РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ «НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»
И ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ АН СССР
ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ ДЕЯТЕЛЕЙ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ:

доктор биол. наук *Л. Я. Бляхер*,
доктор физ.-мат. наук *А. Т. Григорьян*,
доктор физ.-мат. наук *Я. Г. Дорфман*, академик *Б. М. Кедров*
доктор экон. наук *Б. Г. Кузнецов*, доктор хим. наук *В. И. Кузнецов*,
доктор биол. наук *А. И. Купцов*, канд. истор. наук *Б. В. Левшин*,
чл.-корр. АН СССР *С. Р. Микулинский*,
доктор истор. наук *Д. В. Ознобишин*,
канд. техн. наук *З. К. Соколовская* (ученый секретарь),
канд. техн. наук *В. Н. Сокольский*,
доктор хим. наук *Ю. И. Соловьев*,
канд. техн. наук *А. С. Федоров* (зам. председателя),
канд. техн. наук *И. А. Федосеев*,
доктор хим. наук *Н. А. Фигуровский* (зам. председателя),
доктор техн. наук *А. А. Чеканов*, доктор техн. наук *С. В. Шухардин*,
доктор физ.-мат. наук *А. П. Юшкевич*,
академик *А. Л. Яншин* (председатель),
доктор пед. наук *М. Г. Ярошевский*

Б. А. Розенфельд, М. М. Рожанская,
З. К. Соколовская

Абу-р-Райхан ал-БИРУНИ

973—1048

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА
1973

Абу-р-Райхан ал-Бируни, один из крупнейших ученых средневековья, работал в Средней Азии, Иране и Афганистане. Он внес огромный вклад в развитие естественных и гуманитарных наук. В книге после краткого биографического очерка рассказано о работах Бируни в области математики, астрономии, теории и конструирования астрономических инструментов, геодезии и физической географии, физики, минералогии и медицины. Раскрывается также мировоззрение ученого и значение его трудов для развития философии, истории, филологии.
Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся развитием мировой науки.

Р $\frac{0021-0456}{042(02)-73}$—6473НПЛ

© Издательство „Наука", 1973 г.

Предисловие

4 сентября 1973 г. исполняется 1000 лет со дня рождения великого среднеазиатского ученого-энциклопедиста Абу-р-Райхана ал-Бируни.

Творчество Бируни было предметом изучения многих ученых. В Западной Европе с трудами Бируни познакомились только в XIX в. благодаря деятельности Э. Захау, переводчика, комментатора и издателя двух фундаментальных сочинений Бируни — «Хронологии» и «Индии». Уже эти труды показали, что Бируни следует поставить в один ряд с крупнейшими учеными мира. Средневековый Восток дал миру многих выдающихся ученых, но Бируни, по образному выражению русского востоковеда В. Р. Розена, возвышается над ними, «подобно вершине, окруженной целым рядом пиков, гор и холмов» [1].

В 1948 г., когда отмечалось 900-летие со дня смерти Бируни, в нашей стране был создан Комитет по изучению и популяризации его научного наследия. За это время на русском и узбекском языках изданы «Хронология», «Индия», «Геодезия» и «Минералогия» Бируни, некоторые математические трактаты и философская переписка с Ибн Синой. Готовятся к печати переводы «Фармакогнозии», «Канона Мас'уда», «Науки звезд», полного текста «Хорд», «Картографии», «Астролябий», «Сферики» и некоторых других трактатов. В этой книге приведен перевод трактата Бируни о секстанте. Советский читатель получит возможность познакомиться с основными трудами Бируни и

[1] *В. Р. Розен.* Alberuni's India..., ed. by Dr. Ed. Sachau. London, 1887.— «Записки Вост. отд. имп. Русского археологич. общ-ва», 1888, т. III, стр. 152.

составить полное представление о многообразии его научного творчества.

Предлагаемая книга — очерк жизни и деятельности Бируни, основанный на изучении как опубликованных, так и еще не изданных его произведений, в работе над которыми принимали участие авторы.

I глава книги написана всеми тремя авторами, II, V и VIII главы — Б. А. Розенфельдом и М. М. Рожанской, VI и VII главы — М. М. Рожанской, III глава и список трудов Бируни — Б. А. Розенфельдом, IV глава — З. К. Соколовской, даты жизни и деятельности Бируни и указатель имен — Б. А. Розенфельдом и З. К. Соколовской.

Авторы считают своим приятным долгом выразить сердечную благодарность докторам физико-математических наук Г. П. Матвиевской и А. П. Юшкевичу и доктору филологических наук П. Г. Булгакову за ценные советы при подготовке книги к печати.

Глава первая

Жизнь и творчество

Абу-р-Райхан Мухаммед ибн Ахмед ал-Бируни (или Беруни) родился 4 сентября 973 г. в г. Кяте, древней столице Хорезма (ныне г. Бируни Каракалпакской АССР). Хорезмиец по происхождению, Бируни принадлежал к тому ираноязычному пласту раннесредневекового населения Хорезма, который, впитав многочисленные тюркские элементы, стал впоследствии этнической основой современных хорезмских узбеков.

В X в. Хорезм, северо-западная окраина среднеазиатского культурного мира, входил в состав государства Саманидов, но практически сохранял политическую самостоятельность. Правили им хорезмшахи из династии Афригидов с резиденцией в Кяте. Благодаря своему географическому положению Хорезм оказался на перекрестке важных путей международной торговли — из Поволжья через Среднюю Азию в Монголию, Китай и Иран. Кроме того, Хорезм вел широкую торговлю с кочевой степью.

Во второй половине X в. рост торговли с Восточной Европой способствовал расцвету крайнего северо-западного форпоста страны — г. Ургенча (Гурганджа) и фактическому разделению страны на два самостоятельных государства: Северный Хорезм со столицей в Ургенче — резиденции эмира и Южный Хорезм со столицей в Кяте — резиденции хорезмшаха.

О ранних годах жизни Бируни известно очень мало. Его нисба (прозвище по месту рождения) — Бируни, вероятно, происходит от слова «бирун» (предместье) и означает «человек из предместья». Это дает основание предполагать, что Бируни родился не в самом городе, а в одном из примыкающих к нему ремесленных посадов и, возможно, сам вышел из ремесленной среды. В пользу такого предположения говорят слова одного из его стихотворений: «Не знаю я, по правде, своего родословия. Ведь я не знаю по-настоящему своего деда, да и как мне знать деда, раз я не знаю отца!» [1]. Свою мать он называет «носильщицей дров», подчеркивая этим ее происхождение из социальных низов.

Есть и другое объяснение имени Бируни. Известный географ XIII в. Якут, посетивший Хорезм незадолго до монгольского нашествия, в своем «Биографическом словаре» приводит со слов местных жителей такое объяснение нисбы Бируни: словом «бируни» хорезмийцы называли каждого, кто покинул свою родину, а Бируни покидал ее трижды [2].

Возможно, что именно происхождение Бируни наложило отпечаток на его общественно-политические взгляды и научную позицию, которые во многом сильно расходились с официальными положениями мусульманской догматики. Весьма вероятно, что здесь могли сказаться и его связи с карматами — прогрессивной для своего времени сектой, резко враждебной официальному исламу. Вряд ли можно считать случайным также и то обстоятельство, что одним из первых сочинений Бируни была «Книга об известиях об „одетых в белое" и карматах», содержавшая, по-видимому, обширные сведения по истории народных движений в Средней Азии в VIII—IX вв.

Начало научной деятельности Бируни относится ко времени правления Абу Абдаллаха, последнего хорезмшаха из династии Афригидов.

Кят в эпоху Бируни был центром ремесленного производства и крупным торговым пунктом страны. В Кяте Бируни получил широкое и разностороннее образование. Сведений о ранних этапах его жизни не сохранилось.

В Хорезме того времени поддерживались традиции высокой культуры доисламского периода, в том числе научная традиция, которая сложилась под влиянием древневавилонской и греческой науки. Эта традиция сказалась, например, на особенностях развития астрономии. В Хорезме в силу его роли в международной торговле жило значительное число выходцев из других стран, среди

[1] Цит. по: *И. Ю. Крачковский.* Арабская географическая литература. Избр. соч., т. 4. М.— Л., 1957, стр. 245.
[2] Там же, стр. 309.

них были и ученые: астрономы, математики, врачи. Возможно, что общение с ремесленной средой, связь с которой Бируни поддерживал с детства, явилось впоследствии одной из причин его склонности к изготовлению астрономических и иных инструментов.

В науке Бируни проявил себя прежде всего как астроном. До недавнего времени начало его астрономических исследований относили к 994 г., когда Бируни исполнился 21 год. П. Г. Булгаков доказал, что Бируни вел астрономические наблюдения, пользуясь астрономическими таблицами Хабаша ал-Хасиба (составленными не для Хорезма) еще в 990 г., т. е. около семнадцати лет от роду [1].

Итак, перед нами, по-видимому, представитель социальных низов, который к семнадцати годам стал образованным астрономом и математиком. Учителем Бируни был двоюродный брат хорезмшаха — эмир Абу Наср Мансур ибн Ирак ал-Джа'ди, автор фундаментальных трудов по астрономии и математике, в особенности тригонометрии. Ибн Ираку принадлежат один из наиболее совершенных переводов «Сферики» Менелая и комментарии к ней (именно в его переводе «Сферика» впоследствии стала известна в Западной Европе). В последние годы жизни Бируни тепло вспоминал своего учителя и его семью, которой был обязан своим воспитанием:

«Семья Ираков вскормила меня своим молоком, а их Мансур взялся вырастить [меня]», — писал он на склоне лет в одном из стихотворений, которое сохранилось в передаче Якута [2].

