

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЯМЫХ ВОСХОЖДЕНИЙ МЕРКУРИЯ НА РАТАН-600

*П. М. Афанасьева, В. А. Фомин, Ю. К. Зеерев,
М. Г. Мингалиев, Г. А. Пинчук, А. А. Стоцкий,
О. Н. Шиврис*

Первые наблюдения Меркурия на РАТАН-600 в апреле—августе 1977 г. использованы для определения точных прямых восхождений планеты относительно опорных радиосточников. В диапазонах 2.08 и 3.9 см Меркурий может наблюдаться практически в любой точке орбиты, в том числе в непосредственной близости от Солнца в периоды соединений. Приводятся предварительные результаты 28 определений прямых восхождений Меркурия. Ошибка одного наблюдения на волне 2.08 см для Меркурия равна $\pm 0^{\circ}096$, для опорных источников $\pm 0.02-0.05$. Даются ошибки одного наблюдения опорного радиосточника в диапазонах 1.35, 3.9, 8.2 и 13 см. Показано, что определение положения фокуса антенны автоколлимационным методом [4] повышает точность координатных измерений на РАТАН-600.

The first observations of Mercury made from April to August 1977 with the RATAN-600 have been used to determine accurate right ascensions of the planet relative to some reference radio sources. At the wave lengths of 2.08 and 3.9 cm Mercury may be observed practically at any point of its orbit including the close vicinity to the Sun during the periods of conjunctions. The results are given of 28 determinations of the right ascension of Mercury. The mean error of a single observation at 2.08 cm is $\pm 0^{\circ}096$ for Mercury, while for the reference sources it decreases to $\pm 0.02-0.05$. The accuracy of one reference source observation is given for the wave lengths 1.35, 3.9, 8.2 and 13 cm. It is shown that the accuracy of coordinate measurements with the RATAN-600 increases when the autocollimation method is used to determine the position of the antenna focus.

Позиционные наблюдения планет необходимы для уточнения теорий их движения, установления фундаментальной системы небесных координат и исследования ее систематических ошибок. Для решения двух последних задач особую ценность представляют наблюдения Меркурия и Венеры, быстрое движение которых вокруг Солнца в принципе позволяет за относительно короткий промежуток времени получить ряд наблюдений, распределенных равномерно по орбитам Земли и наблюдаемой планеты. Это обстоятельство является весьма существенным при совместном определении элементов орбит Земли и планеты и уточнении искомых небесно-механических параметров. К сожалению, близость Венеры и Меркурия к Солнцу делает их труднодоступными для оптических наблюдений объектами. Особенно затруднены позиционные наблюдения Меркурия, которые ведутся лишь на меридианных инструментах и исключительно в дневное время. При точности одного наблюдения порядка $1''$ число меридианных наблюдений Меркурия, получаемых на одной обсерватории за год, не превышает 15—20. Эти немногочисленные наблюдения выполняются, как правило, в периоды элонгаций Меркурия, что неблагоприятно сказывается при обработке наблюдательного материала.

Организация регулярных радиоастрометрических наблюдений Меркурия, не уступающих по точности оптическим, позволила бы значительно увеличить число наблюдений планеты, добиться практически равномерного их распределения по орбитам Меркурия и Земли. Длительные ряды

таких наблюдений позволили бы не только уточнить теорию движения Меркурия, но и заложить динамическую базу системы небесных координат, определяемой по интерферометрическим наблюдениям радиоисточников.

Радиоинтерферометры с высоким угловым разрешением не позволяют наблюдать такой протяженный объект, как Меркурий. В то же время первые работы по координатным измерениям на РАТАН-600 показали, что уже сейчас на этом инструменте вполне достижима точность наблюдений радиоисточников не хуже $1''$ [1—4]. Принципиальная возможность наблюдения с такой точностью протяженных источников, высокая чувствительность РАТАН-600, по предварительным оценкам [5] достаточная для уверенного наблюдения Меркурия в любой точке его орбиты, возможность одновременного выполнения наблюдений в различных диапазонах длин волн и, наконец, конструктивные особенности радиотелескопа, позволяющие в принципе контролировать положения его отдельных частей и электрической оси в целом — все эти аргументы и определили постановку эксперимента по определению точных прямых восхождений Меркурия на РАТАН-600. Описываемый ниже эксперимент представлял собой первую попытку наблюдения Меркурия на РАТАН-600 и одновременно первую практическую попытку получения точных прямых восхождений планеты радиоастрономическим методом.

