

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

УДК 528.288

DOI: 10.22389/0016-7126-2022-979-1-40-53

Астрометрия и геодезия как одна наука. История и предназначение звездных каталогов

© Толчельникова С. А., 2022

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН
196140, Россия, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, д. 65
stolchelnikova@gmail.com

Согласно резолюции Международного астрономического союза, главной опорной сферической координатной системой с 1999 г. становится международная небесная система отсчета ICRF, составленная по наблюдениям квазаров и точечных радиогалактик. Этим решением упраздняются наблюдения, необходимые для составления традиционной сферической координатной системы, представленной фундаментальными каталогами серии FK. Принципы, на которые опирались астрономы XV–XX вв., организовав в обсерваториях определения абсолютных координат звезд, необходимых для составления очередного фундаментального каталога, полезно напомнить. Это позволит естествоиспытателям, изучающим движения по измеряемым значениям координат небесных объектов, прежде всего астрономам и геодезистам, сравнить те возможности, которые предоставляют оптические фундаментальные каталоги для решения задач их отрасли науки и создаваемая опорная система радиокоординат. Обратимся к историческому опыту, который свидетельствует, что установка главной оптической системы координат не была волевым решением, но утверждалась в процессе поиска метода, наиболее эффективного для решения как фундаментальных проблем, так и текущих задач каждой исторической эпохи.

Измерения места и времени, роль сравнений, связь сферических систем, фундаментальные каталоги.

Для цитирования: Толчельникова С. А. Астрометрия и геодезия как одна наука. История и предназначение звездных каталогов // Геодезия и картография. – 2022. – № 1. – С. 40–53. DOI: 10.22389/0016-7126-2022-979-1-40-53

Знай откуда ты исходишь,
чтобы знать, куда стремишься.

В. Гюго

Введение

В число отраслей современной астрономии, называемых теперь науками, включают астрометрию, небесную механику, астрофизику, космологию, геофизику, но геодезию считают не отраслью астрономии, а самостоятельной наукой, которая почему-то не числится в арсенале Российской академии наук. Слово «астрометрия» появилось в XX в., через много веков после возникновения слов «астрономия», «геодезия» и «философия», заимствованных из античной Греции.

В литературе по истории астрономии мало места уделяется астрометрии. Об этом писал И. Г. Колчинский [6], который считал, что в древности и в Средние века «история астрономии была, по сути, историей астрометрии, теперь она в значительной степени становится историей астрофизики». Он предлагал разделить историю астрометрии на периоды по двум направлениям: общие вопросы астрометрии и теоретическая астрометрия (первобытный, древнейший, древний, средневековый, гелиоцентрический, современный периоды); практическая астрометрия

(период простейших инструментов и методов; средневековый — большие квадранты и секстанты; современный — меридианные круги и астрографы, применение фотографических методов).

Колчинский упоминает о дифференциации науки, которая «приводит к необходимости проследить и выделить линию развития этой науки (астрометрии — *С. Т.*)». Покажем, что с первых шагов обнаруживается невозможность разделения решавшихся задач между астрометрией и геодезией. В статье И. Г. Колчинского [6] и в большинстве работ (список приведен в [6] на с. 129–130) второй половины XX в., посвященных истории астрометрии, геодезия не упоминается. Это дает нам право восполнить пробел и рассмотреть (без строгого соблюдения исторической последовательности) ряд задач, требующих определения либо использования координат и времени. Время было единым для астрономии и геодезии, а системы координат, в которых измеряли небесные и земные координаты, были связанными при их построении, установлении. В прошлом задачи решались универсальными учеными, затем потребовалась их специализация. Мы упростим задачу: не разделяя науку на теоретическую и практическую, рассмотрим те измерения координат и времени, которые необходимы для определения движений и для их математического описания (вычисления, прогноза) на будущее время.

Процесс познания природы проходил неодинаково на различных материках и в разных странах, поэтому невозможна универсальная периодизация. Начавшиеся путешествия способствовали установлению связей и обмену информацией между народами. Решения задач, которыми занимались специалисты одной или нескольких стран, постепенно становились всеобщим достоянием, и в XX в. созданы международные союзы в целях объединения специалистов всех государств. Для решения задач, упомянутых в статье И. Г. Колчинского, в разные периоды истории использовали различные средства и способы наблюдений. Наша задача — проследить и выделить линию развития астрометрии, геодезии и наук, от них зависящих, которая сохранялась от истоков науки до XX в.

Ученые, специалисты по истории науки считают родиной научного знания античную Грецию, когда появились геометрия и философия, но даже при скромных сведениях о Древнем Египте и Вавилоне можно оценить научное наследие, полученное Грецией от этих цивилизаций. Воз-

можно, началом научного знания следует считать ту эпоху, когда люди научились считать и измерять? На сколько тысячелетий раньше пришлось бы подвинуть начало научного познания? У нас нет ответа на этот вопрос, но к донаучному знанию мы отнесем то, что люди узнали, еще не умея измерять, т. е. во времена, которые аль-Бируни называл незапамятными.

Когда родилась наука?

В число отраслей современной астрономии Первобытные люди умели сравнивать размеры предметов, скорости животных и понимали, что от движения Солнца зависит смена дня и ночи в течение суток, холода и тепла в течение года. Незнакомому с измерениями пастуху купол ночного неба вместе со всеми светилами казался вращающимся вокруг неподвижной Полярной звезды¹. Он наблюдал из ночи в ночь это вращение звезд разной яркости, неравномерно рассыпанных по небосводу, и пытался запомнить, какие из них видны с вечера и какие предвещают рассвет; замечал, что в течение года видимые с вечера созвездия смещаются к вечерней заре, а утренние гаснут в лучах восходящего Солнца, следовательно Солнце не успевает за вращениями звезд. Чтобы запомнить звезды, он соединял их причудливыми линиями — очертаниями знакомых предметов или животных (например, два ковша или две медведицы).

Затем с той же целью небо заполнили мифологическими персонажами, и за два столетия до наших дней Гете написал: «Забыли, что наука родилась из поэзии», а некоторые философы решают, что наука родилась из мифологии. Известно, что в течение тысячелетий объяснения происходящих явлений оставались мифологическими. Чтобы появилось то объяснение, которое мы называем научным, потребовалось умение измерять и считать. Наука родилась из практики — говорят философы-материалисты. Действительно, практическая деятельность была необходимостью, и ей потребовалась астрономия, опирающаяся на измерения на Земле и на небе, или, переходя на современный язык, геодезия и астрометрия, которые помогали развитию практики и чем дальше, тем надежней служили ей².

¹Полярная звезда, отмечавшая положение полюса небесной сферы, создала неоценимое преимущество для жителей Северного полушария, в Южном полушарии нет ярких звезд, столь близких к полюсу.

²Этимология слова «геометрия» свидетельствует, что первыми были измерения на Земле.



В течение многих тысячелетий важнейшими задачами оставались определение времени и места на Земле по измерениям положений небесных светил. Способы решения изменялись, так что в настоящее время подобные задачи называются уточнением времени и координат события. Когда наблюдения проводили из одного места, движения звезд, Солнца, Луны и планет определяли по отношению к горизонту. Наблюдая за изменением высоты Солнца, можно установить время суток, а изменение высоты Полярной звезды позволяло путешественникам определять, насколько они продвинулись по широте. Но сколько сведений о движениях звезд, Солнца и Земли потребовалось для установления такого правила? Возможно, люди сначала научились определять широту места по Солнцу? Кто первый понял, что, измеряя широту, он отсчитывает свое место по отношению к экватору Земли? На эти вопросы, вероятно, нелегко ответить историкам древних цивилизаций.