В возрасте 21—22 лет Бируни конструирует астрономические инструменты и применяет их для определения координат многих населенных пунктов Хорезма. В эти же годы он наблюдает солнечное затмение и сооружает один из первых земных глобусов, проводит серию наблюдений для определения угла наклона эклиптики и пишет упоминаемый им в «Хронологии» трактат «Исчерпание всех возможных способов в построении астролябии» («Астролябии») и частично вошедший в «Хронологию» «Трактат о проектировании созвездий и изображении стран на плоскости» («Картографию»). К этому же времени относит-

[1] *П. Г. Булгаков.* Бируни и его «Геодезия».— В кн.: *Бируни.* Избр. произв., т. 3. Ташкент, 1966, стр. 10—11.
[2] Там же, стр. 10.

ся совместное исследование Бируни и Ибн Ирака в области сферической тригонометрии, изложенное в написанной «на имя» Бируни «Книге азимутов» Ибн Ирака и в законченной несколько позже «Сферике» Бируни.

Однако вскоре политические события вынудили Бируни прервать научные занятия и покинуть родину.

В 990-х годах под ударами кочевых племен, возглавлявшихся Караханидами, рухнуло государство Саманидов. В 992 г. последний из Саманидов, потеряв свою столицу — Бухару, бежал в г. Амуль (ныне Чарджоу), откуда пытался вести борьбу с завоевателями. Оба правителя Хорезма оказались втянутыми в военные действия. Эти события послужили толчком к началу борьбы между двумя соперничавшими хорезмскими государями: хорезмшахом Абу Абдаллахом Мухаммедом и эмиром Ургенча Ма'муном ибн Мухаммедом. Войска эмира взяли Кят. Ма'мун приказал убить Абу Абдаллаха, объединил под своей властью обе части страны и сам принял древний титул хорезмшаха.

Власть перешла из рук местной патриархально-феодальной аристократии, придерживавшейся общинно-рабовладельческих традиций, в руки новой знати — прослойки наемников, главным образом из пришлых элементов: арабов, хорасанцев, согдийцев, тюрок, состоявших на службе у правителей (сперва арабского, а затем саманидских) восточных областей халифата. В борьбе этих двух группировок патриархально-феодальная знать нередко пользовалась поддержкой крестьян-общинников и части городского плебса, которые считали новых феодалов более опасными врагами, чем старых. Бируни, связанный с низложенной династией и, возможно, сам активный участник политических событий, вынужден бежать из Хорезма.

Спасаясь от войск Ма'муна, как показали А. М. Беленицкий [1] и П. Г. Булгаков [2], Бируни бежал в Рей (близ Тегерана), где при дворе султана Фахр ад-Даулы работал известный математик и астроном того времени Абу Махмуд Хамид ибн ал-Хидр ал-Ходженди. Бируни переписывался с Ходженди и считал его «исключительным явлением своей эпохи в деле изготовления астролябий и других инструментов» [1].

Около 998 г. Бируни переехал в г. Гурган (Джурджан), столицу одноименного княжества на юго-восточном побережье Каспийского моря. Его пригласил туда правитель Гургана Кабус ибн Вашмгир, представитель династии Зийаридов, принадлежавшей к той же патриархально-феодальной прослойке, что и Афригиды Хорезма. Бируни надеялся, что Кабус, слывший покровителем ученых, даст ему возможность заниматься наукой.

Ранее считалось, что Бируни приехал в Гурган непосредственно из Рея. Однако, сообщая об определении географической долготы Кята с помощью одновременного наблюдения лунного затмения в Кяте и в Багдаде, Бируни упоминает, что он проводил его в 387 г. хиджры (997 г.). Таким образом, между периодами пребывания в Рее и Гургане Бируни на короткое время приезжал в Кят, вероятно после смерти Ма'муна в 997 г. К этому периоду, по-видимому, относится научная переписка Бируни с Ибн Синой.

В Гургане Бируни прожил около шести лет. Здесь он написал «Хронологию» («Памятники минувших поколений»), посвященную Кабусу, и «Сферику» («Книга ключей науки астрономии о том, что происходит на поверхности сферы»), посвященную жившему при дворе Кабуса гилянскому князю Марзубану ибн Рустаму. В «Хронологии» кроме «Астролябий» упоминаются также написанные Бируни ранее «Книга об известиях об „одетых в белое“ и карматах» и «Перевод известий об ал-Муканне», естественнонаучная «Книга о чудесах природы и искусственных диковинах», «Книга свидетельств о расхождениях в [астрономических] наблюдениях» и «Предостережение против искусства обмана, т. е. приговоров звезд», посвященное разоблачению астрологических предсказаний.

В Гургане Бируни предпринял первую попытку измерения градуса земного меридиана. Но она не удалась, так как Бируни не получил ожидаемой материальной помощи от Кабуса. «Я было выбрал для этой цели, — пишет он, — участки, находящиеся между Дихистаном, примыкающим к Джурджану, и областью тюрков-гузов. Однако мне не содействовали в этом превратности судьбы, как не помогли и старания получить помощь в этом» [2].

[1] *А. М. Беленицкий*. Краткий очерк жизни и трудов Бируни.— В кн.: *Бируни*. Минералогия. М.— Л., 1963, стр. 274.
[2] *П. Г. Булгаков*. Указ. соч., стр. 13.

[1] *Бируни*. Избр. произв., т. 3, стр. 136 (далее — «Геодезия»).
[2] Там же, стр. 212.

По словам Якута, Кабус предложил Бируни должность везира при своем дворе, но Бируни отказался, предпочитая полностью отдаться науке. Возможно, именно это испортило их отношения, и Бируни счел для себя невозможным оставаться в Гургане.

В 1004 г., вероятно, по приглашению нового хорезмшаха Абу-л-Хасана Али ибн Ма'муна Бируни возвратился в Хорезм и поселился в его столице — Ургенче. Некоторые сведения об этом третьем хорезмском периоде жизни Бируни (1004—1017 гг.) содержатся в написанной им впоследствии «Истории Хорезма», которая дошла до нас в виде небольших отрывков в книге «История Мас'уда» современника Бируни — Абу-л-Фадла Байхаки.

Мы не знаем, занимал ли Бируни какую-либо официальную должность при дворе, но, судя по отрывкам из «Истории Хорезма», в течение нескольких лет был близким советником хорезмшаха и приложил немало усилий в борьбе за сохранение независимости страны.

Хотя Бируни и говорит, что, вернувшись в Хорезм, он, поглощенный политической деятельностью, «нашел немного досуга для [астрономических] измерений» [1], все же во время пребывания в Ургенче он достаточно много времени посвящал науке. Этому в известной степени способствовало то, что при дворе хорезмшаха возник кружок ученых, образовавших «академию Ма'муна». В этот кружок, кроме Бируни, входили его учитель Ибн Ирак, знаменитый современник Бируни — Ибн Сина, бежавший из Бухары после ее захвата Караханидами, философ и врач Абу Сахл Масихи и другие.

В 1016—1017 гг. Бируни провел серию опытов с металлами и драгоценными камнями, итоги которых изложил в трактате об удельных весах. В то же время он предпринял ряд астрономических наблюдений, в частности провел в районе Ургенча серию измерений наклона эклиптики. В 1016 г. он написал не дошедший до нас астрономический трактат «Указание пути к уточнению движения Солнца» [2]. К хорезмскому же периоду относятся серия измерений полуденных высот Солнца для определения широты Ургенча и другие астрономические исследования, на основании которых Бируни впоследствии построил свою теорию движения Солнца.

[1] «Геодезия», стр. 138.
[2] Там же, стр. 145.

В 1017 г. этот сравнительно спокойный период жизни Бируни закончился. На рубеже X и XI вв. в областях к северу и востоку от Амударьи окончательно укрепились Караханиды, в Хорасане и Афганистане усилилась власть султана Махмуда Газнийского. По договору между Махмудом и Караханидами Амударья стала границей между их владениями. Таким образом, Хорезм, расположенный на левом берегу Амударьи, попал в сферу интересов Махмуда. Вначале Махмуд поддерживал дружеские отношения с хорезмшахом Ма'муном; хорезмшах даже взял в жены одну из его сестер. Но вскоре Махмуд начал оказывать политическое давление на Ма'муна, требуя, чтобы тот признал его своим сюзереном. Политическое давление закончилось нашествием на Хорезм полчищ Махмуда и разгромом страны. Бируни, принимавший непосредственное участие в этих событиях, был взят в плен и вместе с его учителем Ибн Ираком вынужден был поехать в столицу Махмуда — г. Газну (на юго-востоке Афганистана).

Так начался газнийский период жизни Бируни.

Первые годы пребывания в Газне были очень тягостными. Жизнь ученого неоднократно подвергалась опасности. Сохранились сведения о том, что однажды Махмуд отдал даже приказ о казни Бируни, обвинив его в неверии. Поводом к этому, вероятно, послужил упомянутый выше трактат о карматах, позволивший причислить и автора его к этому движению. Своим спасением Бируни обязан заступничеству везира Махмуда — Ходжи Хасана. Были у Бируни при дворе и другие доброжелатели, которые склонили правителя оставить ученого в покое.