Основные задачи эксперимента, выполнявшегося на северном секторе радиотелескопа с 27.4 по 20.8 1977, состояли в следующем:

а) определение условий наблюдений Меркурия в различных точках его орбиты, в том числе вблизи моментов верхнего и нижнего соединений;

б) исследование возможности получения точных прямых восхождений Меркурия относительно опорных радиоисточников с хорошо известными координатами;

в) оценка точности наблюдения Меркурия и опорных источников на РАТАН-600.

Наблюдения состояли в определении моментов прохождения Меркурия и опорных источников через диаграмму направленности радиотелескопа, работавшего в режиме пассажного инструмента с неподвижной кареткой облучателя. Наблюдения велись в диапазонах 1.35, 2.08, 3.9, 8.2 и 13 см. На трех первых диапазонах использовался режим сканирования. В фокусе антенны располагался восточный приемный рупор радиометра 2.08 см (2.08_E). Положение фокуса в направлении «восток—запад» определялось с точностью 0.1—0.2 мм автоколлимационным методом [4] по двум вертикально установленным щитам. Наблюдения записывались на магнитную ленту и параллельно регистрировались с помощью самописцев типа КСП при скорости протяжки бумаги 54000 мм/час. Моменты наблюдений привязывались к шкале местного среднего звездного времени, нуль-пункт которой контролировался по приему сигналов точного времени в системе UTC.

В данной статье приводятся результаты наблюдений, полученные при обработке записей самописцев. Эти данные могут быть отягощены систематическими ошибками, вносимыми самописцем (возможная неравномерность протяжки бумаги, сложный характер запаздывания сигнала в канале самописца и др.). В связи с этим приводимые ниже результаты и оценки следует рассматривать как предварительные.

За время эксперимента было выполнено около 50 наблюдений Меркурия и примерно столько же наблюдений опорных источников. Распределение наблюдений Меркурия по его орбите иллюстрирует рис. 1, на котором приведены разности прямых восхождений Меркурия и Солнца, вычисленные на период эксперимента. Выделенные точки кривой соответствуют наблюдениям Меркурия в указанную дату.

Эксперимент, выполнявшийся в течение 3.5 месяцев, показал, что на РАТАН-600 в диапазоне 2.08 см Меркурий достаточно уверенно наблю-

ТАБЛИЦА 1

Взаимное расположение Меркурия и Солнца в периоды соединений

Нижнее соединение			Верхнее соединение		
1977	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	1977	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
30.4	$+0^{\text{h}}01^{\text{m}}$	$+0^{\circ}57'$	29.6	$-0^{\text{h}}03^{\text{m}}$	$+1^{\circ}13'$
1.5	$-0^{\text{h}}05$	$+0^{\circ}11$	30.6	$+0^{\text{h}}03$	$+1^{\circ}16$

дается практически в любой точке орбиты, в том числе и в непосредственной близости от Солнца. В табл. 1 приведены разности экваториальных координат Меркурия и Солнца для моментов их нижнего и верхнего соединений. В каждый из указанных в таблице дней были получены наблюдения Меркурия на волне 2.08 см. Образцы записей наблюдений планеты вблизи ее нижнего и верхнего соединений с Солнцем приведены на рис. 2, где по оси ординат отложена антенная температура Меркурия в произвольных единицах. На волне 3.9 см Меркурий также наблюдался по всей орбите, исключая лишь периоды 1.5—2 недели до и после момента верх-

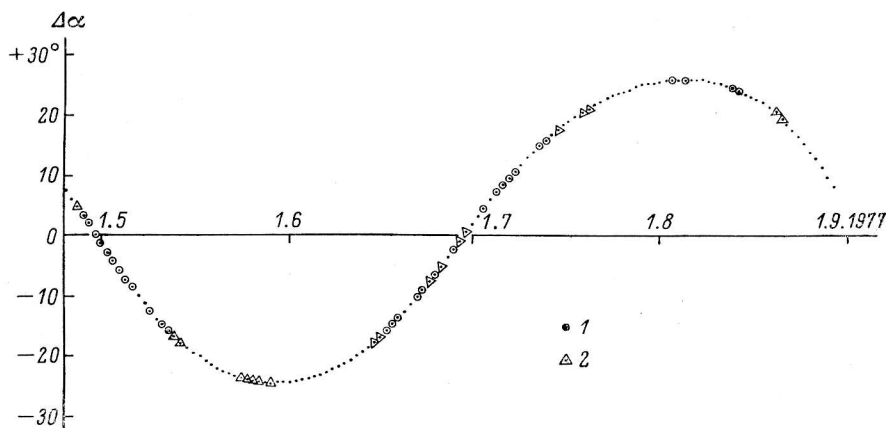


Рис. 1. Распределение наблюдений Меркурия по его орбите.