Определения широты по высоте Солнца в дни равноденствий и солнцестояний помогли разделить земной шар на климатические пояса и найти угол между экватором и эклипкой. Чтобы установить такие географические сведения, надо было, путешествуя с юга на север, проследить за движениями Солнца относительно звезд во время вечерней и утренней зари [4, с. 324–328], определить его высоту при самых длинных и самых коротких днях, а также в дни равноденствий. Геодезическая задача, которую решал Эратосфен, требовала знаний о движениях Солнца в течение года относительно пунктов на разных широтах Земли. Эти знания помогли решить и техническую проблему – создать солнечные часы. Неравномерность скорости движения Солнца по орбите была известна Птолемею, об этом свидетельствует уравнение времени, приведенное в «Подручных таблицах» [13, с. 507]. Чтобы вывести уравнение времени, необходимо знать изменения скорости годичного движения Солнца по эклиптике (зодиаку) и наклон экватора к эклиптике.

Прошло несколько веков, прежде чем люди научились связывать разные поселения по долготы и составлять карты. Чтобы определять продвижение по долготы, путешественники считали сутки, пройденные от начала движения, но это мало помогало при установлении положения на море. Экспедиция Колумба (XV в.) чуть не погибла от недостаточности геодезических сведений, но

она обнаружила ошибочность прежней оценки расстояния от Европы до «западной Индии». Не будем перечислять наблюдения, которые предлагались для определения долготы на море пока не помогло техническое решение – хронометр, созданный Гаррисоном в середине XVIII в. В настоящее время эти задачи относятся к области практической или технической, их решают без обращения к астрономическим наблюдениям. Значит ли это, что фундаментальные определения координат земных пунктов, звезд, Солнца и Луны не имеют теперь научного значения?

Можно научиться определять свое место и время по Солнцу или звездам, но этого недостаточно, чтобы предвидеть время события, например, когда произойдет затмение Солнца или Луны, когда взойдет утреннее светило Фосфор или вечернее – Геспер, ведь ученые не сразу сообразили, что это одна и та же планета, которую греки именовали звездой Афродиты, а римляне называли Венерой. *Люди поняли, что для предвидения событий необходимо хранить память о прошлом.* Предвидеть явления, происходящие в природе, помогали продолжительные астрономические наблюдения – измерения разнообразных угловых расстояний. У народов, создавших свою культуру и письменность, появились новые возможности для передачи информации будущим поколениям.

Ученых – жрецов Египта в ту далекую эпоху волновала не только загробная жизнь, но и текущие заботы. По наблюдениям Солнца в Египте был составлен календарь, в котором год состоял из 365 суток, год назывался блуждающим, потому что месяцы не соответствовали сезонам. Жизнь в Египте зависела от времени разлива Нила, который происходил в летнее солнцестояние. Было замечено, что примерно в это время в Мемфисе наблюдался первый утренний (гелиакический) восход Сириуса – самой яркой звезды. Едва блеснув, звезда гасла в лучах Солнца. Наблюдения показали, что совпадение трех событий: разливов Нила, солнцестояний и восходов Сотиса (египетское название звезды Сириус) – происходит в разные даты блуждающего года. Только на 1461 год солнцестояние возвращается к той же звезде. Год из 1460 блуждающих лет египтяне называли годом богини Сотис. Если за 1461 год начало блуждающего года возвращается к первоначальному месту солнцестояния, то за 4 года оно отстает на сутки, за год – на 1/4 суток, следовательно в тропическом году 365,25 солнечных суток.

Результаты таких наблюдений позволяли уточнить отношение продолжительности тропического года к средним солнечным суткам. В XIX в. археологи нашли плиту с текстом на трех языках, содержащую декрет, изданный в 238 г. до н. э. царем Эвергетом из династии Птолемея, в нем предписывалось в каждом четвертом году добавлять одни сутки. В Египте эта реформа не прошла в жизнь, но год, продолжительностью в 365,25 суток Юлий Цезарь заимствовал у египтян [4, с. 328].

Изучение движений Солнца относительно Земли началось раньше определений положения Солнца по отношению к звездам. Египтяне пользовались солнечным календарем, а жители восточных стран предпочитали лунные и лунно-солнечные календари, для их создания требовались продолжительные слежения за сложным движением Луны. Наверно, благодаря систематическим наблюдениям Луны астрономы и астрологи Месопотамии не только определяли положение Солнца относительно звезд, но и сумели установить эклиптическую систему координат. От эклиптики отсчитывали широту β звезд, от точки весеннего равноденствия — прямое восхождение α и эклиптическую долготу l .

Возможно, наблюдатели Вавилона надеялись, что Солнце всегда будет пересекать экватор Земли вблизи одних и тех же звезд, когда они расставили знаки зодиакальных созвездий по эклиптике, начиная от созвездия Овна, где находилась точка Весны в ту эпоху. Заметив явления предварения равноденствий, астрономы Вавилона решили, что звездная сфера вращается, а точки пересечения эклиптики с экватором Земли неподвижны. Дошедшие до нас письменные сведения позволяют считать, что Гиппарх был первым, определившим величину прецессионного движения равноденственных точек. Это медленное движение, вычисленное по наблюдениям всего за 166 лет, позволяло оценить период второго вращения небесной сферы относительно Земли. Первым было суточное вращение, связанное с полюсом мира, — мир вращался относительно неподвижной Земли. Так считал и Птолемей, но объяснить второе загадочное вращение не мог ни он, ни его последователи. В этом вопросе разобрался только Коперник [7].

Вавилонские ученые установили в точке Весны общее начало отсчета долгот и прямых восхождений светил, эклиптическая и экваториальная системы координат оказались связанными по построению так же, как экватор Земли связан

с горизонтами и зенитами земных пунктов. Общий нуль-пункт для отсчета координат Солнца и звезд от точки Весны позволял наблюдателям на разных пунктах Земли связать свои отсчеты часовых углов звезд с положением точки Весны, которая один раз в году, в момент весеннего пересечения Солнцем земного экватора, становится «видимой». Однако возможность использования наблюдений Солнца относительно звезд для связи долгот земных пунктов слишком трудна без телескопических наблюдений. На практике для решения географических задач в разных странах земные долготы λ отсчитывали от своих городов, единая система отсчета от Гринвича была принята только накануне XX в.

Античная наука

В сознании народов — наследников культуры Римской империи и Византии греческая наука занимала особое место. Это обстоятельство способствовало признанию родины науки Древней Греции. Аргументом в защиту такого решения считается появление принципиально нового знания, основанного на математическом обобщении результатов измерений (геометрия Евклида на плоской поверхности и сферическая — результат обобщения измерений на сфере небес и Земли [10], теория конических сечений Аполлония и механика Архимеда). Гиппарх создал теорию, представляющую геоцентрические движения Солнца и Луны с помощью композиции круговых равномерных движений. Птолемей составлял аналогичные композиции для представления наблюдаемых движений планет. Его сочинение «Альмагест» [13] с энциклопедическими сведениями по астрономии и географии, звездным каталогом и согласованными с теорией таблицами для вычисления положений Солнца, Луны и планет в эклиптической системе координат оставалось востребованным на протяжении 1300 лет.

