



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**Астрометрия, геодинамика
и небесная механика
на пороге XXI века**

Санкт-Петербург
2000

Достижения и проблемы наземной астрометрической техники

Г. И. Пинигин

Николаевская астрономическая обсерватория, Николаев, Украина

Позиционная астрономия на рубеже XX–XXI веков находится в состоянии активного развития [1]. Отметим наиболее яркие факты и устойчивые тенденции, определяющие этот период:

- по результатам первого космического эксперимента HIPPARCOS (1989–1993 гг) были созданы два каталога: а) Каталог HIPPARCOS (HC), включающий 118 тысяч звезд до 10-й величины, с точностью положений, собственных движений и параллаксов на уровне одной миллисекунды. По решению 23-го съезда МАС HC представляет опорную систему координат ICRF в оптическом диапазоне; б) Каталог Tycho (TC), включающий положения для одного миллиона звезд до 12-й величины с точностью 25 миллисекунд, распределенных по всей небесной сфере (версия Tycho-1) и положения, собственные движения и фотометрия для 2.5 млн звезд (Tycho-2);

- широкое использование каталогов HC/TC уже на начальной стадии привело к значительным изменениям некоторых взглядов и положений в различных разделах астрономии (новая калибровка шкалы расстояний в нашей Галактике, уточнение динамических параметров отдельных, двойных и скоплений звезд, уточнение структуры, пересмотр моделей эволюции галактики и др.);

- на основе реальности результатов космического эксперимента HIPPARCOS утвердилось лидирующее положение космической астрометрии, как самостоятельного и определяющего направления в астрономии, особенно при установлении и поддержании опорной системы координат ICRF;

- будущие проекты астрометрических спутников XXI века типа FAME, DIVA, SIM, GAIA обещают получение точности до микросекундного уровня для десятков и сотен миллионов небесных объектов яркостью до 16–20 звездной величины. Повышение точности на три порядка определяет перспективные задачи астрономии: решение проблемы фундаментальной опорной системы координат на качественно новом уровне, уточнение и пересмотр системы астрономических постоянных, поиск скрытых масс и др.

На фоне впечатляющих успехов космической астрометрии роль наземных астрометрических исследований претерпевает в настоящее время су-

ществленные изменения. Определяющими факторами в этом процессе являются новые задачи и возможности наземной наблюдательной техники.

2. При техническом оснащении современных наземных астрометрических телескопов (меридианные телескопы, астрографы) используются самые последние технические достижения. В настоящее время известно семь активно работающих автоматических меридианных телескопов (АМТ) [2]. Из них наиболее оснащенным является АМТ Морской обсерватории США (станция во Флагстаффе) — FASTT. Отметим некоторые общие особенности, характеризующие техническое состояние и характеристики действующего парка АМТ:

На современных АМТ наиболее полно учитываются инструментальные ошибки до уровня, примерно, $0.''01 - 0.''005$. Это решается разными способами: а) использованием наиболее оптимальных решений конструкции телескопа, как например на горизонтальном Аксиальном меридианном круге (АМК) Николаевской обсерватории; б) путем тщательного контроля и мониторинга всех известных инструментальных параметров. Непременным условием является оснащение АМТ регистрирующими устройствами на базе ПЗС приемников. Поскольку точность измерения положений небесных объектов посредством современной ПЗС-матрицы возможна до 1–2 процентов пикселя, то возможно значительное повышение точности определений положений наблюдаемых объектов и наблюдений более слабых объектов. Действительно, с ПЗС-микрометром FASTT можно регистрировать небесные объекты до 17.5 звездной величины. Производительность АМТ, оснащенных ПЗС и программным управлением также высока: около 9000 звезд в час можно наблюдать на FASTT, около 7000 звезд на остальных АМТ.

Влияние рефракции остается важной проблемой для наземной позиционной ПЗС-астрометрии. При дифференциальных измерениях с достаточным числом опорных звезд на ПЗС-полосе достаточно точно ($0.''01$ и выше) учитывается влияние таких флюктуаций рефракции, как дневная и годовичная. При этом положительным фактором является высокогорное расположение большинства автоматических МТ. Аномальная (павильонная) рефракция учитывается с помощью автоматической системы сбора метеоданных, которая входит в состав каждого МТ. Труднее устранить влияние флюктуаций рефракции, обусловленных атмосферной турбуленцией высокой частоты, которые имеют доминирующее значение. Расчетные данные для АМТ, типа FASTT (поле зрения $30' \times 30'$, экспозиция 100 с) показывают на реальность измерения положений звезд в диапазоне 9–16 величин с точностью до 40 mas. Оптимистические оценки при условии наблюдений в видимом диапазоне длин волн с помощью двухцветной методики показы-

вают, что возможно достижение точности, около 10 mas.