1 — наблюдения, использованные для координатных измерений; 2 — наблюдения, не вошедшие в обработку.

него соединения. В остальных диапазонах наблюдения планеты оказались менее уверенными.

Для координатных измерений были использованы лишь те наблюдения Меркурия и опорных источников, которые сопровождалось определением положения фокуса антенны автоколлимационным методом. Моменты прохождения каждого из объектов через середину диаграммы направленности радиотелескопа по уровню половинной мощности исправлялись поправками

$$\Delta t = \text{DUT1} - \Delta\lambda + \text{nut}_\alpha,$$

где DUT1 — разность шкал всемирного времени UT1 и UTC; $\Delta\lambda$ — поправка за изменение долготы РАТАН-600 вследствие движения полюса; nut_α — нутация в прямом восхождении для точки, лежащей на небесном экваторе. Поправки Δt вычислялись на момент кульминации источника на меридиане РАТАН-600. Для вычисления величин DUT1 и $\Delta\lambda$ использовались предварительные данные Международного бюро времени (ВИН), опубликованные в циркулярах, рассылаемых Военно-морской обсерваторией США [6].

ТАБЛИЦА 2

Оценка запаздывания сигнала в канале самописца

1977	$T_{\text{МЛ}} - T_{\text{КСП}}$	A , мм	Режим записи	1977	$T_{\text{МЛ}} - T_{\text{КСП}}$	A , мм	Режим записи
27.4	0°070	75	1-к	3.5	0°060	100	1-к
29.4	0.134	82	1	5.5	-0.024	100	1
30.4	0.072	85	1	6.5	0.054	110	1
1.5	0.010	87	1	4.8	-0.064	46	6
2.5	0.055	95	1	5.8	-0.057	46	6

Среднее $0^{\circ}031 \pm 0^{\circ}020$

Для оценки запаздывания сигнала в канале самописца было проведено сравнение моментов прохождений источника ЗС 454.3 через диаграмму направленности, полученных по измерениям ленты самописца и по данным, записанным на магнитную ленту (МЛ). Результаты сравнения приведены в табл. 2, где через A обозначена амплитуда записи сигнала на ленте самописца. В моментах прохождений, полученных по записям наблюдений на МЛ, учтено техническое запаздывание начала записи, равное $0^{\circ}050$ при 1-канальном и $0^{\circ}290 + 0^{\circ}020 N_k$ при 6-канальном режимах записи. Для диапазона 2.08 см номер канала $N_k = 3$ и техническое запаздывание принималось равным $0^{\circ}350$.

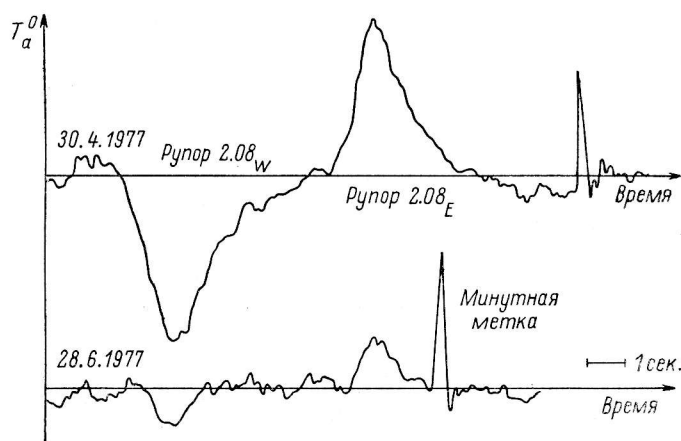


Рис. 2. Вид записи наблюдений Меркурия вблизи моментов его соединений с Солнцем.