Ускоренное развитие древнегреческой науки объясняется тем, что греки начинали не с нуля, но с усвоения знаний и опыта соседних народов. Они определяли продолжительность тропического и сидерического годов (их отношение к солнечным суткам) и, следуя египетской традиции, пользовались солнечным календарем. Эклиптическую систему координат они восприняли от астрономов Вавилона. Пифагорейские имена планет, которыми пользовались греки вплоть до середины IV в. до н. э.,



были переводом с вавилонских обозначений богов — их покровителей [3, с. 175].

Древнегреческая культура в эпоху расцвета обладала многообразием философских направлений и школ. В отличие от других цивилизаций, которые создавали идеал на небе, а не в земном бренном мире и не обращались к астрономии в целях создания календаря и систем координат, греки воплотили свое представление об идеале в искусстве и в геометрии. Гераклит говорил о постоянном изменении движений и о превращениях — метаморфозах в мире, «не созданном никем из людей, никем из богов». Идеальные формы и фигуры искали греческие геометры, скульпторы, архитекторы. Сравнение движений (скорость, отношение периодов), размеров и веса тел не только сохранили как метод исследований, но и довели до численной оценки. Аристарх Самосский использовал наблюдения затмений для сравнения угловых размеров Земли, Солнца и Луны. Для него было очевидно, что Луна больше похожа на Землю, чем Солнце, от которого зависит жизнь на Земле, поэтому он признал положение Солнца центральным в семье планет и допустил не только суточное вращение Земли, как пифагорейцы, но и вращение Земли и планет вокруг Солнца.

Математические дисциплины (геометрия, статика, кинематика) позволяют сравнивать объемы измерений с избранными мерами. Эталон, мера измерения угловых расстояний и времени сохранились с тех пор, как в древнем Вавилоне разделили круг (окружность) на 360° . Общая угловая мера используется не только для координат, измеряемых на небесной и земной сферах, но и для времени: равноденственные солнечные сутки — это угол в 360° , или 24 ч, описываемый Солнцем относительно земных меридианов в дни равноденствий.

О необходимости хранения линейных мер задумались только в XVIII в. Историки знают угловое расстояние, которое использовал Эратосфен, чтобы найти размеры Земли по значению измеренной дуги меридиана, но линейные меры расстояний были различными в разных странах и нередко изменялись. Обычно их связывали с частями тела человека или с длиной шагов; считается, что при установлении стадии в качестве линейной меры расстояний мог использоваться шаг верблюда. Но этого недостаточно, чтобы указать, насколько размеры земного шара, полученные Эратосфеном, отличаются от современных значений.

В античной науке наметилась специализация исследователей, вместе с этим появилось слово «геодезия», значительно раньше слова «астрометрия» (XX в.). Успехи греческих и александрийских ученых объясняются тем, что они продолжили астрономические наблюдения своих предшественников и занимались их анализом. Первым звездным каталогом, сведения о котором сохранились, был каталог Тимохариса и Аристилла, наблюдавших в III в. до н. э. Опираясь на их и собственные наблюдения, в 129 г. до н. э. Гиппарх — «величайший астроном, любитель истины», по словам Птолемея, — установил значение предварения равноденствия. Клавдий Птолемей продолжил традицию определения координат звезд и составил звездный каталог на равноденствие своей эпохи (138 г.). Сознвая невозможность точного определения скорости кругового движения огромного периода (36 тыс. лет) за короткое время наблюдений, Птолемей в «Альмагесте» завещал продолжение наблюдений будущим поколениям: «Что же касается утверждений, относящихся к вечности или к промежутку времени, значительно большему, чем охватываемый этими наблюдениями, то мы предоставляем их другим людям, которые проведут их, руководствуясь любовью к науке и истине» [13, с. 80]. Коперник определил искомый период, равным 25 816 годам, и также писал о необходимости продолжения наблюдений, потому что среднюю скорость движения невозможно определить за время, не превышающее десятую часть периода оборота.

В Римской империи сохранилась значительная часть греческого наследия, продолжилось развитие искусства и литературы, а также строительства и ремесел. Дальнейшие астрономические наблюдения относятся к александрийскому периоду. О развитии гелиоцентрической системы Аристархом Самосским и о наблюдениях в его школе европейцы узнали не из римских источников, а из сочинений Архимеда и Плутарха.

Средние века

Религиозные фанатики в 642 г. сожгли Александрийскую библиотеку — богатейшее хранилище папирусов и рукописей, — что стало невосполнимой потерей для истории науки. Рассуждающий о развитии астрономии в Европе имел бы право пропустить Средние века как эпоху возвращения в прошлое, одичания жителей Рима до уровня варварских племен, наводнивших Евро-

пу, если бы в арабском мире примерно в VIII в. не началось развитие астрономии.

Арабские ученые освоили наследие вавилонских и александрийских астрономов, сохранили и перевели на свой язык «Альмагест» Птолемея и продолжили астрономические наблюдения, отмечая положения небесных светил в эклиптических координатах. Время наблюдения они фиксировали в разных календарных системах. Их наблюдения Солнца и Луны в дни равноденствий и солнцестояний позволили Копернику упорядочить систему счета времени, необходимую для определения движений проекций небесных светил, а следовательно, и для обоснования гелиоцентрической системы мира [14]. Коперник неоднократно упоминает о вкладе ученых арабского мира в развитие математики и астрономии в книге «О вращениях небесных сфер» [7].

Сочинение великого аль-Бируни «Канон Масуда» [2] не уступает «Альмагесту» по содержанию сведений о небе и Земле. Астрономы арабских стран проверяли таблицы Птолемея по собственным наблюдениям, но Птолемей оставался в арабском мире непререкаемым авторитетом вплоть до XI в., когда Аверроэс (Ибн Рушд) – философ и астроном Кордовского халифата, – критикуя представление движений небесных светил по эпициклам и эксцентрам, прославился своими комментариями философии Аристотеля и призывом возвращения к гомоцентрическим сферам Каллиппа. Критика Аверроэса способствовала поиску перехода от наблюдаемых движений по сфере к движениям светил в пространстве, которые оставались геоцентрическими. В ученой среде Европы появились модели мира со множеством сфер, к которым прикреплены небесные светила. Сферы вращаются подобно зубчатым колесам часового механизма, их вращение следовало отрегулировать в соответствии с наблюдаемым вращением каждого из светил.

Эпоха Возрождения. Коперник

Обращение к древнегреческим философским и астрономическим источникам постепенно захватило Италию, а затем и другие части Европы. Замечательная книга «Николай Коперник» [3] позволяет представить Италию начала XV в. и ту среду, в которой сформировались интересы Коперника – одного из титанов эпохи Возрождения, отличавшихся универсальностью познаний и способностей. Именно такие люди нужны были для преодоления средневековых заблуждений.