Энциклопедические знания Бируни дали пищу многочисленным восторженным, часто полуфантастическим рассказам о нем. В одном из таких рассказов сообщается, например, как в присутствии Махмуда кто-то отозвался о Бируни как о человеке, для которого не существует никаких тайн. Решив проверить правильность такого утверждения, Махмуд предложил Бируни указать, в какую из двенадцати дверей помещения, в котором они находились, он выйдет. Бируни определил с помощью астролябии направление, в котором должен был удалиться султан, записал результат и положил его под ложе Махмуда. Махмуд приказал пробить дверь в стене позади своего ложа. Когда он прочел запись Бируни, то убедился, что Бируни точно указал направление выхода.

Астрологи при дворе Махмуда враждебно встретили Бируни, опасаясь разоблачения их невежества. Однако, невзирая на враждебную атмосферу, Бируни был тверд в своем намерении продолжать научные исследования. Оторванный от родины и лишенный возможности продолжать политическую деятельность, он целиком отдался науке. В «Геодезии» Бируни писал: «Ведь Газна для [меня], апеллирующего к возобновлению людского уважения... стала постоянным местожительством. В ней я, если совладаю с собой, буду заниматься тем, что еще не покинуло мою душу, а это — [астрономические] наблюдения и научные старания» [1].

О жизни Бируни в Газне имеются некоторые сведения у его биографов, кое-что можно извлечь и из его собственных сочинений.

В первые годы в Газне у Бируни не было хороших астрономических инструментов. В «Геодезии», например, он так описывает одно из своих наблюдений, выполненное в 1018 г.: «... Я был в селении Джайфур близ Кабула. Меня охватило сильное желание измерить широты этих мест, тогда как я был в такой беде, подобную которой, как я думал, не испытал ни Ной, ни Лот... Я не мог [найти] инструмента для [измерения] высоты, и у меня не было никакого материала, из которого можно было бы его изготовить. Тогда я начертил на тыльной стороне счетной доски дугу окружности, градусы которой делились на шесть долей, каждая из которых — десять минут, и при подвешивании выверил ее положение отвесами» [2].

Несмотря на крайне неблагоприятные обстоятельства жизни Бируни и временами весьма натянутые отношения с Махмудом, газнийский период был наиболее плодотворным этапом в его творчестве. Именно в Газне Бируни создает свои основные научные труды.

По-видимому, вскоре после прибытия в Газну Бируни начал писать «Историю Хорезма». Судя по отрывкам, которые приводит Байхаки, это сочинение, написанное непосредственно после завоевания Хорезма Махмудом, носит характер личных воспоминаний — рассказа о печальной участи, постигшей Хорезм. Свою политическую деятельность во время этих событий Бируни объясняет заботой о судьбах родины. Возможно, что именно в этой книге содержались сведения о древнейших периодах истории Хорезма.

[1] «Геодезия», стр. 106.
[2] Там же стр. 144.

Первый из дошедших до нас трудов, написанных в Газне, — астрономо-геодезический трактат «Определение границ мест для уточнения расстояний между населенными пунктами» («Геодезия») был закончен в 1025 г.

В 1029 г. Бируни заканчивает «Книгу вразумления начаткам науки звезд» («Наука звезд») в виде вопросов и ответов. Судя по названию книги, можно подумать, что это — руководство по астрологии, на самом же деле вопросы астрологии занимают меньшую часть книги. «Наука звезд» состоит из 530 вопросов и ответов. В ней Бируни подробно излагает основные понятия и факты математики, астрономии, географии, хронологии и теории основного астрономического инструмента того времени — астролябии, необходимые для астрологов, поскольку астрологические предсказания тогда были непременной обязанностью астрономов. Однако сведения в области этих наук выходят далеко за пределы того, что было необходимо для предсказаний. Можно предполагать, что такое соединение научных и астрологических понятий было поводом для изложения основ этих наук. В разделе же об астрологии, изложив догмы о влиянии небесных светил и приведя понятия, необходимые для астрологических предсказаний, Бируни фактически разоблачает методы астрологов. Книга составлена для хорезмийки Райханы, дочери ал-Хасана, по-видимому, одного из хорезмских друзей Бируни.

В то же время написана серия небольших трактатов по астрономии и математике.

К газнийскому периоду относятся и путешествия Бируни в Индию. Сколько раз он бывал в Индии и сколько времени он там провел, неизвестно. Очевидно, эти путешествия связаны с индийскими походами Махмуда. Известно, что некоторое время Бируни находился в крепости Нандна (Северная Индия). Во время пребывания в крепости он предпринял вторую (и на этот раз успешную) попытку определить градус земного меридиана. В Индии

Бируни определил географические координаты многих городов, в которых ему пришлось побывать. Он достаточно хорошо изучил санскрит. Это позволило ему познакомиться с индийскими учеными и изучить индийскую научную литературу.

Результатом этой работы явился фундаментальный труд «Разъяснение принадлежащих индийцам учений, приемлемых разумом или отвергаемых» («Индия»), законченный в 1030 г. Само написание подобного сочинения в условиях, в каких Бируни находился в Газне, можно назвать научным подвигом. Ортодоксальный ислам рассматривал индийцев как врагов — «неверных». Завоевательные походы Махмуда считались «войнами за веру». Многовековая культура Индии, по мнению завоевателей, подлежала уничтожению или по меньшей мере была достойна презрения. В этих условиях любую попытку дать объективную характеристику индийской культуры (а Бируни критически осмыслил учения индийцев и сравнил их с представлениями и научными достижениями других народов, в том числе и стран ислама, не проявив при этом ни малейшей предвзятости) можно расценивать поистине как научный героизм.

Содержание книги свидетельствует о хорошем знании религиозной и научной, в особенности астрономической, литературы индийцев. О своих взаимоотношениях с индийскими учеными Бируни писал: «Вначале среди индийских астрономов я занимал положение ученика по отношению к учителю, так как в их среде я был иноземцем и был недостаточно знаком с их достижениями и методами. Когда я немного продвинулся в ознакомлении с ними, я стал объяснять им причинную связь, демонстрировать им некоторые логические доказательства и показывать им истинные методы математических наук, они стали стекаться ко мне во множестве, выражая удивление и стремясь получить от меня полезные знания» [1]. Бируни, побуждаемый желанием распространять знания, перевел на арабский язык несколько сочинений индийских ученых, а для их ознакомления с «истинными методами математических наук» перевел на санскрит «Начала» Евклида, «Алмагест» Птолемея и свои «Астролябии».

---

[1] *Бируни*. Избр. произв., т. 2. Ташкент, 1963, стр. 68 (далее — «Индия»).

В 1030 г., после смерти султана Махмуда начинается новый период в жизни Бируни.

Махмуд завещал свой престол младшему сыну — Мухаммеду, который правил всего несколько месяцев; после кратковременной борьбы за власть султаном стал старший сын Махмуда — Мас'уд. Мас'уд, получивший трон вопреки воле отца, искал поддержку в оппозиционных Махмуду кругах. В связи с этим радикально изменилось и положение Бируни при дворе. Зная о недоброжелательном отношении отца к Бируни, Мас'уд начинает ему покровительствовать. Вот как рассказывает об этом Якут: «Сын султана [Махмуда] Мас'уд интересовался астрономией и питал любовь к научным исследованиям. Однажды они, Мас'уд и Бируни, были заняты обсуждением научных вопросов, в частности вопроса о причине разницы в длине ночи и дня на Земле; Мас'уд любил, когда ему приводили аргументы к тому, что не было очевидным. И сказал ему Абу-р-Райхан: „Ты сейчас единственный [из правителей], владеющий Востоком и Западом и имеющий право на имя царя Земли. А достойный этого сана должен лучше знать о ходе дел и об обстоятельствах дня и ночи, их длительности, как в странах населенных, так и пустынных“» [1]. Якут сообщает также, что Бируни занимался с Мас'удом арабским языком. Мас'уд же «щедро одарял его (Бируни) своими милостями» [2].

Сам Бируни в предисловии к «Канону Мас'уда» пишет: «Он [Мас'уд], будучи еще в юном возрасте, дал мне возможность посвятить себя служению науке, когда он дал мне свободу и заботился обо мне. Под своей защитой он опустил на меня завесу спокойствия и обильный дождь даров, непрерывно поддерживал это близостью, дружелюбием, радушием, лучше которого не бывает, и оказывал мне честь своими распоряжениями в казну и канцелярию» [3].

Бируни посвятил Мас'уду свой главный труд — «Канон Мас'уда по астрономии и звездам», законченный в 1036—1037 гг. В предисловии к «Канону» Бируни так говорит о Мас'уде: «Ведь он дал мне возможность по-

---

[1] Цит. по: *А. М. Беленицкий*. Указ. соч., стр. 283.
[2] Там же.
[3] *Abu'l-Rayhan Muhammad ibn Ahmad al-Biruni*. Al-Qanunu'-l-Mas'udi (Canon Masudicus), v. 1—3. Hyderabad, 1954—1956, p. 3 (далее — «Канон Мас'уда»).

святить остаток жизни целиком служению науке, позволив жить под сенью его могущества» [1].

Царствование Мас'уда было недолгим. Газневидское государство подвергалось нападениям кочевников-сельджуков. В 1040 г. Мас'уд попал в плен и погиб. Большая часть империи Газневидов вошла в состав государства сельджуков. Сын же Мас'уда — Маудуд остался правителем небольшого владения.