Результаты, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о том, что в пределах точности измерений записей самописца и графиков, построенных по распечатанным с МЛ данным, не обнаруживается явной линейной зависимости запаздывания сигнала в канале самописца от амплитуды записи. Таким образом, при обработке наблюдений, выполненных на волне 2.08 см и более длинных волнах, запаздыванием сигнала в канале самописца можно пренебречь или рассматривать его как достаточно малую постоянную величину.

Для определения запаздывания сигнала в RC -фильтре радиометра также были использованы наблюдения опорных источников, записанные на МЛ. Каждый считанный с МЛ отсчет интенсивности сигнала A_i исправлялся по формуле

$$A_i^{(0)} = A_i + \frac{A_{i+1} - A_{i-1}}{2h} \tau,$$

где h — интервал времени между соседними отсчетами, определяемый режимом записи, а τ — постоянная времени RC -фильтра радиометра. В диапазоне 2.08 см наблюдения Меркурия и опорных источников выполнялись при $\tau=0^s505$. Исправленные за запаздывание отсчеты $A_i^{(0)}$ наносились на графики, результаты измерения которых сравнивались с моментами, полученными по исходным отсчетам A_i . Сводка найденных таким образом поправок за запаздывание сигнала в интегрирующей цепочке радиометра Δt_τ приведена в табл. 3, в которую включены также оценки запаздывания для одного из наблюдений Меркурия и ряда внефокальных наблюдений источника ЗС 84. Через δ обозначено склонение источников.

ТАБЛИЦА 3
Определение запаздывания сигнала в RC -фильтре радиометра

Источник	δ	1977	Δt_τ	Среднее	Примечание	
ЗС 273	+2°1	19.7	-0 ^s 391	-0 ^s 394 ± 0 ^s 004		
		22.7	-0.389			
		4.8	-0.403			
ЗС 454.3	+16.0	29.4	-0.376			
		30.4	-0.343			
		1.5	-0.404			
		2.5	-0.368			
		3.5	-0.400			
		5.5	-0.399			
		6.5	-0.376			
ЗС 286	+30.6	4.8	-0.376	-0 ^s 378 ± 0 ^s 007		
		5.8	-0.356			
		19.7	-0.448			
		ЗС 84	+41.4		7.7	-0.378
					8.7	-0.384
Меркурий	+21.7	13.7	-0.378	-0 ^s 384 ± 0 ^s 005	Неуверенно Рупор 2.08 вы- несен из фокуса на 16.5 см к западу	
		14.7	-0.370			
		15.7	-0.407			
		19.7	-0.385			
		18.6	-0.376			

Среднее значение по опорным источникам $-0^s387 \pm 0^s007$.

Результаты, приведенные в табл. 3, были использованы для исправления наблюдений опорных источников и Меркурия. В тех случаях, когда не было записи наблюдений на МЛ и поправка Δt_τ не определялась, принималось среднее для данного источника значение запаздывания. Для источника ЗС 286 в этих случаях полагалось $\Delta t_\tau = -0^s400$. Наблюдения Меркурия для определения запаздывания в RC -фильтре радиометра не использовались из-за высокого уровня шумов при записи. За период эксперимента склонение планеты изменялось в пределах от +2 до +24°. В этой зоне, покрываемой наблюдениями опорных источников, поправка Δt_τ , как видно из табл. 3, практически не меняется, поэтому для исправления наблюдений Меркурия использовалось значение $\Delta t_\tau = -0^s387$, полученное как среднее по всем наблюдениям опорных источников.

Для вычисления видимых мест опорных источников использовались их средние координаты, взятые из каталогов высокоточных радиоинтерферометрических наблюдений (табл. 4). Видимые места Меркурия вычислялись по программам М. С. Чубея [10], учитывающим некоторые отклонения таблиц Ньюкома от его строгой теории движения Меркурия и Солнца. Координаты Меркурия вычислялись на момент его верхней кульминации на эфемеридном меридиане с долготой РАТАН-600, причем

ТАБЛИЦА 4
Координаты опорных источников на эпоху 1950.0

Источник	$\alpha_{1950.0}$	$\delta_{1950.0}$	Публикация	Источник	$\alpha_{1950.0}$	$\delta_{1950.0}$	Публикация
ЗС 84	03 ^h 16 ^m 29 ^s .568	+41°19'51".84	[7]	ЗС 286	13 ^h 28 ^m 49 ^s .653	+30°45'58".79	[9]
ЗС 273	12 26 33.246	+02 19 43.20	[8]	ЗС 454.3	22 51 29.530	+15 52 54.24	[7]

разность между эфемеридным и всемирным временем ΔT принималась равной $+48^s.0$.