Раздела статьи недостаточно для описания достижений Коперника, потребовавших развития математики, проведения собственных астрономических наблюдений, тщательного анализа наблюдений предшественников, календарных систем, их связи с историей царств и империй. Большое значение придавал Коперник вопросу сохранения преемственности в определении движений небесных светил [14]. *Для этого следовало сохранить те меры угловых расстояний и времени, которыми пользовались астрономы античности.*

После приведения всех доступных наблюдений в единую систему времени, отсчитываемого в равноденственных солнечных сутках, Коперник смог использовать старый звездный каталог Птолемея (II в.) для определения вековых равномерных вращений наблюдаемых светил, а вслед за этим и периодических вращений проекций Луны, Солнца и планет. Таблицы наблюдаемых, следовательно, геоцентрических движений светил, которые он вычислил, играли роль современных эфемерид, необходимых земным наблюдателям, большинству из которых была интересна лишь картина мира, а не его строение. Коперник стремился к познанию строения Солнечной системы. Используя все ценное в историческом опыте, включая факты – наблюдения двух тысячелетий, он привел их в единую систему, чтобы пересмотреть выводы Птолемея. Результаты наблюдений, не находившие объяснения в системе Птолемея и в физике Аристотеля, получили его в гелиоцентрической системе мира Коперника. Сравнения движений небесных светил и кругов координатных систем, относительно которых определялись их положения, приведенные в единую систему времени, были необходимы Копернику для доказательства тройного движения Земли (третьим было вращение земной оси, о котором не упоминал ни один из предшественников Коперника) [14].

Коперник указал те равномерные круговые движения античной теории, которые следует исключить при переходе к гелиоцентрическим (ненаблюдаемым) движениям тел Солнечной системы. Кроме того, он предложил эталон, меру линейных расстояний – астрономическую единицу (а. е.), которая до сих пор используется при измерениях в Солнечной системе и ближайших областях Галактики [14]. Непосредственно вслед за выходом книги «О вращениях небесных сфер» [7] началось развитие техники вычислений с це-

люю уточнить таблицы геоцентрических движений светил. В 1616 г. труд Коперника попал в Индекс запрещенных книг; борьба за утверждение гелиоцентрического мировоззрения продолжалась несколько столетий.

С началом телескопических наблюдений и по мере расширения сферы практики обнаруживали все больше явлений, подтверждающих вращение Земли (сплюснутая форма Земли, маятник Фуко) и ее орбитальные движения (абберационные и параллактические смещения звезд), которые теперь принято приводить для доказательства системы Коперника, хотя с большим правом можно назвать эти явления следствиями двух упомянутых движений Земли. Главным популяризатором гелиоцентрической системы мира стал Галилей — великий ученый, механик, инженер. Вместе с Кеплером, автором трех законов орбитальных движений планет, они проложили путь от гелиоцентрической теории Коперника к динамике Ньютона. Например, третий закон Кеплера позволял определить отношения между большими осями орбит планет и периодами их обращений, следовательно, выразить их расстояния от Солнца в астрономических единицах.

Работу Коперника можно рассматривать как план развития астрономии на последующие столетия. С легкой руки Галилея, писавшего в работе «Диалог о двух главнейших системах мира» о точном вращении и поступательном орбитальном движении Земли, такое число движений вошло в учебную литературу, начиная со школьных учебников. Лишь через два века после смерти Коперника Ньютон определил вращение земной оси динамическим методом [11], и его до сих пор изучают отдельно от двух других движений Земли. Поэтому метод Коперника остается интересным для современной многоотраслевой астрономии. Только в трудах Д'Аламбера и Эйлера была показана эквивалентность описания вращения и поступательного движения планеты двум вращениям, как у Коперника.

Глядя в прошлое, можно утверждать, что общепризнанное мировоззренческое значение трудов Коперника связано с кардинальным изменением представлений людей о движениях тел в Солнечной системе и об отношениях расстояний между системами тел и размерами Земли. В системе мира Коперника на долю звездной сферы не осталось ни одного вращения. Со временем изменились представления о неподвижности земной оси (следовательно, и экватора) на сфере

Земли ($\varphi = \text{const}$) и полюса эклиптики на звездной сфере ($\beta = \text{const}$), а также о неподвижности изображений звезд, столь необходимых Копернику для приведения 1000-летних позиционных наблюдений в единую систему времени [14]. *При этом непоколебленной осталась установленная в далеком прошлом связь между координатами трех сферических координатных систем.*

Тихо Браге — открытие изменений эклиптических широт

Тихо Браге называли фениксом астрономии. Он построил обсерваторию на острове Вен, где регулярно проводили наблюдения, самые точные в XVI в. благодаря тщательности изготовления инструментов и, главное, повышенным требованиям к устойчивости при их установке. Известно, что, сравнивая эклиптические широты звезд своего каталога и александрийских звездных каталогов, Тихо обнаружил изменения широт β звезд. Это было открытием, потому что, как и Птолемей, все астрономы последующих веков, включая Коперника, считали эклиптику кругом, не изменяющим своего положения относительно звезд. Сведения об инструментах, сконструированных Тихо, сохранились, но мало известно о методике его наблюдений.

Астрономы XV в. уже не определяли широту места по высоте Полярной звезды над горизонтом, они знали об изменениях склонений звезд, и некоторые из них, как Доменико Новара, допускали возможность изменения земных широт φ . Коперник считал широты постоянными, понимал их связь с земным экватором и тропиками [7, с. 84–85]. Из описания наблюдений с астролябией, приведенного в опубликованном тексте и рукописи Коперника, следует, что он определил значение угла ε между эклиптикой и экватором, установив при этом его изменимость, тогда как в постоянстве этого угла не было сомнений у Птолемея. Причину изменений ε следовало искать в движениях экватора, потому что Коперник фактически опирался на эклиптику Птолемея, добиваясь совпадения с ней круга своей астролябии. Так он мог заметить только несовпадения широт β нескольких звезд с их широтами в каталоге Птолемея. Опираясь на свои вычисления изменений ε , Коперник вывел изменения склонений звезд в течение двух тысячелетий, чтобы создать возможность уточнения значений широт пунктов по наблюдениям звезд.

Тихо Браге мог двигаться в обратном направлении: начинать с определения широты своей обсерватории по наблюдениям верхних и нижней кульминаций звезд вблизи полюса, одновременно получая и склонения звезд. Такой способ описан Бируни (X в.) [2]. Определив склонения и привлекая собственные наблюдения Солнца в течение года, Тихо Браге получал при этом значения эклиптических широт звезд β и угла ε , не зависящие от значений, полученных наблюдателями прошлых веков; такие координаты впоследствии стали называть абсолютными.

Привело ли открытие изменений широт звезд к попытке Тихо Браге изменить систему Коперника – вопрос несущественный. Главной его заслугой считают уменьшение ошибок измерений координат проекций Солнца и планет, использованных Кеплером для подтверждения схемы Коперника, что позволило вывести три закона орбитального движения планет.

О динамическом методе Ньютона

Начало нового этапа в развитии науки – выход в свет работы Ньютона «Математические начала натуральной философии» [11]. Поиск причины закономерностей в наблюдаемых движениях характерен для индуктивного метода Коперника и Ньютона. Ньютон пишет: «Все же, что не выводится из явлений, должно называться *гипотезой* (курсив мой – С. Т.), гипотезам же метафизическим, физическим, механическим, скрытым свойствам, не место в экспериментальной философии. В такой философии предложения выводятся из явлений и обобщаются помощью наведения. Так были изучены непроницаемость, подвижность и напор тел, законы движения и тяготения» [11, с. 662]. Закон всемирного тяготения Ньютона стал обобщением как результатов наблюдений, так и исследований Кеплера и Галилея, которые руководствовались теми же принципами: Кеплер использовал наблюдения Тихо Браге для вывода трех законов движения планет, Галилей опирался на наблюдения и эксперименты при выводе законов падения тел.