К тому времени здоровье Бируни значительно ухудшилось. Еще в 1036 г. он писал: «В это время меня постигли губительные недуги. Одни поражали меня одновременно, иные следовали один за другим. Кости мои распадались, а тело стало бессильным, движения затрудненными, а чувства притупленными. Затем наступало некоторое облегчение, хотя силы от старости и ослабели» [2]. Поэтому после гибели Мас'уда Бируни не ищет нового покровителя и до конца жизни остается при Маудуде.

В 1048 г. Бируни закончил большой трактат «Собрание сведений о познании драгоценностей» («Минералогия»), материалы к которому собирал всю жизнь. Будучи уже совсем больным, он написал «Книгу о медицинских лекарствах» («Фармакогнозию»).

Относительно даты смерти Бируни существуют две версии. Э. Захау установил, что он умер 13 декабря 1048 г.; в 20-х годах нашего столетия, когда была обнаружена рукопись «Фармакогнозии», эта дата была взята под сомнение. Переводчик предисловия к «Фармакогнозии» М. Мейергоф на основании анализа текста пришел к выводу, что Бируни жил еще почти два года, так как в тексте упоминается, что он перешагнул за 80 лет. Следовательно, он умер около 1050—1051 г. Однако У. И. Каримов, осуществивший полный перевод «Фармакогнозии» на русский язык, установил, что вывод М. Мейергофа основан на неточном прочтении текста, и датой смерти Бируни по-прежнему следует считать 1048 г.[3]

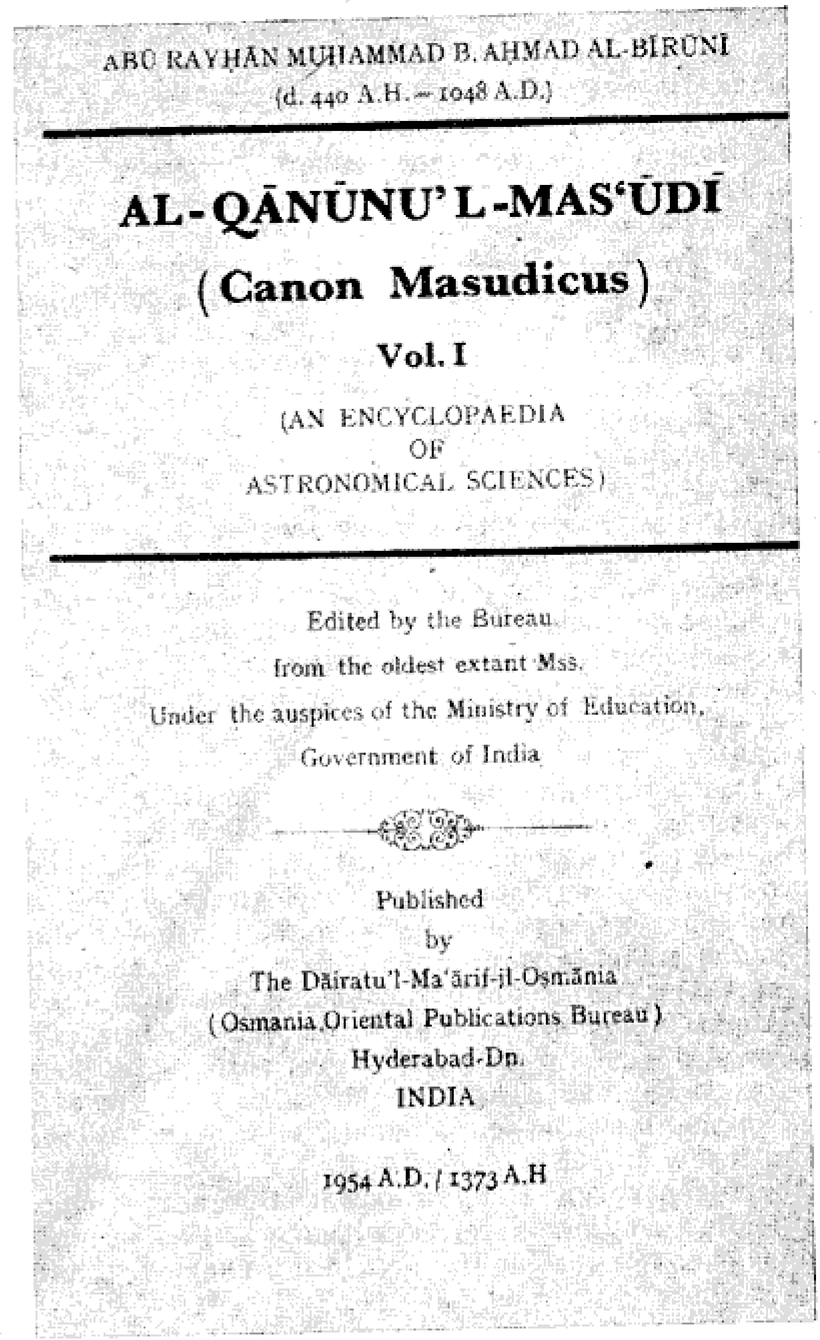
По своему духовному облику Бируни олицетворял тип ученого, безраздельно и бескорыстно преданного науке,

---

[1] «Канон Мас'уда», стр. 3

[2] Цит. по: *А. М. Беленицкий*. Указ. соч., стр. 286.

[3] *У. И. Каримов*. О дате смерти Бируни.— «Общественные науки в Узбекистане», 1970, № 8, стр. 67—68.


ABŪ RAYḤĀN MUḤAMMAD B. AḤMAD AL-BĪRŪNĪ
(d. 440 A.H. — 1048 A.D.)

AL-QĀNŪNU'L-MAS'ŪDĪ

(Canon Masudicus)

Vol. I

(AN ENCYCLOPAEDIA
OF
ASTRONOMICAL SCIENCES)

Edited by the Bureau
from the oldest extant Mss.
Under the auspices of the Ministry of Education,
Government of India

Published
by
The Dāiratu'l-Ma'ārif-il-Osmānia
(Osmania Oriental Publications Bureau)
Hyderabad-Dn.
INDIA

1954 A.D. / 1373 A.H

Рис. 1. Титульный лист хайдарабадского издания «Канона Мас'уда» вся жизнь которого состояла в неустанных поисках истины.

Через полтора столетия после смерти Бируни историк Шахразури писал о нем: «Бируни твердо придерживался обычая довольствоваться лишь самым необходимым. Будучи безразличным к материальным благам и пренебрегая обыденными делами, он всецело отдавался приобретению знаний, сгибаясь постоянно над составлением книг. Он, раскрывая врата их (наук), искал разрешения их трудностей и [тем] делал их доступными [для понимания]. Его рука никогда не расставалась с пером, глаза постоянно делали наблюдения, а сердце было устремлено к размышлению. Только в течение двух дней [в году] — в день Нового года и праздника Михрджана — он отдавался заботам по приобретению запасов пищи и одежды. В остальные дни года он их (заботы) отгонял от себя. С лица своего он сбрасывал завесы трудностей, и локти он держал свободными от стесняющих их рукавов» [1].

О бескорыстии Бируни слагались легенды, в которых безусловно содержалась доля правды. Так, в двух источниках сообщается, по-видимому, достоверный случай, когда Мас'уд прислал Бируни в вознаграждение за труды слоновий вьюк серебряных монет. Бируни возвратил деньги в казну.

О любви Бируни к науке и щедрости в распространении научных знаний красноречиво свидетельствуют слова Бируни в предисловии к переведенному им индийскому трактату: «Все мои намерения, более того, моя душа целиком, направлены только на распространение знаний — так как я миновал пору удовольствия от приобретения знания,— и я считаю это величайшим счастьем для себя... И когда были прочитаны мне эти [индийские] книги буква за буквой и я постиг их содержание, совесть моя не позволила мне не приобщить к ним жаждущих прочитать их. Ведь скупость в отношении знаний — худшее преступление и грех» [2].

В «Минералогии» Бируни писал: «Истинное наслаждение доставляет [лишь] то, стремление к чему возрастает тем больше, чем больше [человек] этим владеет. И таково

---

[1] Цит. по: *А. М. Беленицкий*. Указ. соч., стр. 290—291.
[2] Цит. по: *А. Б. Халидов* и *В. Г. Эрман*. — Предисловие к кн.: *Бируни*. Индия, стр. 21.

состояние человеческой души, когда он познает то, чего не знал [ранее]» [1].

По характеру творчества Бируни значительно отличается от большинства ученых Востока, которые основное внимание уделяли отвлеченно-умозрительным дисциплинам — богословию, праву, корановедению, чисто философским вопросам. Бо́льшая же часть трудов Бируни посвящена наукам физико-математического и геолого-географического направлений. Но даже и в тех работах, которые нельзя отнести к точным наукам, например в двух его наиболее крупных гуманитарных произведениях — «Хронологии» и «Индии», основной принцип ученого — критико-аналитический метод — проявляется в полной мере.

Более 80 лет назад в упомянутой выше рецензии на опубликованную Э. Захау «Индию» В. Р. Розен подчеркивал, что Бируни «блистательно владел самым могущественным орудием новой науки, т. е. сравнительным методом», и что исследователи могут многому научиться, наблюдая приемы Бируни и «изучая его метод» [2].