Для оценки случайной ошибки одного наблюдения опорного источника на волне 2.08 см был использован ряд из 6 наблюдений источника ЗС 454.3. Разности между наблюденными и эфемеридными моментами прохождения источника через середину диаграммы направленности антенны, приведенные к экватору умножением на $\cos \delta$, даны в табл. 5. Через ϵ_0 обозначена приведенная к экватору средняя квадратическая ошибка одного наблюдения источника.

ТАБЛИЦА 5
Оценка точности одного наблюдения источника ЗС 454.3 на волне 2.08 см (рупор 2.08_E в фокусе)

1977	$(T - \alpha) \cos \delta$	1977	$(T - \alpha) \cos \delta$
29.4	+1 ^s .236	3.5	1.221
1.5	1.243	4.5	1.214
2.5	1.250	5.5	1.255

Среднее $\pm 1^s.236 \pm 0^s.007$
 $\epsilon_0 = \pm 0^s.016$

Обработка указанных в табл. 5 наблюдений, полученных по западному рупору (2.08_W), вынесенному из фокуса на 80 мм, дала несколько большее значение $\epsilon_0 = 0^s.027$. Ошибка одного наблюдения в диапазоне 3.9 см, вычисленная по этим же наблюдениям, в среднем по двум рупорам 3.9_E и 3.9_W, вынесенным из фокуса соответственно на 50 и 130 мм, составила $0^s.052$.

Для оценки ошибки одного наблюдения опорного источника в остальных диапазонах был использован ряд из 8 внефокальных наблюдений источника ЗС 84, выполненных с 7 по 21 июля. Ближе всего к фокусу (с выносом 16.5 см к западу) в этих наблюдениях располагался рупор 2.08_E. Наблюдения ЗС 84 выполнялись при одном и том же фиксированном положении каретки и сопровождалась определением положения фокуса антенны автоколлимационным методом. Это позволило привести каждое наблюдение к отсчету шкалы каретки, соответствующему истинному положению фокуса. В табл. 6 даны приведенные ϵ_0 и неприведенные

ТАБЛИЦА 6
Ошибки одного внефокального наблюдения источника ЗС 84

Ошибка	1.35 _W	1.35 _E	2.08 _E	8.2	13
ϵ_0	0 ^s .10 (6)	0 ^s .07 (6)	0 ^s .05 (7)	0 ^s .12 (4)	0 ^s .24 (6)
ϵ_0'	0.14	0.10	0.07	0.16	0.32
ϵ_0''	0.18 (7)	0.16 (7)	0.11 (8)	0.20 (5)	0.35 (7)
ϵ_{AK}	0.11	0.13	0.08	0.12	0.14

к экватору ϵ'_0 ошибки одного наблюдения источника для разных длин волн. Через ϵ''_0 обозначена неприведенная к экватору ошибка одного наблюдения, получаемая без учета редукиций наблюдений к положению фокуса, найденному из автоколлимационных измерений. В скобках указано число наблюдений, вошедших в обработку.

Результаты наблюдений источников ЗС 454.3 и ЗС 84 свидетельствуют об уменьшении точности координатных измерений при переходе к более длинным волнам, что, по-видимому, связано с расширением диаграммы направленности антенны. Увеличение ошибки одного наблюдения на волне 1.35 см объясняется главным образом уменьшением отношения «сигнал/шум» при внефокальных наблюдениях источника ЗС 84 в этом диапазоне.

На волне 2.08 см ошибка одного наблюдения ϵ_0 источника ЗС 84 оказалась больше, чем для источника ЗС 454.3. По-видимому, здесь сказались абберационные искажения диаграммы направленности радиотелескопа, влияние которых растет с увеличением выноса приемного рупора из фокуса. Расчет аббераций показывает, что такая ошибка может возникать даже при постоянном поперечном выносе приемного рупора из фокуса за счет неточной установки облучателя по радиусу [11]. Таким образом, можно предположить, что ошибки одного фокального наблюдения достаточно сильного источника в каждом из диапазонов не превысят полученных нами оценок.