Люди издавна научились сравнивать вес тел, в античности развивалась статика. Для перехода к динамическому методу определения движений небесных тел потребовалось сравнение их масс. Итак, индуктивный метод заключается в сравнительном анализе явлений и результатов тех авторов, которые находили закономерности в явлениях. Ньютон расширя-

ет сферу сравнений, предлагая сравнивать также взаимодействия тел, чтобы не придумывать скрытых свойств, но выводить свойства тел из взаимодействий. Тела обладают разной массой, определяющей силу их взаимного тяготения. У Аристотеля сила была причиной движений тел. Ньютон исходит из универсальности движений (покой бывает только относительным), и сила у него – причина как сохранения, так и изменения скорости движения тел, поэтому он связывает силу с ускорением.

Экспериментальная философия необходима для создаваемой Ньютоном динамики, но в результате созданная им классическая механика основана на математических началах и подобно геометрии является точной наукой. Классическую механику можно, следуя Декарту, назвать геометрией, пришедшей в движение. Действительно, в построении «Математических начал натуральной философии» Ньютон следует за Евклидом [10]: начинает с изложения определений [11, с. 23], затем аксиом [11, с. 39], вслед за аксиомами идут две книги «О движении тел», где решение всех задач изложено геометрическим методом. «...Математический аппарат, которым пользовался в своей книге ее гениальный автор, – это не аналитический метод исчисления бесконечно малых, который им же создан, а старый нами забытый и нам чуждый геометрический метод Архимеда, Евклида, Аполлония и других классиков», – писал академик Т. Кравец [5]. В книге первой движения определяются по силам взаимодействия, обратно пропорциональным квадратам расстояний, следовательно, тела движутся по коническим сечениям; в книге второй – по силам, обратно пропорциональным расстояниям. Античные источники Ньютона также включают сочинения Аполлония Пергского «Конические сечения» и «Псаммит», или «Исчисление песчинок», Архимеда. Очевидно, Ньютон имел право сказать, что стоял на плечах гигантов, и поэтому видел дальше других.

«Математические начала натуральной философии» [11] открыли широчайшие возможности для использования дедуктивного метода: кроме движения от явлений к сущности, возросла возможность движения от сущности к явлениям. В книге третьей «О системе мира» Ньютон излагает учение о строении мира, исходя из математических начал философии, на которых могут быть обоснованы рассуждения о вопросах физических» [11, с. 662]. В теории можно оставлять ве-



личины в буквенном выражении, но для решения практических задач требуется переход к числам — отношениям измеряемых искомым значений величин к их мерам. Начавшееся затем стремительное развитие небесной механики и эфемеридной астрономии объясняется тем, что одновременно происходил прогресс и в точности наблюдений, благодаря их техническому оснащению. Поэтому точность наблюдаемых движений планет, их спутников и комет возрастала — обнаруживались незначительные изменения координат, прежде неуловимые, что, в свою очередь, приводило к совершенствованию динамических методов, примеров этому достаточно [4, с. 205–272]. Сравнения наблюдаемых координат и вычисленных динамическим способом сохраняет эвристическое значение до тех пор, пока сохраняется единая геометрия на практике и в теории [9].

Значение прецессии земной оси, определенное Ньютоном динамическим методом, совпало с эмпирическим значением Коперника. Ньютон показал, что влияние притяжения Луны на вращение земной оси в 4 раза больше влияния Солнца [11, с. 598–601], затем Бадлей (1748 г.) определил по наблюдениям те колебания земной оси относительно звезд, которые были так сильно преувеличены арабскими астрономами в теории трепидации равноденственных точек. Развивая динамическую теорию вращения твердых тел, Эйлер заключил, что земная ось вращается не только относительно звезд, но и по отношению к телу Земли. Для практической проверки теории Эйлера была установлена земная система координат и создана Международная служба широты, приступившая в 1905 г. к наблюдениям широт на пяти станциях. В XX в. изучение формы и вращения Земли оставалось общей задачей астрометрии, геодезии и гравиметрии.

Проведение астрономо-геодезических наблюдений свидетельствует о нерасторжимой связи позиционных измерений на земной и небесной сферах. В XVIII в. спор о форме Земли между сторонниками представлений Декарта и выводов Ньютона решился проверкой на практике. Французская академия наук в 1736 г. отправила две экспедиции: в Лапландию, возглавляемую Мопертюи, и в Перу во главе с Годеном. Вывод Ньютона о сплюснутой у полюсов форме Земли подтвердился — произошло уточнение представлений Эратосфена и античных астрономов о форме Земли. Этот пример движения от сущности к явлениям — еще одно подтверждение тес-

ного взаимодействия теории и практики, которое сохранялось вплоть до начала XX в.

Обнаруженные Тихо Браге изменения широт звезд за 1500 лет оказались столь малы, что Ньютон и небесные механики XVIII в. могли не учитывать этого векового движения с тем большим основанием, чем меньше становились промежутки времени, в течение которых они изучали движения. О тенденции к изучению короткопериодических движений свидетельствует переход на публикацию экваториальных координат в звездных каталогах. Известно, как порицал Ньютон Флемстида за бесконечное затягивание публикаций наблюдений Гринвичской обсерватории и нового звездного каталога. Для создания динамической теории движения Луны, следовательно, и уточнения вычислений высоты морских приливов Ньютону требовался точный каталог, но пришлось пользоваться старым каталогом Тихо Браге, созданном без телескопических наблюдений.

Напротив, Копернику для усовершенствования античной теории нужен был старый каталог, потому что он в первую очередь определил вековое вращение — равномерную составляющую прецессионного движения, затем движения Луны и планет, а связь со звездой γ Овна указывала ту эпоху, с которой Коперник начал уточнение античной теории круговых равномерных движений светил. Если Коперник использовал в качестве начальных условий наблюдения за 1000-летие до его эпохи, то у современных астрономов этот интервал Δt не превышает 50 или 100 лет. Изучение движений на коротких интервалах времени позволяет перейти к линейным уравнениям и определять малые поправки к начальным значениям координат и параметрам установки инструмента.

Изложенное в книге третьей «Математических начал натуральной философии» убеждает нас в том, что Ньютон *сохраняет угловые меры расстояний и времени, которыми пользовались астрономы античности и Коперник, обеспечивая таким образом преемственность в изучении вращений всех тел Солнечной системы*. Переход к изучению поступательных движений в пространстве потребовал линейной меры для измерения расстояний, т. е. астрономической единицы — *orbis magnus* Коперника [14].

Необходимо упомянуть о понятии «абсолютное движение», которое вводит Ньютон. Оно определяется по силам взаимодействия в системе тяготеющих тел и начальным условиям,

т. е. наблюдаемым относительным движениям. Абсолютное движение, пространство и время — это идеальные абстрактные понятия, необходимые в математике, которые на практике заменяются отношениями. Причиной изменения отношений могут быть как изменения измеряемых величин, так и непостоянство используемых мер, о чем предупреждал Ньютон [11, с. 31–32].

Физики-теоретики XX в. признают все движения относительными и считают понятие «абсолютное движение» бессмысленным. Однако бессмысленно спорить с определением — дефиницией, необходимой для созданного Ньютоном нового метода определения движений. Ньютон поясняет, что у каждого тела относительных движений множество, но абсолютное движение — единственное. Это движение по отношению к центрам тяжести в системах взаимно тяготеющих тел. Для Земли и планет — это их гелиоцентрические движения, для звездных систем — их галактоцентрические движения, для экзопланеты — ее движение по отношению к барицентру ее звездной системы.