3) Наличие высокоточной опорной системы НС позволяет ограничиться на АМТ лишь дифференциальными позиционными наблюдениями в ночное время. С другой стороны при дифференциальном способе для регистрации достаточного числа опорных звезд длина ПЗС-полосы может достигать двух и более часов; также используется метод наблюдений короткими полосами, как например на АМК, имеющем возможность наблюдений звезд с одновременным контролем параметров телескопа без изменения его установки по зенитному расстоянию. Использование ПЗС-приемников позволяет выполнять наблюдения по площадям, в отличие от наблюдений единичных объектов на прежних меридианных телескопах. Массовые наблюдения миллионов звезд предполагают применение статистических методов обработки и оценки полученного материала.

Современные программы АМТ включают до миллиона небесных объектов, с ожидаемой точностью положений до 20-40 mas. При современных технических возможностях АМТ эффективно используется в качестве высокоточного инструмента в глобальной астрометрии больших дуг.

Помимо АМТ имеется достаточное количество современных больших телескопов с малыми полями и широкоугольных астрографов для решения задач дифференциальной астрометрии. Широкое внедрение ПЗС-приемников вместо фотографических пластинок имеет эффективные преимущества: наблюдения более слабых объектов и в разных режимах (сканирование, накопление, комбинированный метод), широкий динамический диапазон, цифровое представление материала наблюдений, что позволяет использовать различные методы обработки данных и повышает в конечном итоге точность. ПЗС-астрографы, работающие в угловых полях до $2^\circ \times 2^\circ$, демонстрируют широкие возможности: число объектов яркостью до 21-23 звездной величины достигает в некоторых программах 100 миллионов, ожидаемая точность положений звезд в каталогах — около 10-20 mas. Сочетание положительных качеств ПЗС-астрографа, работающего в малых угловых полях с АМТ, регистрирующим небесные объекты на больших угловых расстояниях явилось основой для предложений по организации совместных наблюдений методом совмещенных полос. Основное достоинство таких наблюдений заключается в возможности проведения наблюдений на ПЗС-астрографе более слабых объектов, с высокой точностью и эффективностью, минуя промежуточные ступени при связи координат определяемых объектов с опорной системой ICRF.

Таким образом, ограничения по точности рассмотренных типов наземных астрометрических телескопов определяются, в основном техническими средствами, атмосферными условиями, методическими особенностями. С

учетом всех факторов оптимистическая оценка точности определения положений в малых угловых полях и на больших угловых расстояниях составляет около 10 mas.

3. Новая возможность повышения точности появилась в последнее время в направлении использования оптической интерферометрии для позиционной астрономии на основе многолетних работ с интерферометрами для решения астрофизических задач. Оптический интерферометр для решения астрометрических задач NPOI был создан в Морской обсерватории США. В его состав входят 4 сидеростата с зеркалами, диаметром 0.5 м и базой 18 м. В 1996 году на NPOI были начаты наблюдения звезд до 10-й величины. На съезде МАС в Киото (1997 г.) сообщалось о точности определения положений звезд посредством NPOI, порядка 1 mas по обоим координатам.

Развитие волоконно-оптических средств связи привело к созданию интерферометрических комплексов, включающих большие телескопы с диаметрами зеркал до 8 и более метров и базами до 400 метров (KIA, VLTI, NPOI-II и др.). Хотя главные задачи таких комплексов лежат в области формирования изображений наблюдаемых объектов, тем не менее в области позиционных определений для наземной астрометрии открываются уникальные возможности: поиск и исследование слабых спутников планет и новых объектов солнечной системы, новых планетных систем в окрестностях ближайших звезд, изучение отдельных звезд, двойных и кратных звездных систем и др.

Оценивая возможности оптических интерферометрических телескопов и комплексов можно говорить о предельной точности позиционных определений на больших угловых расстояниях, порядка 1 mas, а с использованием спеклинтерферометрии и интерферометров с малым полем предел может быть отодвинут до 0.1 mas [3].

Литература

- [1] Seidelman P. K., 1997. Astrometry in the Future, *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 66, pp. 97–106.
- [2] Пинигин Г. И., 1998. Наземная астрометрия — возможность и перспективы, *Известия РАН, серия физ.*, т. 62, № 9, 1774–1779.
- [3] Kovalevsky J., 1999. The next decade: a new boost to Astrometry?, "Journées 1999", Dresden (in print).