Для научного метода Бируни характерно соединение данных опыта и наблюдения с глубоким теоретическим анализом полученных результатов.

Большинство его предшественников и современников, обращаясь к изучению закономерностей природы, шли, как правило, по пути умозрительных рассуждений, не пытаясь обращаться к эксперименту. Эта традиция имела глубокие корни в прошлом. Известно, что представители классического периода греческой науки с презрением относились к эксперименту, считая его уделом ремесленников и оставляя для себя сферу «чистого умствования». Только в позднеэллинистическую эпоху появляется стремление связать теорию с результатами эксперимента и наблюдения. Пионером в этом вероятно можно считать Клавдия Птолемея, основной труд которого — «Алмагест» — представляет собой попытку объяснения результатов наблюдения за движением небесных тел с помощью кинематико-геометрической модели.

---

[1] *Абу-р-Райхан Мухаммед ибн Ахмед ал-Бируни*. Собрание сведений для познания драгоценностей (Минералогия). М.— Л., 1963 (далее — «Минералогия»).
[2] *В. Р. Розен*. Указ. рецензия, стр. 147.

Бируни можно с достаточным основанием считать одним из создателей экспериментального метода в средневековой науке. Блестящее подтверждение этого — серия его экспериментов по определению свойств и удельного веса металлов и минералов. Опытными данными оперирует он при изложении своих взглядов в переписке с Ибн Синой, резко возражая против умозрительных положений аристотелианцев.

Только опыт, по мнению Бируни, может быть основой теории, именно опыт является критерием истины и средством устранения сомнений в теоретических построениях. «У меня... есть сомнения,— писал он в одном из разделов „Минералогии", — устранить которые мог бы опыт и повторное испытание» [1]. Подобные соображения он высказывает неоднократно.

В связи с этим особое внимание Бируни уделяет тщательности эксперимента и наблюдения. «... Надлежит наблюдателю,— писал он,— быть внимательным, тщательнее пересматривать результаты своих работ, перепроверять себя и как можно меньше восторгаться [результатами работ], умножая старание и не усматривая в труде скуку» [2].

Обращаясь к теории, Бируни стремился дать всем своим утверждениям строго логическое, а когда это возможно, и математическое доказательство. «Кто познал преимущество находить искомое при помощи закона, а не умозрительно, по предположению, тот неотступно следует по пути доказательств, дабы не запутаться в тенетах предположений при решении [задач], и уклоняется на этом пути от опыта, что делает [уши] глухими к призывам их [доказательств], если возникает сомнение в истине, а опыт не приводит к какому-нибудь ясному пути» [3].

Однако самое замечательное в научном методе Бируни — критико-аналитический подход к исследованию доступных ему источников и данных устных информаторов. Он формулирует его еще в молодости в «Хронологии»: «Ближайшее средство прийти к тому, о чем я был спрошен... следовать „людям писания" [4], приверженцам различных религий и [адептам] учений и сект... и принять их возражения за основу, чтобы строить дальше, а затем сравнить между собой слова и мнения, приводимые ими в качестве доказательства... метод, положенный мною в основу, и путь, который я наметил, отнюдь не близок, а, наоборот, до того труден и далек, что кажется, будто к цели нет доступа из-за обилия бредней, примешанных ко всяким преданиям и рассказам... мы должны переходить от ближайших преданий к менее близким, от более известных к менее известным ...исправлять из них те, которые можно исправить, а прочие оставлять такими, как они есть. Тогда то, что мы делаем, поможет искателю истины и любителю мудрости разобраться в других преданиях и укажет, как достигнуть того, что не удалось нам» [1].

О необходимости критического осмысливания как собственных результатов, так и сообщений других авторов Бируни неоднократно писал и в зрелые годы. В «Индии» он высказывает свое отношение к получению данных с помощью «видения воочию» и из сообщений других лиц и разбирает преимущества и недостатки обоих этих видов информации:

«...При видении воочию смотрящий своими глазами воспринимает сущность наблюдаемого [явления] в тот момент, когда оно происходит, и на том месте, где оно протекает», но оно ограничено «бытием, не выходящим за пределы известных отрезков времени» [2].

Характерной чертой творчества Бируни был рациональный скептицизм по отношению к лженауке и суевериям. Как и всякому астроному того времени, Бируни приходилось выступать и в роли астролога, однако мы видели, что Бируни разоблачал методы астрологических предсказаний и в молодые годы в «Предостережении против искусства обмана», и в зрелые годы в «Науке звезд». В предисловии к «Библиографии» Бируни писал: «Я обратился к астрологам и попросил их узнать о том, что ожидает меня согласно моему гороскопу. Они стали высчитывать время, [оставшееся] мне жить. И получилось у них сильное расхождение: кто получил 16 лет, а кто 40 с лишним, чем они обличили самих себя во лжи, так как

---

[1] «Минералогия», стр. 247.
[2] «Геодезия», стр. 137.
[3] «Минералогия», стр. 249.
[4] Коран называет «людьми писания» мусульман, христиан и евреев — обладателей «священного писания». Во времена Бируни к ним причисляли и зороастрийцев, обладавших «священной книгой» Авестой.

[1] «Хронология», стр. 11—12.
[2] «Индия», стр. 57.

мне в это время было более пятидесяти. Другие добавили даже 60 — прибавка незначительная!» [1].

Так же скептически Бируни относится и к алхимии, критикуя многочисленные и бесплодные попытки алхимиков получить искусственное золото, и к колдовству, считая алхимию одной из его разновидностей.

Труды Бируни дают возможность проследить его философские взгляды, в которых наряду с отчетливым проявлением отдельных стихийно-материалистических тенденций выступают его основные представления, которые можно отнести к системе прогрессивного деизма [2] — религиозно-философского учения, признающего бога первопричиной, творцом мира, но отрицающего его повседневное вмешательство в жизнь природы и общества.

Именно принадлежностью к деизму можно объяснить то, что в ряде случаев в Бируни уживались два совершенно противоположных представления об одних и тех же явлениях. Не будучи атеистом и признавая ислам, он разделял религиозный взгляд на сотворение мира; как естествоиспытатель, многим явлениям природы он давал материалистическое объяснение. Как же эти два противоречивых отношения к мирозданию уживались в одном человеке? Бируни почти всегда очень четко разграничивал научные и религиозные понятия, считая, что многие неточности и ошибки происходят «от смешения научных вопросов с религиозными преданиями» [3].

Заслуживает также внимания отношение Бируни к развитию науки и его объяснение причин, которые привели к дифференциации науки. Во введении к «Геодезии» ученый особенно четко сформулировал свой взгляд на развитие человеческого общества и отношение человека к наукам: «В ходе своего развития человек со временем овладел естествознанием, от которого возымел пользу... Затем человек жаждал в своей тяге к познанию узнать то, что скрыто от него. Он жаждал и предвидеть, что случится в будущем, дабы суметь предпринять меры предосторожности и предусмотрительно предотвратить что возможно из бедствий. При этом последовательно чередовались над ним явления, циркулирующие по временам года,

[1] Цит. по: *А. М. Беленицкий.* Указ. соч., стр. 285.
[2] См.: *П. Г. Булгаков.* Гуманитарное наследие Бируни.— В кн.: Бируни и гуманитарные науки. Ташкент, 1972, стр. 45.
[3] «Индия», стр. 343.

вызванные влиянием Солнца на атмосферу, и явления, циркулирующие по четвертям месяца и по дням с ночью, вызванные влиянием Луны на моря и на влажные среды». И далее: «Таково положение наук. Их породили потребности человека, необходимые для его жизни. Сообразно с ними [эти науки] разветвились. Полезность наук — получение посредством них необходимых вещей, а не стяжаемые с их помощью злато и серебро» [1].

При анализе философских систем индийцев и греков наибольший интерес Бируни проявлял к материалистическим моментам, подчеркивая и пропагандируя прогрессивные стороны и критикуя и опровергая ошибочные утверждения. Кстати, выявлению ошибок Бируни всегда придавал очень большое значение, считая, что «знание ошибки ошибающегося помогает постижению правоты правого» [2].

Свой взгляд на природу Бируни излагает во всех основных трудах. Он считает, что бытие находится в изменении и развитии и в этом заключается сила природы. Представление о материи Бируни выражает, приводя мнения разных людей о соотношении «действия» и «деятеля». «Все эти мнения отклоняются от правды,— пишет Бируни.— Истина же относительно этого заключается в том, что действие полностью принадлежит материи, так как именно она связывает [душу], заставляет [ее] странствовать в различных формах и дает [ей] свободу. Следовательно, материя является деятелем, и все, что ей подчинено, лишь помогает ей в совершении действия. Поскольку душа лишена разнообразных сил, она не есть деятель» [3].

Объяснения явлений природы с материалистических позиций, настойчивое стремление отделить науку от религии — громадная заслуга Бируни в борьбе с невежеством и суевериями. Его религиозность несомненно была чисто внешней и не выходила за пределы стандартных благочестивых фраз, общепринятых в сочинениях ученых стран ислама. Такая религиозность была совершенно необходима Бируни как средство защиты от обвинений в неверии. В отличие от многих ученых средневекового Востока Бируни никогда не занимался богословскими вопросами и толкованием корана.

[1] «Геодезия», стр. 84—85.
[2] «Минералогия», стр. 249.
[3] «Индия», стр. 73—74.