От абсолютных каталогов государственных обсерваторий к фундаментальным каталогам звезд

Строительство государственных обсерваторий было продиктовано практическими потребностями: Гринвичская обсерватория (1675 г.) обеспечивала интересы судоходства, Пулковская (1839 г.) была необходима для картографирования России, о цели Военно-морской обсерватории США (The United States Naval Observatory, USNO) (1893 г.), расположенной в Вашингтоне, говорит ее название. Решение задач практики не мешало астрономам позаботиться о фундаментальной науке — обеспечить возможность решения проблем, называемых вековыми, или долгопериодическими. Первенство во времени принадлежит Гринвичской обсерватории, следовательно, она служила примером, что не уменьшает заслуг последующих. Не будем задерживаться на различиях инструментов и способов обработки наблюдений, о чем достаточно сведений в литературе, отметим наиболее существенное, что оставалось общим.

Наблюдения проводили в меридиане места, при установке инструмента нужны были предварительные значения координат звезд, для контроля за стабильностью установки использовали миры; уровни и ртутный горизонт помогали

уточнить связь осей инструмента с направлением отвеса в пункте наблюдений. Раздельные определения склонений и прямых восхождений соответственно с вертикальным кругом и пассажным инструментом оказались более точными. Вместе с повышением требований к независимости искомых координат от их принятых начальных значений возникла необходимость определять из уравнений одновременно с искомыми координатами также поправки к параметрам установки инструмента. Склонения и широты (меридиональные уклонения отвеса) находили из уравнений наблюдений верхних и нижних кульминаций звезд. В пассажном инструменте уклонения часового угла от меридиана определяли не по разделенному кругу, а по отсчетам времени, для чего потребовалось находить поправки обсерваторских часов, азимута и наклонности горизонтальной оси инструмента из решения уравнений, полученных по измерениям [1, с. 14–15]).

Выводимые склонения звезд назывались абсолютными, а значения прямых восхождений — абсолютными с точностью до постоянной величины, для определения которой требовались наблюдения Солнца. Среди круглогодичных наблюдений Солнца важнейшие — вблизи равноденствий и солнцестояний. Их использовали для определения нового значения угла ϵ и прецессионного движения, следовательно, они позволяли установить начало отсчета прямых восхождений и долгот от нового места точки Весны. Периодические определения места точки Весны необходимы для изучения вековых движений и продолжительности тропического и звездного года. После учета движения точки Весны прямые восхождения звезд получали право называться абсолютными, т. е. наравне со склонениями звезд, независимыми от значений координат, определявшихся прежде. Такие координаты звезд, Солнца и Луны (пока ее традиционные наблюдения вместе с Солнцем продолжались в Гринвичской обсерватории) были связаны с направлением отвеса в пункте наблюдения, а связь трех координатных кругов (меридиан обсерватории, экватор и эклиптика) соответствовала равноденствию эпохи наблюдений.

В XVIII в. самым востребованным был звездный каталог Дж. Бадделя (перерабатывал Ауверс, затем Аргеландер). Потребность в международном сотрудничестве была осознана вместе с оживлением транспортного сообщения по морю и суше: потребовались точные земные координаты



ты φ и λ , т. е. уточнение их связи с координатами звезд и Солнца. Согласованными с небесными координатами считались абсолютные значения широт φ , которые определяли совместно со склонениями звезд по измерениям их зенитных расстояний в двух разноименных кульминациях. Предстояло решить проблему согласования долгот λ обсерваторий с прямыми восхождениями, отсчитываемыми от точки Весны по наблюдениям Солнца. Для этого при постройке обсерватории определяли разность долгот новой и ранее установленной. Эту задачу в XIX в. решали, организуя хронометрические экспедиции: бережно перевозили множество хронометров, показания которых постоянно сверяли. Таким сложным способом обеспечивали единство системы отсчета прямых восхождений небесных светил и долгот государственных обсерваторий. После этого, учитывая связанность их широт со склонениями ярких звезд, не осталось препятствий для перехода от экваториальных, а также эклиптических координат к земным координатам государственных обсерваторий и для обратных переходов.

От точности привязки λ к α зависела согласованность местного времени на всех меридианах. Так возникало понимание необходимости, во-первых, сводного каталога, составленного по абсолютным наблюдениям государственных обсерваторий, во-вторых, установления всемирного времени (UT – Universal Time). Астрономы Германии занялись анализом ошибок абсолютных каталогов, необходимым для назначения веса каталожным координатам разных обсерваторий при составлении очередного сводного фундаментального каталога серии FK. Каталоги FK обеспечивали потребителей средними местами звезд с указанием равноденствия и эпохи наблюдений на шкале времени, например, в общепринятой календарной системе. Кроме координат звезд в фундаментальных каталогах печатали скорости изменений экваториальных координат между эпохами наблюдений [1, с. 16].

Разногласия стран Европы в выборе обсерватории, достойной присвоения нулевого значения долготы, были урегулированы к 1898 г. Нуль-пункт отсчета долгот ($\lambda = 0$) связали с отвесным направлением меридианного инструмента Гринвичской обсерватории, где продолжались абсолютные наблюдения. Соответственно, первым международным временем было Гринвичское среднее солнечное время (GMT – Greenwich Mean Time), связанное с отвесным направлением

этого же меридиана. Так решалась задача связи прямых восхождений звезд с долготами многих обсерваторий, снабженных точными часами, показания которых уточняли по наблюдениям ярких звезд широкого экваториального пояса (звезды Маскелайна).

Необходимость в перевозке точных часов, хранящих время государственной обсерватории, отпала после начала трансляции сигналов точного времени по радио. Следствием этого стало уменьшение ошибок долгот λ многих пунктов, определяемых по наблюдениям звезд, и создание службы времени – новой отрасли астрометрии. Служба времени удовлетворяла запросы потребителей, но технические достижения века помогли бы фундаментальным исследованиям, если бы служба одновременно уточняла связь координат Солнца и звезд. Эта задача была возложена на государственные обсерватории, периодически проводившие абсолютные наблюдения, первой среди которых была Гринвичская, сохранявшая связь отсчетов местного времени на разных меридианах с GMT.

Переход от одной сферической координатной системы (СКС) к другим целесообразен только в том случае, если установлена их жесткая связь. Когда в звездной астрономии потребовалась галактическая СКС, она была связана с экваториальными координатами конкретной точки [12]. Поскольку все движется, связь нарушается, и в последующую эпоху приходится заново определять относительные положения координатных кругов, или трех полюсов СКС. Светила различаются по скорости их наблюдаемых смещений. Наблюдаемыми являются углы между направлениями отвесов и направлениями на проекции тел на сфере неопределенного радиуса (во избежание повторений слово «проекция» обычно опускается). Наиболее близкие – это тела Солнечной системы. От наблюдаемых мгновенных мест планет переходят к их средним местам. Для определения долгопериодических движений планет необходимо учесть также изменения их средних координат, что возможно, если установлена связь положений кругов для разных эпох. Звезды медленно изменяют свои средние места, поэтому скорости звезд μ и μ' , называемые их собственными движениями, определяют в целях уточнения их значений примерно через 30 лет. Проекция самых далеких звезд, а также галактик, смещений которых пока не удастся обнаружить, называют практически неподвижными.