Сравнение величин ϵ'_0 и ϵ''_0 позволяет оценить эффективность автоколлимационного метода определения фокуса антенны. Ошибку, вносимую в наблюдаемый момент прохождения источника в случае, когда не учитываются результаты автоколлимационных измерений положения фокуса, можно оценить по формуле

$$\epsilon_{\text{AK}}^2 = (\epsilon''_0)^2 - (\epsilon'_0)^2.$$

Значения ϵ_{AK} , полученные по наблюдениям источника ЗС 84 на разных волнах, обнаруживают хорошую сходимость. Их среднее значение, равное $0^{\text{s}}117$, соответствует 1.75 мм шкалы каретки и практически совпадает со средним квадратическим отклонением фокуса, определенного автоколлимационным методом, от его среднего положения (± 1.79 мм). Отсюда можно заключить, что метод автоколлимационного определения положения фокуса антенны по двум вертикально установленным щитам реально повышает точность координатных измерений и позволяет относить все наблюдения к более стабильной инструментальной системе.

Для изучения системы инструмента использовались только наблюдения опорных источников на волне 2.08 см, полученные по расположенному в автоколлимационном фокусе антенны восточному рупору радиометра. Средние значения разностей $(T-\alpha) \cos \delta$, характеризующих инструментальную систему вида $\Delta\alpha_\delta$, приведены в табл. 7, где через n обозначено число наблюдений.

Из табл. 7 видно, что за три месяца среднее значение разностей $(T-\alpha) \cos \delta$, полученных по наблюдениям источника ЗС 454.3, увеличилось на $0^{\text{s}}104$. К сожалению, отсутствие наблюдений опорных источников

ТАБЛИЦА 7
Система инструмента вида $\Delta\alpha_\delta$

Источник	δ	$(T-\alpha) \cos \delta$	n	Средняя эпоха наблюдений (1977)
ЗС 454.3	+16 $^{\circ}$ 0	+1 $^{\text{s}}236 \pm 0^{\text{s}}007$	6	2.5
ЗС 273	+ 2.1	+1.365 \pm 0.043	4	2.8
ЗС 454.3	+16.0	+1.340 \pm 0.058	2	4.8
ЗС 286	+30.6	+1.321 \pm 0.055	3	20.7

в этот период не позволяет сделать определенных выводов о причинах и характере изменения системы инструмента вида $\Delta\alpha_0$ со временем. Для самой системы были приняты результаты наблюдений, выполненных примерно в один и тот же период (три последние строчки в табл. 7).

Для выяснения причин столь больших значений систематических разностей $(T-\alpha) \cos \delta$ 11 июля было проведено определение положения фокуса антенны автоколлимационным методом по всему зеркалу северного сектора радиотелескопа и по двум щитам (№ 585 и 615). Были получены следующие отсчеты шкалы каретки, соответствующие максимуму интенсивности интерференционного сигнала: по всей антенне $m_0 = 658.80 \pm 0.09$ мм, по двум щитам $m_1 = 672.28 \pm 0.06$ мм. Есть основания предполагать, что полученная разность отсчетов $\Delta m = m_1 - m_0$ вызвана постоянной ошибкой в установке одного или обоих щитов по радиусу. В этом случае можно показать, что ошибка $\Delta m = +13.48$ мм приводит к появлению в разностях $(T-\alpha) \cos \delta$ постоянной составляющей, равной $+0.643$. Оставшаяся часть приведенных в табл. 7 систематических разностей,

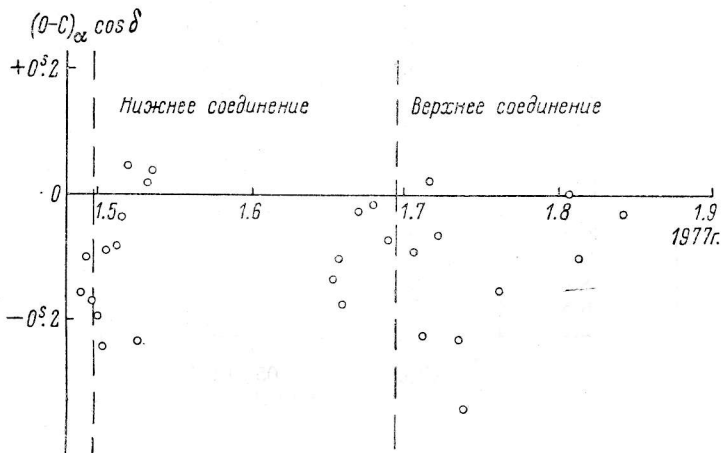


Рис. 3. Приведенные к экватору разности наблюдаемых и эфемеридных прямых восхождений Меркурия.

