87^{\circ}39'$  при этом полуширина ДН антенны в сечении по прямому восхождению и склонению на уровне 0.5 равна соответственно 8 и 37''. Использование метода скольжения [7] позволило сопровождать источник в течение 70—80 с времени в одном наблюдении.

\* При сопровождении на уровне 0.5 изменение амплитуды сигнала наиболее чувствительно к возможным влияниям эффекта «дрожания» изображения.



На рис. 5, *a* приводится типичный пример такого наблюдения:

— кривая *B* соответствует шумовой дорожке при подвижной ДН и отсутствии источника, т. е. ширина шумовой дорожки или дисперсия записи определяются только общей шумовой температурой системы;

— кривая *A* — шумовой дорожке при сопровождении источника, т. е. в этом случае дисперсия шума должна определяться кроме общей шумовой температуры системы еще и дополнительными шумами, обусловленными: 1) точностью сопровождения и 2) возможными «дрожаниями» изображения из-за атмосферы. На рис. 5, *b* те же наблюдения, что и на рис. 5, *a*, но с другим временем интегрирования сигнала:  $\tau = 3.6$  с. Для сравнения на рис. 5, *в* приведена кривая сопровождения источника на длине волны 1.35 см на 100-метровом параболоиде, взятая из [11].

Полагая вклад общей шумовой температуры системы в дисперсию шума одинаковой для кривых *A* и *B*, что вполне естественно, можно оценить суммарную дисперсию, обусловленную ошибками сопровождения и атмосферой:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_A^2 - \sigma_B^2}.$$

Для наблюдения 16 февраля, приведенного на рис. 5, *a*, она получилась равной  $\sim 0.1''$ . Результаты всех наблюдений в этом цикле приведены в табл. 5.

Как видно из таблицы, в этом цикле также не наблюдалось влияния атмосферы на амплитуду ошибки более чем  $\sim 1''$ .

### 3. Заключение

Авторы вышеуказанной работы объясняют явление «аномальной рефракции» прохождением через ДН радиотелескопа воздушных масс (из-за ветра или конвекции), насыщенных парами воды и с размерами неоднородностей порядка апертуры телескопа. Эффект не сильно связан с местом расположения радиотелескопа, так как наблюдался как на 30-метровом (Пико Велета), так и на 100-метровом (Эффельсберг) параболоидах. Расхождение в оценке амплитуды эффекта «аномальной рефракции», по данным наших измерений и по данным вышеуказанных авторов, может быть вызвано следующими причинами:

1) эффект «аномальной рефракции» в условиях наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 отсутствует либо имеет амплитуду существенно меньше, чем  $2''$ ;

2) размеры неоднородностей не превышают величину порядка нескольких десятков метров, и интегральное воздействие нескольких неоднородностей дает малую амплитуду «аномальной рефракции» (интегрирование происходит на апертуре РАТАН-600, которая в направлении восток-запад при работе с Северным сектором равна  $\sim 400$  м);

3) явление «аномальной рефракции» имеет место весьма редко, непродолжительно по длительности, и поэтому наблюдатели чаще всего игнорируют (не берут в рассмотрение) такие данные;

4) наблюдавшийся в [1] эффект вызван не турбулентностью атмосферы, а есть результат ошибок ведения телескопа.

Объяснение 4 приводится здесь лишь для полноты перечисления возможных ошибок, ибо у авторов нет никаких оснований не доверять опыту таких известных наблюдателей, как Альтенхоф, Баас и др. Мы полагаем, что более вероятными могут быть объяснения 2 и 3. Действительно, трудно предполагать, что условия расположения радиотелескопа РАТАН-600 (974 м над уровнем моря) заметно лучше, чем 30-метрового параболоида на Пико Велета (2870 м над уровнем моря). Хотя и объяснение 2 также встречает возражение, так как при размерах неоднородностей в несколько десятков метров этот эффект должен был бы наблюдаться и на других инструментах. Имеется упоминание о возможном влиянии атмосферы на 20-метровом параболоиде (Онсала, Швеция) [3]. Авторы пишут, что короткопериодические ( $\sim 5$  мин) ошибки наведения (суммарные по азимуту и углу возвышения) имеют величину  $\sim 6''$ , частично обусловленную атмосферой. Однако оценки доли вклада атмосферы в эту ошибку не делается.

Таким образом, авторы полагают, что возможным объяснением расхождения наших результатов является совместное воздействие факторов 2 и 3, а именно специфические размеры неоднородностей атмосферы, а также малая скважность эффекта.

Авторы выражают глубокую признательность Ю. Н. Парийскому за внимание к работе и полезные обсуждения.

#### Литература

1. Парийский Ю. Н., Шиврис О. Н. Методы радиоастрономического использования РАТАН-600 // Изв. ГАО. 1972. 188. С. 13—39.
2. Львов В. Н. О совместном определении дифференциальных прямых восхождений и склонений радиоисточников на РАТАН-600 // Астрон. журн. 1980. 57, вып. 3. С. 649—652.
3. Пинчук Г. А., Стоцкий А. А. Использование автоколлимационного метода для повышения точности координатных измерений на РАТАН-600 // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1978. 10. С. 132—138.
4. Экспериментальные определения прямых восхождений Меркурия на РАТАН-600 / П. М. Афанасьев, В. А. Фомин, Ю. К. Зверев и др. // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1979. 11. С. 226—235.
5. Повышение точности и эффективности наблюдений на РАТАН-600 с помощью режима неподвижного фокуса / Н. С. Соболева, А. В. Темирова, Т. Б. Пятунина и др. Препр. САО АН СССР. 32Л, 22 с.
6. Липовка Н. М., Стоцкий А. А. О точности измерений координат при помощи антенны переменного профиля // Изв. ГАО. 1972. 188. С. 238—242.
7. Мингалиев М. Г., Петров З. Е., Филипенко В. И., Черков Л. Н. Метод «скольжения» на радиотелескопе РАТАН-600 // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1985. 19. С. 76—81.
8. Афанасьева П. М., Мингалиев М. Г., Пожалов А. А., Фомин В. А. Определение прямых восхождений на РАТАН-600 в режиме скольжения. Препр. САО АН СССР. 17 Л. 14 с.
9. Татарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1976. 548 с.
10. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. М.: Наука, 1973. 416 с.
11. Altenhoff W. J., Baars J. W. M., Downes D., Wink J. E. Observations of anomalous refraction at radio wavelengths // Astron. and Astrophys. 1987. 184. P. 381—385.
12. Иванов Л. Н. Алгоритм оптимального автоматического Гаусс-анализа наблюдательных данных // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1979. 11. С. 213—219.
13. Rydbeck J., Hjalmarsen A., Rydbeck O. E. H. Distribution and kinematics of CO in the spiral galaxy M51 // Astron. and Astrophys. 1985. 144. P. 282—294.

Поступила в редакцию  
1 марта 1989 г.