Рациональный скептицизм Бируни, его презрительное отношение к религиозным суевериям, неоднократно высказывавшаяся им мысль о равноценности всех религий и отношение к внешней обрядности как к несущественной оболочке, форме, делающей религию доступной непросвещенным массам, сближают Бируни с карматами, и, хотя в дошедших до нас трудах Бируни нет прямых указаний на его связь с карматами, близость его к идеологии карматства несомненна.

Много интересных мыслей высказывает Бируни и по вопросам социологии, этики, морали. С уважением относясь к свободному труду, он выступает против того, чтобы положение человека в обществе определялось древностью рода, заслугами предков или богатством, и считает, что «цена каждому человеку в том, что он превосходно делает [свое дело]»[1].

Но, проповедуя равенство религий, Бируни, так же как и другие ученые его времени, структуру общества, ход исторических событий рассматривал с идеалистических позиций. Он делил человеческое общество на непросвещенные массы и просвещенную элиту, которым, в частности, соответствовали две формы понимания религии — более глубокая, не связанная с внешней обрядностью у просвещенных и поверхностная у простого народа. Себя Бируни причислял к лучшей части общества, воспринимающей вопросы религии с точки зрения разума, чем и объясняются его терпимость и объективность по отношению к другим религиям и его презрение к религиозным суевериям.

Бируни считал людей, говорящих правду, мужественными и сам был безусловно мужественным человеком. Вот как он определял «истинное мужество». «То [моральное] качество, которое толпа принимает за мужество, видя стремление идти в бой и дерзкую готовность броситься навстречу гибели, есть только одна из его разновидностей; самое же мужество, возвышающееся над всеми другими его разновидностями, заключается в презрении к смерти, все равно — выражается ли оно в речи или в действии»[2].

Сам Бируни неоднократно проявлял истинное мужество как в родном Хорезме перед лицом грозящего ему

---

[1] «Геодезия», стр. 88.
[2] «Индия», стр. 58.

нашествия вражеских войск, так и будучи пленником при дворе Махмуда.

Творчество Бируни оказало огромное влияние на многие поколения ученых Ближнего и Среднего Востока. «Великим учителем и ученым» называет его крупный математик и астроном XIII в. Насир ад-Дин Туси, а современник и коллега Туси, сирийский ученый и врач Абу-л-Фарадж (Бар Эбрей) писал о Бируни: «Произведения его многочисленны, совершенны и предельно надежны. Одним словом, не было ни среди его коллег в его время, ни после него, вплоть до сего рубежа, ученого, более искушенного в науке астрономии и более сведущего как в ее главных положениях, так и в тонкостях»[1].

Через полтора столетия после смерти Бируни Якут закончил его биографию словами: «Время не приносило другого, подобного ему по учености и уму»[2].

* * *

Бируни написал большое число сочинений, посвященных различным вопросам математики, астрономии, астрономическим инструментам, географии, натурфилософии, минералогии, фармакогнозии, истории, этнографии, хронологии, филологии. В Приложении мы приводим список 170 сочинений — 143 сочинения самого Бируни и 27 сочинений, написанных «на его имя» Абу Насром ибн Ираком, Масихи и Абу Али Хасаном ибн Али Джили. Последние работы — фактически совместные работы Бируни и его друзей. В своей «Библиографии» Бируни пишет об этих работах: «Те [сочинения], которые составили другие на мое имя, так же [близки] мне, как младенцы (приемные дети) груди [кормилицы] или ожерелья — шее. Я не делаю различия между ними и [моими сочинениями]»[3].

Большая часть сведений о не дошедших до нас сочинениях Бируни содержится в его «Библиографии» — «Библиографии сочинений Мухаммеда ибн Закарии Рази»[4],

---

[1] Цит. по: *П. Г. Булгаков.* Указ. соч., стр. 21.
[2] Цит. по: *А. М. Беленицкий.* Указ. соч., стр. 291.
[3] Там же, стр. 288.
[4] «Библиография» Бируни была опубликована Э. Захау в виде приложения к его изданию «Хронологии». Chronologie orientalischer Völker von Alberuni, hrsg. Von E. Sachau. Leipzig, 1878, S. XXXVIII—XLVIII. Имеются немецкие переводы Ю. Рушки: Al-Biruni als Quelle für das Leben und Schriften al-Razi's. Isis, 1922, N 5, S. 26—50. Г. Зутера и Э. Видемана: Über al-Biruni und seine Schriften. Beiträge zur Geschichte der Naturwissenscha-

написанной Бируни в 1035—1036 гг. «Библиография» (иногда именуемая арабским названием «Фихрист») содержит комментированный список трудов выдающегося иранского философа и естествоиспытателя, одного из крупнейших врачей и алхимиков средневековья, жившего в конце IX и начале X в., и список трудов самого Бируни, написанных до 1036 г. В последнем списке указаны и сочинения, написанные «на имя» Бируни; у большинства сочинений указано число листов рукописи. Почти каждое название снабжено аннотацией, в которой указаны обстоятельства появления этого сочинения. Например: «Составил я книгу, которую назвал „Дополнение к таблицам Хабаша“ [1], [устраняющую] недостатки [этих таблиц] и очищающую их от ошибок» или «Исправил я таблицу Арканд [2] и изложил ее правильным языком. Прежний перевод был непонятным, так как индийские термины остались в нем без перевода» [3].

Сведения о недошедших до нас трудах Бируни содержатся также в «Хронологии», «Индии» и «Астролябиях» самого Бируни и в биографическом словаре Якута.

В основе приведенного нами списка трудов Бируни лежит список, составленный в 1955—1956 гг. Д. Буало [4]. Однако уже после публикации списка Буало были обнаружены рукописи «Блеска зиджей» и некоторых других сочинений Бируни и можно надеяться, что число сохранившихся его трудов, равное 31, в будущем возрастет за счет обнаружения новых рукописей.

---

ften, LX. Sitzungsberichte der phys.-med. Sozietät in Erlangen, 1920—1921, Bd. 52/53, S. 55—96 и французский перевод П. Крауса: Epître de Biruni contenant de la répertoire des ouvrages de Mohammed b. Zakariya ar-Rāzi, publ. par P. Kraus. Paris, 1930.

[1] Хабаш ал-Хасиб Ахмед ибн Абдаллах Мервези (ум. ок. 865 г.) — крупный багдадский астроном и математик, уроженец Мерва (ныне г. Мары Туркменской ССР).

[2] Арканд — арабский перевод астрономического сочинения индийского ученого VI в. Брахмагупты «Кхандакхадьяка».

[3] Цит. по: *А. М. Беленицкий*. Указ. соч., стр. 287. Словом «таблица» здесь переведено слово «зидж», обозначающее собрание астрономических таблиц (в дальнейшем мы будем оставлять это слово без перевода).

[4] *D. J. Boilot*. L'ouevre d'al-Beruni. Institut Dominicain d'études orientales de Caire. Mélanges. v. 2. Le Caire, 1955, p. 161—256; Bibliographie d'al-Beruni. Corrigenda et addenda. — ibid., v. 3, 1956, p. 391—396.

Глава вторая

Математика

Классический период развития восточной математики (IX—XV вв.), к которому относится творчество Бируни, исследователи с полным основанием характеризуют как один из наиболее интересных этапов истории мировой математической мысли.

Математика в странах Ближнего и Среднего Востока в средние века сложилась на основе синтеза достижений древнегреческой и индийской математики с местной научной традицией, уходившей своими корнями в древневавилонскую науку. В античной математике были проведены систематизация и абстрагирование геометрических понятий, положено начало аксиоматическим построениям. В трудах греческих математиков получили развитие наука о числе, теория иррациональностей и теория отношений, была создана геометрическая теория, объединявшая рациональные числа и несоизмеримые отрезки, — геометрическая алгебра и на ее основе учение об уравнениях второй степени.

При помощи детально разработанной теории конических сечений решались отдельные виды уравнений третьей степени. При построении математических теорий был выделен класс инфинитезимальных проблем, для решения которых разрабатывались методы изучения бесконечных процессов, непрерывности, предельных переходов. Интерес к вычислительным методам проявился позже, лишь в позднеэллинистическую эпоху, когда началось развитие числовой алгебры, вычислительной геометрии и разработка основ и методов сферической тригонометрии, которая первоначально рассматривалась как часть астрономии. К этому периоду относится появление таблиц хорд (Птолемей).

Индийская математика достигла значительной степени развития прежде всего в области арифметики. В Индии была создана десятичная позиционная система счисления с применением нуля. В индийской алгебре (в отличие от греческой) на равных правах с рациональными применялись иррациональные величины и отрицательные числа. Важное место занимала разработка вычислительно-алгоритмических методов главным образом в тригонометрии. В индийской математике впервые введены синус, косинус, синус-версус ($\sin \operatorname{vers} \alpha = 1 - \cos \alpha$) и составлены таблицы синусов, заменившие греческие таблицы хорд.

Возникнув на основе усвоения греческого и индийского научного наследия, математика Ближнего и Среднего Востока развивалась по принципиально новому пути. Требования новой эпохи обусловливали постановку новых вопросов, вызывавших разработку новых проблем, например плоской и сферической тригонометрии. Особое внимание уделялось совершенствованию вычислительных методов.