равная $+0.722$ для источника ЗС 273, $+0.697$ для ЗС 454.3 и $+0.678$ для ЗС 286, по-видимому, объединяет в себе все неучтенные систематические ошибки наблюдений. Предполагая, что основной вклад в эти величины вносит азимутальный разворот главного зеркала $\Delta\alpha$, по формуле $(T-\alpha) \cos \delta = \Delta\alpha \eta (1 + \cos H)$, где η — коэффициент девиации, близкий к 1, а H — высота источника над горизонтом [4], получаем $\Delta\alpha \approx +8''$ (разворот к западу).

При вычислении разностей наблюдаемых (O) и эфемеридных (C) прямых восхождений Меркурия в моменты его прохождений через диаграмму направленности, полученные по расположенному в фокусе рупору 2.08_E , вводились следующие поправки:

а) Δt и Δt_2 ;

б) поправки за систему инструмента, интерполировавшиеся по данным табл. 7 для эфемеридного склонения Меркурия;

в) поправка, учитывающая изменение системы инструмента со временем и приводящая наблюдения Меркурия к средней эпохе наблюдений 18.6.1977. Предполагалось линейное изменение системы инструмента со временем, найденное по наблюдениям источника ЗС 454.3 (табл. 7).

Окончательные результаты определения прямых восхождений Меркурия относительно опорных радиосточников приведены в табл. 8 и на рис. 3. Через D в табл. 8 обозначен эфемеридный угловой диаметр Меркурия.

ТАБЛИЦА 8
Результаты наблюдений Меркурия

1977	δ	D	$(O - C)_\alpha \cos \delta$	Среднее
28.4	+16 ^o 6	11 ^{''} 6	-0 ^o .159	-0 ^o .101 ± 0 ^o .030 n=12, 0 ^o .102
29.4	16.2	11.7	-0.102	
30.4	15.7	11.8	-0.171	
1.5	15.3	11.9	-0.196	
2.5	14.8	11.9	-0.246	
3.5	14.3	11.9	-0.088	
4.5	13.8	11.9	-0.082	
5.5	13.4	11.9	-0.035	
6.5	12.9	11.8	+0.045	
9.5	11.8	11.5	-0.234	
11.5	11.2	11.2	+0.017	
12.5	10.9	11.1	+0.038	
17.6	21.3	5.6	-0.138	-0 ^o .088 ± 0 ^o .025 n=6, 0 ^o .062
18.6	21.7	5.5	-0.101	
19.6	22.1	5.4	-0.175	
22.6	23.2	5.3	-0.028	
25.6	24.0	5.1	-0.015	
28.6	24.4	5.0	-0.071	
3.7	24.1	5.0	-0.093	-0 ^o .153 ± 0 ^o .044 n=7, 0 ^o .117
5.7	23.7	5.1	-0.226	
6.7	23.4	5.1	+0.021	
8.7	22.8	5.1	-0.065	
12.7	21.1	5.3	-0.233	
13.7	20.6	5.3	-0.322	
20.7	16.7	5.7	-0.155	
3.8	8.0	6.9	+0.001	-0 ^o .044 ± 0 ^o .030 n=3, 0 ^o .051
5.8	6.8	7.1	-0.100	
14.8	2.2	8.2	-0.033	

В среднем по 28 наблюдениям $(O - C)_\alpha \cos \delta = -0^o.105 \pm 0^o.018$
 $\varepsilon_0 = \pm 0^o.096$

По уклонениям разностей $(O - C)_\alpha \cos \delta$ за относительно короткие промежутки времени от соответствующих средних значений были получены случайные ошибки одного наблюдения Меркурия в пределах $0^o.05 \leq \varepsilon_0 \leq 0^o.12$. Средние значения разностей $(O - C)_\alpha \cos \delta$, их средние квадратические ошибки, число наблюдений n и значения ε_0 приведены в последней графе табл. 8. В среднем по 28 разностям приведенная к экватору ошибка одного наблюдения Меркурия оказалась равной $\varepsilon_0 = \pm 0^o.096$ или $\pm 1^o.4$.