В каталогах FK содержались координаты ярких звезд (с длинной историей). Для привязки координат других звезд к фундаментальным использовали наблюдения дифференциальными, относительными методами. Задачей таких определений было воспроизведение системы фундаментального каталога. Фотографический способ гарантировал одновременность наблюдаемых положений опорных и определяемых звезд и галактик на ограниченном участке неба, поэтому уменьшались случайные ошибки, но, как известно, на каждом этапе привязки возникали отклонения от фундаментальной системы. Вычисляемые ошибки координат, полученных абсолютным методом, больше ошибок относительных координат, поэтому последние считаются более точными. Однако относительные каталоги не предназначены для определения моментов равноденствий и установления новой связи между экваториальной, эклиптической и многими горизонтальными СКС, а следовательно, и для определения вековых изменений орбит и вращений тел Солнечной системы, в том числе Земли.

Чем ближе подходим к дифференцированной науке XX в., богатого техническими достижениями и «научными революциями», тем больше причин напомнить о фундаменте, который, благодаря периодически проводимым абсолютным наблюдениям, обеспечивал согласованность координат объектов, наблюдаемых на сферической поверхности неба и Земли. Согласованными оставались многовековые движения при условии сохранения единой системы времени, равномерного с точностью до ошибок наблюдений [14]. Очевидно, наблюдения Солнца нужны не только для составления звездных каталогов [14], но также для определения солнечного и звездного времени. Достижение XX в. — организация международного сотрудничества в астрономии и геодезии. В этот период предложены изменения в методику наблюдений, повлиявшие на последний фундаментальный каталог, способ уточнения абсолютных значений координат по наблюдениям методом равных высот [1, с. 25–29]. Кроме того, внесены изменения в шкалу счета времени: от GMT перешли на UT, затем на эфемеридное время (ЕТ), а потом на атомное (АТ). В XX в. на тему о времени писали главным образом те, кто не имел представления о том, как оно измеряется, поэтому полезным было бы описание способов определения астрономического времени от истоков науки до наших дней.

Заключение

Главные аргументы перевода астрономии с оптической опорной системы на радиокоординаты — значительное превосходство в точности радионаблюдений и отсутствие собственных движений у внегалактических радиоисточников, каковыми считаются квазары и радиогалактики. Предполагается, что такой каталог будет практически вечным, так что отпадет необходимость указания эпохи его наблюдения [19]. Все искомые направления и координаты наблюдаемых светил будут связываться непосредственно с неподвижными на небесной сфере внегалактическими радиоисточниками, поэтому известных астрономов радует отказ от определения положения координатных кругов и точки Весны [8, с. 3; 16].

Но поскольку конечная цель астрономии — определение разнообразных движений (не только постоянных скоростей μ и μ' звезд), необходимо уточнять смещения искомых объектов, а также определять их изменения за промежутки времени, в течение которых они произошли. Следовательно, придется определять и сохранять для будущих поколений эпохи наблюдений, моменты равноденствий и наблюдений конкретных объектов. Отказ от наблюдений Солнца вызван непониманием места главной опорной СКС в системе астрономии, геодезии и наук, связанных с ними, включая и палеонауки. Создаваемые абсолютные, затем фундаментальные каталоги были необходимы всем, изучающим либо использующим движения на сферах небесной и земной. Представляют ли инициаторы и сторонники перехода на радиокоординаты, как будут пользоваться радиокаталогом те, для кого он создается? До сих пор сравнение возможностей, которые открываются при использовании оптических каталогов и радиокоординат, оказывается не в пользу последних. Радиоастрономы не могут ответить на вопросы, заданные, например, в статье [18], где показано, что опора на радиосистему ICRF ведет к отрыву геодезии от астрометрии. Оптическая СКС, построенная по наблюдениям со спутника Gaia, также не связана с отвесными направлениями. Следовательно, создаются предпосылки для утраты связи наук о движениях небесных тел и Земли. Дифференциация наук приводит к падению эффективности исследовательской работы. Отсюда не следует, что радиокаталоги внегалактических и галак-

тических объектов не нужны астрофизике и астрометрии. Их необходимо связать с оптической системой, и полезно вспомнить, как решалась задача определения координат оптических галактик в XX в. [1, с. 18].

Обсуждение задач астрометрии, происшедшее в Институте практической астрономии, созданном РАН специально для решения астрометрических и геодезических задач на основе наблюдений методом радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами, показывает, что астрономы-оптики отстранены от решения фундаментальных проблем [15]. Приведем цитату из статьи Э. Хёга [17, с. 159]: «Один выдающийся астрофизик, выражая мнение многих его коллег, сказал: «Прикроем астрометрию на сто лет и позволим астрометристам вымереть. Потом люди со свежими мыслями смогут начать по-новому».

«Людьми со свежими мыслями» оказались представители радиоастрометрии – новорожденной отрасли молодой науки радиоастрономии, появившейся благодаря успехам развития радиотехники, которые не изучали истории методов определения координат и времени, поэтому перестройка фундамента, ими проводимая, чревата разрушением всего здания. Для повышения эффективности (коэффициента полезного действия) исследований, связанных с определением значений координат и времени (а также с использованием понятий «пространство» и «время»), и одновременно для приостановки процесса дифференциации науки не следует ждать забвения методов фундаментальной (наземной) астрометрии.

Для этого необходимо освоение богатейшего исторического наследия классической науки.

На рубеже XX в. от российских студентов, выпускников факультетов естествознания, требовали чтения текста Коперника, теперь приходится напомнить астрономам историю создания звездных каталогов и мнение Коперника об этом [14]. Создание всеобщей опорной оптической СКС требовало не гипотез о неподвижности звезд, но *проведения измерений относительных угловых расстояний между всеми наблюдаемыми объектами и направлениями отвесов в разных точках Земли*. Таким способом были обнаружены полюсы и соответствующие им координатные круги: горизонтальные, экватор и эклиптика. Круги движутся так медленно, что в современных условиях целесообразно определять скорости их относительных движений (изменений угловых расстояний между ними) 1-2 раза в столетие.

Достижения техники помогают астрономам, хранители постоянной частоты, как и в прошлом, упрощают определение движений за короткие интервалы, или малых поправок к принятым значениям координат, но этого недостаточно. Фундаментальные проблемы – определения вековых и долгопериодических движений, например, связанных с изменениями климата на Земле. Для новой, революционной астрономии такие задачи не считаются актуальными. Шкалой календарного времени нас обеспечили надолгопредшественники. Теперь и проще и престижнее искать малые поправки ко всем движениям и обходиться без истории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Астрономия, геодезия и геофизика*: Науч.-техн. сб. – М.: ФБГУ «Центр геодезии и картографии и ИПД», 2018. – 236 с.
2. *Беруни Абу Рейхан*. Избранные произведения. Т. V, ч. 2. Канон Масуда (кн. VI–XI) / Ред. С. Х. Сираждинов, Г. П. Матвиевская. – Ташкент: ФАН, 1976. – 634 с.
3. *Веселовский И. Н., Белый Ю. А.* Николай Коперник. – М.: Наука, 1974. – 455 с.
4. *Идельсон Н. И.* Этюды по истории небесной механики. – М.: Наука, – 1975. – 496 с.
5. *Исаак Ньютон (1643–1727)*. Сборник статей к трехсотлетию со дня рождения / Под ред. акад. С. И. Вавилова. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1943. – 439 с.
6. *Колчинский И. Г.* Периодизация истории астрометрии // *Геодинамика и астрометрия*. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 120–131.
7. *Коперник Н.* О вращении небесных сфер. Малый комментарий. Послание против Вернера. Упсальская запись / Пер. проф. И. Н. Веселовского. – М.: Наука, 1964. – 653 с.
8. *Маррей К. Э.* Векторная астрометрия. – Киев: Наукова думка, 1986. – 326 с.
9. *Мурри С. А.* К вопросу о месте геометрии в естествознании // *Проблемы пространства, времени, движе-*