Но развитие вычислительно-алгоритмического направления при всей его практической направленности сочеталось с чертами, унаследованными от греческой математики, и поэтому было проникнуто духом строгой логики. Именно стремление к логической завершенности математики вызвало у восточных ученых усиленное внимание к переводу на арабский язык греческих математических сочинений. Переводчиками и комментаторами Евклида, Архимеда, Аполлония, Менелая, Птолемея были крупнейшие математики. Освоение классического наследия позволило значительно поднять уровень разработки вычислительно-алгоритмических проблем. Там, где индийские математики формулировали конкретное расчетное правило, математики стран ислама создавали целые теории. Греческое влияние сказалось и на стиле математических сочинений, в которых существенное внимание уделялось доказательству (в индийских трактатах доказательство отсутствует) и полноте изложения.

Математики Ближнего и Среднего Востока внесли существенный вклад в развитие арифметики в широком смысле этого слова, практической и теоретической, от решения задач коммерческого характера до разработки теории отношений и теории иррациональностей, приведшей к расширению понятия числа.

Науке стран ислама принадлежит важная роль в распространении индийской десятичной и создании единой абсолютной шестидесятиричной системы счисления для целых и дробных чисел, в разработке арифметики дробей и методов извлечения корней с любым натуральным показателем. Комментирование «Начал» Евклида послужило поводом к обсуждению основ математики, а попытки доказательства V постулата — к разработке теории параллельных.

Чрезвычайно велика роль ученых Ближнего и Среднего Востока в создании алгебры как самостоятельной математической дисциплины, в классификации и разработке приемов решения уравнений второй степени (Хорезми). На основе античной теории конических сечений было создано развитое геометрическое учение об уравнениях третьей степени (Омар Хайям).

Математики средневекового Востока превратили в самостоятельную математическую дисциплину плоскую и сферическую тригонометрию. Были введены все шесть тригонометрических линий в круге, установлены зависимости между тригонометрическими функциями, исследованы все случаи и даны решения плоских и сферических треугольников. Очень важным итогом деятельности математиков IX — XV вв. является разработка приемов вычисления тригонометрических функций, обеспечивающих высокую степень точности при составлении тригонометрических таблиц.

Значительное развитие получили и инфинитезимальные методы.

Бируни работал практически во всех областях современной ему математики.

1. Арифметика

Учение о числе согласно классификации, принятой математиками средневекового Востока, подразделялось на два раздела: теоретическую и практическую арифметику. Содержание теоретической арифметики обычно составляли проблемы VII — IX книг «Начал» Евклида и «Введения в арифметику» позднего пифагорейца Никомаха Геразского. Объект теоретической арифметики — число — обычно характеризовалось в пифагорейском духе как совокупность единиц.

В практическую арифметику входило описание систем счисления, правил действий с целыми и дробными числами, приемов извлечения корней и т. д.

Бируни обращался к этим вопросам главным образом в «Науке звезд», в которой арифметике, теории чисел и вопросам буквенной нумерации посвящены 41 из 119 вопросов, касающихся математики.

В вопросах теоретической арифметики Бируни придерживался преимущественно классификации Никомаха, хотя его основные определения во многом совпадают с евклидовыми. Следуя принятой классификации, в теоретической арифметике он рассматривает только целые числа: «истинная единица неделима»[1]. Но далее Бируни вводит понятие «условной» единицы, которая разбивается на «части», состоящие из более мелких «единиц» — дробей, и таким образом включает это понятие в теоретическую арифметику.

Бируни придерживался классификации Никомаха и в основных определениях теории четных и нечетных чисел, рассматривая классы четно-четных чисел вида 2^n, четно-нечетных вида $2(2m+1)$, четно-четно-нечетных вида $2^n(m+1)$, где $n > 1$, нечетно-нечетных вида $(2n+1)(2m+1)$ и т. д. Затем, в согласии с традицией, он определял простые и составные, «совершенные», «недостаточные» и «избыточные» числа (соответственно равные, большие или меньшие суммы своих делителей) и «дружественные числа» (два числа, каждое из которых равно сумме делителей другого).

Далее, согласно принятой классификации, Бируни рассматривал фигурные числа[2]. Определение некоторых из них: «плоских» («квадратного», изображаемого в виде квадрата со стороной n, «прямоугольного» вида $m \times n$), «телесных» («кубического» — куба со стороной n — и числа вида $l \times m \times n$ — параллелепипеда с ребрами l, m и n) — содержится в «Началах» Евклида. Помимо этих понятий, Бируни, следуя Никомаху, рассматривал их частные случаи: прямоугольные числа вида $n(n-1)$, $n(n+m)$,

[1] *Abu'l-Rayhan al-Biruni.* The Book of Instruction in the Elements of the Art of Astrology. London, 1934, p. 24 (далее — «Наука звезд»).

[2] Фигурные числа введены в математику пифагорейцами, которые рассматривали геометрические фигуры как совокупности дискретных точек, расположенных в определенном порядке, и отождествляли площади и объемы фигур с числом соответствующих им точек.

де $m > 1$, вида m^2n при $n < m$ и $n > m$ («кирпичные» и «столбовые») и т. д. Далее рассматривались «треугольные» числа $\left(1 + 2 + 3 + \ldots + n = \frac{n(n+1)}{2}\right)$, изображаемые в виде треугольников (рис. 2), «конические» $\left(1 + \frac{2\cdot 3}{2} + \frac{3\cdot 4}{2} + \ldots + \frac{n(n+1)}{2} = \frac{n(n+1)(n+2)}{2}\right)$, изображаемые в виде тетраэдров, и «пирамидальные» числа вида

$$1^2+2^2+3^2+\ldots+n^2=\frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \text{ и } 1^3+2^3+3^3+\ldots+n^3=\left[\frac{n(n+1)}{2}\right]^2.$$

Бируни приводит индийские названия фигурных чисел: «санкалита» (сложение) для «треугольных», «санкалита санкалита» (сложение сложений) для «конических» и т. д.

К теоретической арифметике можно отнести проблемы суммирования рядов и комбинаторики, которыми также занимался Бируни.

В «Хронологии» Бируни вычислил сумму 64 членов геометрической прогрессии $1 + 2 + 2^2 + 2^3 + \ldots$ Эта сумма равна числу зерен пшеницы в известной индийской легенде о происхождении игры в шахматы. Для подсчета числа членов этой прогрессии формулируются два правила: 1) «Когда умножаем какое-либо из шестидесяти четырех полей шахматной доски на самого себя, то произведение оказывается в поле, настолько удаленном от множимого поля, насколько последнее удалено от первого поля»; 2) «Если вычесть из цифры какого-либо поля единицу, то остаток будет равен сумме цифр всех предшествующих полей»[1]. Первое правило, т. е. $2^n \cdot 2^n = 2^{2n}$ Бируни поясняет примером $16 \times 16 = 256$. Это число находится на девятом поле, отстоящем от пятого, на котором находится число 16, настолько же, насколько пятое отстоит от первого. Второе правило он иллюстрирует примером $32-1 = 1 + 2 + 4 + 8 + 16 = 31$. Бируни последовательно вычисляет $2^2 = 4$, $4^2 = 16$, $16^2 = 256$, $256^2 = 65535$ и $65536^2 = 4294967296$.

Для обоснования этих правил он ссылается на общую теорию четно-четных чисел, изложенную в его не дошед-

[1] «Хронология», стр. 154.

шей до нас «Книге цифр», откуда, по-видимому, заимствована и рассматриваемая здесь задача.

Обращаясь к изучению теории индийского стихосложения [1], Бируни приходит к задачам комбинаторики.

Индийцы пользовались силлабическим стихосложением, в котором соблюдается равенство числа слогов в строке независимо от долготы отдельных слогов. Определяющим размер элементом является стопа — «пада». В простейшем случае это — полустишие. Обычно применялись трехстопный и четырехстопный размеры, реже — пятистопный. Бируни излагает результаты математического исследования структуры индийского стиха, проведенного

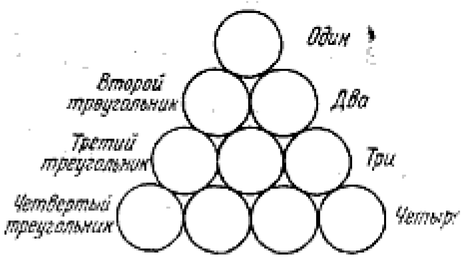


Рис. 2

Брахмагуптой. Брахмагупта рассмотрел самые распространенные размеры, когда наибольшее число слогов в строфе — 24, а наименьшее число слогов, содержащихся в одной паде, — 4. Поэтому двухстопный размер можно представить в виде 4 + 20 слогов, трехстопный — в виде 4 + + 4 + 16 слогов, четырехстопный — в виде 4 + 4 + 4 + + 12 и т. д.

Чтобы подсчитать комбинации из 24 слогов в размере из двух пад, когда пада состоит из наименьшего числа слогов, т. е. из четырех, Брахмагупта составил таблицу разбиений по столбцам числа 24 от 4 + 20 до 20 + 4. Число таких комбинаций равно 17 = 20 — 4 + 1, т. е. число сочетаний из 17 по 1, обозначаемое в настоящее время C^1_{17}. Таким же путем, чтобы подсчитать число комбинаций из 24 слогов в размере из трех пад с наименьшим числом слогов в первой паде, составляется таблица разбиений по столбцам числа 24 от 4 + 4 + 16 до 4 + 16 + 4. Число таких комбинаций равно 13 = 16 — 4 + 1. Трижды переставляя два из трех столбцов, можно получить еще пять аналогичных таблиц, и общее число комбинаций равно

[1] «Индия», стр. 84—85.