Таким образом, в ходе эксперимента по определению прямых восхождений Меркурия на РАТАН-600 в диапазоне 2.08 см была достигнута точность, близкая к точности оптических наблюдений планеты. Ошибку ε_0 , по-видимому, уже в настоящее время можно уменьшить примерно до $1''$, если использовать для обработки наблюдения, получаемые в режиме прохождения по обоим приемным рупорам радиометра. В этом случае приемные рупоры следует располагать симметрично относительно фокуса антенны для уменьшения влияния абберационных искажений диаграммы направленности. Заметим также, что реальная научная ценность радиоастрометрических наблюдений Меркурия на РАТАН-600 определяется не только случайной ошибкой одного наблюдения, которая уже в первом эксперименте оказалась лишь в 1.5—2 раза больше, чем для лучших оптических наблюдений, но и принципиальной возможностью увеличения числа наблюдений планеты примерно на порядок при равномерном их распределении по орбитам Меркурия и Земли.

Одним из основных факторов, ограничивающих точность наблюдений Меркурия в режиме прохождения, является недостаточно высокое от-

ношение «сигнал/шум». В связи с этим представляется интересной постановка эксперимента по оценке точности наблюдений Меркурия в режиме скольжения, при котором отношение «сигнал/шум» может быть увеличено на порядок. Детальное исследование системы инструмента, более тщательный ее учет, переход к использованию высокочувствительных радиометров более коротковолнового диапазона — вот основные факторы, определяющие реальные перспективы дальнейшего повышения точности радиоастрометрических наблюдений Меркурия на РАТАН-600.

Для оценки точности наблюдений Меркурия в систематическом отношении, для исследования возможного фазового хода в разностях наблюдаемых и эфемеридных координат планеты необходимо иметь более длительные и регулярные наблюдения Меркурия и опорных радиоисточников. Крайне желательно также сравнить результаты, получаемые на РАТАН-600, с данными параллельных оптических наблюдений планеты.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность Г. Б. Гельфрейху, А. А. Немиро и Ю. Н. Парийскому за поддержку данной работы и многочисленные полезные замечания. Авторы благодарят также А. Б. Берлина, Т. Н. Казанину, А. И. Крупейченко, М. Н. Наугольную, З. Е. Петрова, Н. С. Соболеву, Г. М. Тимофееву, С. А. Трушкина и других сотрудников САО АН СССР, способствовавших выполнению данной работы.

Список литературы

1. Парийский Ю. Н., Шиврис О. Н. Методы радиоастрономического использования РАТАН-600. — Изв. Глав. астрон. обс. в Пулкове, 1972, 188, с. 13—39.
2. Липовка Н. М., Стоцкий А. А. О точности измерений координат при помощи антенны переменного профиля. — Изв. Глав. астрон. обс. в Пулкове, 1972, 188, с. 238—242.
3. Зверев Ю. К., Липовка Н. М. Повышение точности определения прямых восхождений радиоисточников на Большом пулковском радиотелескопе. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1973, 5, с. 123—131.
4. 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.
5. Гельфрейх Г. Б., Госачинский И. В., Парийский Ю. Н. Предполагаемые астрофизические задачи для радиотелескопа РАТАН-600. — Изв. Глав. астрон. обс. в Пулкове, 1972, 188, с. 188—194.
6. Preliminary times and coordinates of the pole, ser. 7, 1977, No. 485—505, U. S. Naval observatory, Washington.
7. Rogers A. E. E., Counselman C. C. III, Hinteregger H. F., Knight C. A., Robertson D. S., Shapiro I. I., Whitney A. R., Clark T. A. Extragalactic radio sources: accurate positions from very-long-baseline interferometry observations. — *Astrophys. J.*, 1973, 186, p. 801—806.
8. Hazard C., Sutton J., Argue A. N., Kenworthy C. M., Morrison L. V., Murray C. A. Accurate radio and optical positions of 3C 273B. — *Nature Phys. Sci.*, 1971, 233, p. 89—91.
9. Ryle M., Elsmore B. Astrometry with the 5-km radio telescope. — *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 1973, 164, p. 223—242.
10. Чубей М. С. Различие между ньютоновыми теорией и таблицами движения четырех внутренних планет. — В кн.: Наблюдательные проблемы астрономии. Л., «Наука», 1976, с. 38—39.
11. Гельфрейх Г. Б. Об одном алгоритме расчета диаграммы направленности антенны типа РАТАН-600 с учетом аббераций и поляризационных эффектов. — *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 1977, 9, с. 89—98.