10. *Начала* Евклида. Т. 1. / Пер. с греч. Д. Д. Мордухай-Балтовского. – М.–Л.: ГИТТЛ, 1948. – 448 с.
11. *Ньютон И.* Математические начала натуральной философии. – М.: Наука, 1989. – 688 с.
12. *Паренаго П. П.* Курс звездной астрономии. – М.: ГИЗ, 1954. – 476 с.
13. *Птолемей К.* Альмагест. – М.: Наука, – 1998. – 671 с.
14. *Толчельникова С. А.* Загадка звездного каталога Коперника // *Геодезия и картография*. – 2019. – № 3. – С. 37–47. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-945-3-37-47; 2020. – № 6. – С. 56–64. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-960-6-56-64; 2021. – № 3. – С. 54–64. DOI: 10.22389/0016-7126-2021-969-3-54-64.
15. *Труды Института прикладной астрономии РАН*. – 2000. – Вып. 6. Астрометрия и небесная механика. – 325 с.
16. *Фёдоров Е. П.* Общий взгляд на астрометрию // *Геодинамика и астрометрия*. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 74–109.
17. *Хёг Э.* Астрометрические исследования со спутника ESA // *Геодинамика и астрометрия*. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 158–164.
18. *Popadyev V. V., Tolchelnikova S. A.* (2014) Some common problems in geodesy and astrometry

after establishment of ICRF. In Recent development and problems in ground-based and space astrometry. Journées, Pulkovo observatory, Observatoire de Paris, pp. 28–31.

19. Walter H. G., Sovers O. J. Astrometry of Fundamental Catalogues: The Evolution from Optical to Radio Reference Frames. Berlin: Springer-Verlag, 2000, 231 p.

Astrometry and Geodesy as a one science. History and assignment of stellar catalogues

Tolchelnikova S. A.

Main (Pulkovo) astronomical observatory of the Russian Academy of sciences
196140, Russia, St. Petersburg, Pulkovskoe highway, 65
stolchelnikova@gmail.com

According to the resolution of the International Astronomical Union, since 1999 the main reference for spherical coordinates has become the international celestial reference frame ICRF, compiled from observations of quasars and point-like radio galaxies. This decision abolishes the observations necessary for compiling the traditional spherical coordinate system represented by the fundamental catalogs of the FK series. It is useful to recall the principles of astronomers of the 18th–20th centuries who had organized the determination of the absolute coordinates of stars at the state observatories, required for compiling the next fundamental catalog. This will allow natural scientists who study movements by measured coordinates of celestial objects, firstly astronomers and geodesists, to compare the opportunities provided by optical fundamental catalogs and the reference system of radio coordinates for solving the problems of their branch of science. Let us turn to historical experience, which shows that the establishment of main optical coordinate systems was not a volitional decision but was affirmed in the process of searching for the most effective method for solving both fundamental problems and satisfying current needs of each historical era.

Measurements of position and time, the role of comparison, the role of fundamental catalogue, spherical circles' connection.

For citations: Tolchelnikova S. A. (2022) Astrometry and Geodesy as a one science. History and assignment of stellar catalogues. Geodezia i Kartografiya, 83 (1), pp. 40–53 (In Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2022-979-1-40-53

REFERENCES

1. *Astronomiya, geodeziya i geofizika: Nauchno-tekhnicheskii sbornik.* Moskva: FBGU "Tsentr geodezii i kartografii i IPD", 2018, 236 p. (In Russian).
2. *Beruni Abu Reikhan. Izbrannye proizvedeniya.* Tom V, chast' 2. Kanon Masuda (knigi VI–XI) / Redaktory S. Kh. Sirazhdinov, G. P. Matvievskaia. Tashkent: FAN, 1976, 634 p. (In Russian).
3. *Veselovskii I. N., Belyi Yu. A. Nikolai Kopernik.* Moskva: Nauka, 1974, 455 p. (In Russian).
4. *Idel'son N. I. Etyudy po istorii nebesnoi mekhaniki.* Moskva: Nauka, 1975, 496 p. (In Russian).
5. *Isaak N'yuton (1643–1727). Sbornik statei k trekhstoletiyu so dnya rozhdeniya. Pod redaktsiei akademika S. I. Vavilova.* Moskva–Leningrad: Izdatel'stvo AN SSSR, 1943, 439 p. (In Russian).
6. *Kolchinskii I. G. Periodizatsiya istorii astrometrii. Geodinamika i astrometriya.* Kiev: Naukova dumka, 1980, pp. 120–131 (In Russian).
7. *Kopernik N. O vrashchenii nebesnykh sfer. Maliy komentarii. Poslanie protiv Vernera. Upsal'skaya zapis'.* Pervod professora I. N. Veselovskogo. Moskva: Nauka, 1964, 653 p. (In Russian).
8. *Marrei K. E. Vektornaya astrometriya.* Kiev: Naukova dumka, 1986, 326 p. (In Russian).
9. *Murri S. A. K voprosu o meste geometrii v estestvoznani. Problemy prostranstva, vremeni, dvizheniya. Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoi konferentsii. Sankt-Peterburg: Iskustvo Rossii, 1997, pp. 115–131. (In Russian).*
10. *Nachala Evklida. Tom 1. Pervod s grecheskogo D. D. Mordukhai-Baltovskogo.* Moskva–Leningrad: GITTL, 1948, 448 p. (In Russian).
11. *N'yuton I. Matematicheskie nachala natural'noi filosofii.* Moskva: Nauka, 1989, 688 p. (In Russian).
12. *Paronago P. P. Kurs zvezdnoi astronomii.* Moskva: GIZ, 1954, 476 p. (In Russian).
13. *Ptolemei K. Al'magest.* Moskva: Nauka, 1998, 671 p. (In Russian).
14. *Tolchelnikova S. A. The mystery of Copernicus' star catalog. Geodezia i Kartografiya, 2019, 80 (3), pp. 37–47. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-945-3-37-47 (In Russian); 2020, 81 (6), pp. 56–64. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-960-6-56-64 (In Russian); 2021, 82 (3), pp. 54–64. DOI: 10.22389/0016-7126-2021-969-3-54-64 (In Russian).*
15. *Trudy Instituta prikladnoi astronomii RAN, 2000, 6. Astrometriya i nebesnaya mekhanika, 325 p. (In Russian).*
16. *Fedorov E. P. Obshchii vzglyad na astrometriyu. Geodinamika i astrometriya.* Kiev: Naukova dumka, 1980, pp. 74–109 (In Russian).
17. *Kheg E. Astrometricheskie issledovaniya so sputnika ESA. Geodinamika i astrometriya.* Kiev: Naukova dumka, 1980, pp. 158–164 (In Russian).
18. *Popadyev V. V., Tolchelnikova S. A. (2014) Some common problems in geodesy and astrometry after establishment of ICRF. In Recent development and problems in ground-based and space astrometry. Journées, Pulkovo observatory, Observatoire de Paris, pp. 28–31.*
19. *Walter H. G., Sovers O. J. Astrometry of Fundamental Catalogues: The Evolution from Optical to Radio Reference Frames.* Berlin: Springer-Verlag, 2000, 231 p.