$13 \times 6 = 78$, т. е. числу сочетаний из 13 по 2, обозначаемому C^2_{13}. Для четырехстопного размера таким же образом получаются 84 комбинации, т. е. число сочетаний из 9 по 3, обозначаемое C^3_9, и т. д. Бируни отмечает важное значение работы Брахмагупты и предлагает провести аналогичное исследование греческой поэзии.

Обращаясь к практической арифметике, Бируни определил четыре основных арифметических действия, возведение в квадрат и куб, извлечение квадратных и кубических корней и формулирует такие понятия, как «рациональный» и «иррациональный» корни. «Иррациональный» он рассматривает как «такой, который не выражается словами, например корень из десяти, как так не существует такого числа, что, если умножить его на равное ему, получится десять. Его называют глухим, так как он не отвечает тому, кто его ищет, и его можно найти только приближенно» [1].

Бируни определяет шесть «натуральных» или «арифметических» разрядов, т. е. степеней числа («корень», «квадрат», «куб», «квадрато-квадрат», «квадрато-куб», «кубо-куб»), следуя классификации александрийского математика III в. Диофанта, и указывает, что «по этому же правилу увеличиваются остальные числа», т. е. применяет принцип Диофанта для получения любой степени числа.

Один из не дошедших до нас арифметических трактатов Бируни — «Об извлечении кубических корней и оснований того, что за ними из арифметических разрядов» посвящен извлечению корней степени $\geqslant 3$ («основаниями арифметических разрядов» назывались корни соответственных степеней).

Переходя к изложению систем счисления, Бируни рассмотрел и десятичную «индийскую» позиционную систему, и шестидесятеричную «арабскую», в которой был принят буквенный способ изображения чисел («джумал»). В шестидесятеричной позиционной системе употребляется специальный знак для нуля, а целые и дробные числа записываются в виде $a^n \cdot 60^n + a_{n-1} \cdot 60^{n-1} + \ldots + a_1 \cdot 60 + a_0 + \ldots + a_{-m} \cdot 60^{-m}$, где все a_k могут иметь значения от 0 до 59 и изображаются с помощью букв арабского алфавита. Дробные разряды назывались по греческому

[1] «Наука звезд», стр. 32.

образцу минутами, секундами и т. д., целые единицы — градусами, а разряды целых выше первого — «первыми поднятыми», «вторыми поднятыми» и т. д. Впервые такую запись целых чисел незадолго до Бируни ввел его современник Кушьяр ибн Лаббан. До него она использовалась только для записи дробей. Бируни применил это новшество уже в «Хронологии» для записи суммы членов арифметической прогрессии $1 + 2 + 2^2 + \ldots + 2^{63}$.

Описывая «индийский счет», Бируни привел названия восемнадцати разрядов чисел. «Некоторые индийцы,— замечает он,— утверждают, что... имеется еще девятнадцатый разряд... и будто бы далее нет счета. Однако счет нескончаем, лишь условно можно установить его предел, который будет одновременно концом его разрядов» [1].

В соответствии с традицией восточных арифметических трактатов Бируни изложил правила действий с дробями. Единая шестидесятеричная позиционная система целых чисел и дробей только появилась и еще не была принята. Поэтому он следует старому способу, который применял Хорезми. Производя, например, операцию умножения над шестидесятеричными дробями, Бируни сначала переводит каждое из перемножаемых чисел в единицы его низшего разряда, действует с ними как с целыми числами, записанными в десятичной системе, а затем переводит результат снова в шестидесятеричную дробь [2].

В таблицах тригонометрических и астрономических функций по традиции, восходящей еще к александрийской астрономии, Бируни пользовался шестидесятеричными дробями.

Математики стран ислама широко использовали в вычислениях «главные» дроби (вида $1/n$, где $n < 10$), выражая остальные дроби в виде их суммы и разности, или в словесной записи в виде «m частей из n». Следует этой традиции и Бируни, применяя их для вычисления хорд дуг $1/n$ окружности ($n = 3, \ldots, 10$) в III книге «Канона Мас'уда». В I книге «Канона» он вычисляет с помощью «главных» дробей разность $365^1/_{45} - 354^{11}/_{30} = 10^{57}/_{60}$ между величинами солнечного и лунного годов, которую представляет в виде $10 + {}^1/_2 + {}^1/_3 + {}^1/_{20}$.

Специальный трактат — «Книгу об индийских рашиках» («Рашики») Бируни посвятил одному из широко распространенных на Среднем и Ближнем Востоке и впоследствии в Европе методов практической арифметики — «тройному правилу».

[1] «Индия», стр. 178.

[2] «Наука звезд», стр. 34.

Тройное правило состоит в нахождении числа x, образующего с тремя данными числами a, b и c пропорцию $a/b = c/x$. Оно имеет индийское происхождение и встречается у Ариабхатты и Брахмагупты. Индийцы называли его трайрашика, т. е. «обладающее тремя местами». Брахмагупта обобщил это правило на 5, 7, 9 и 11 величин, требующих комбинированного применения соответственно двух, трех, четырех и пяти тройных правил. Бируни подробно разъясняет прямое и обратное правила и обобщает их на любое нечетное число величин, приводя задачи на 13, 15, 17 величин. Знаменателен тот факт, что Бируни обосновывает эти правила с помощью античной теории составных отношений, развитой на средневековом Востоке комментаторами Евклида.

2. Иррациональность и теория отношений. Расширение понятия числа

Учение о числовых иррациональностях по восточной классификации составляло специальный раздел математики. Такое выделение объяснялось трудностью теоретического обоснования этих проблем.

Индийские математики не различали на практике понятия непрерывного и дискретного. Они свободно оперировали иррациональностями в действиях с корнями. Принципиальное отличие подхода к этой проблеме у математиков стран ислама состояло в том, что они как раз ясно видели разницу между этими понятиями и поставили вопрос о логическом и теоретическом обосновании операций с иррациональностями. Оперирование алгебраическими иррациональностями в их арифметической форме подготовило почву для выделения понятия об иррациональном числе, равноправном с рациональными — целыми и дробями. Эта проблема оказалась в центре нового направления, в котором евклидова теория иррациональностей, изложенная с помощью методов геометрической алгебры в X книге «Начал», в многочисленных комментариях к ней подвергается существенному преобразованию — арифметизации. Стирается само различие между геометрическими несоизмеримыми величинами и числовыми иррациональностями. Иррациональные числа становятся полноправным предметом арифметики и алгебры, и любое отношение величин начинает восприниматься как число.

До нас не дошли труды Бируни, специально посвященные проблеме иррациональностей, хотя отдельные замечания встречаются во многих сочинениях. Более подробно касается он этих вопросов, обращаясь к сущности и способам вычисления числа π — отношения длины окружности к ее диаметру.

В «Науке звезд» Бируни приводит для π архимедовское значение — $3^1/_7$ и указывает, что оно «находится между двумя величинами, больше меньшей из них и меньше большей»[1]. Очевидно, он имел в виду трактат Архимеда «Измерение круга», в котором доказывается, что величина π заключена в пределах $3\,^1/_7 < \pi < 3^{10}/_{71}$. Значение площади круга единичного диаметра, которое приводит Бируни, — $^1/_2 + ^2/_7 = ^{11}/_{14}$ — соответствует величине $\pi = 3^1/_7$. В то же время он подробно останавливается и на индийских методах вычисления π.

«В древности,— писал Бируни,— индийцы считали, что окружность круга — утроенный диаметр... Однако в более позднее время индийцы узнали, что за тремя целыми следуют дроби. Брахмагупта полагает, что дробь составляет одну седьмую, однако он получил ее другим путем, а именно: „Поскольку корень из десяти приблизительно — три и одна седьмая, то всякий диаметр относится к своей окружности, как единица к корню из десяти". Поэтому он умножает диаметр на равную величину, а произведение — на десять и потом из всего произведения извлекает корень. Следовательно, окружность иррациональна, как иррационален корень из десяти. Во всяком случае полученное таким образом превосходит все, что должно быть. Архимед определил это как то, что между десятью семидесятыми и десятью семьдесят первыми. Брахмагупта рассказывает об Ариабхатте, критикуя его за то, что определил окружность как 3393; затем в одном месте он утверждал, что диаметр равен 1080, а в другом — 1050. Первое мнение требует отношения диаметра к окружности, как единицы к трем и семнадцати сто двадцатым единицы. А это меньше одной седьмой на одну семнадцатую одной седьмой. Что же касается второго мнения, то несомненно искажение было в списке, а не у автора; оно требует отношения единицы к трем с тем, что превышает четверть единицы. Пулиса употребляет это отношение как единица к трем и 177 1250-х единицы. Это меньше одной седьмой на то же, что и согласно мнению Ариабхатты»[1].

В III книге «Канона Мас'уда» Бируни для получения приближенного значения π умножает полученную им величину a_{180} (стороны правильного вписанного 180-угольника) на 180 и получает периметр вписанного правильного 180-угольника. Затем находит сторону A_{180} правильного описанного 180-угольника и его периметр. За длину окружности он принимает полусумму этих периметров и получает значение π с точностью до пяти шестидесятиричных знаков: $3^{\text{P}}8^{\text{I}}36^{\text{II}}17^{\text{III}}16^{\text{IV}}46^{\text{V}} = 3{,}14174628$ (менее точное, чем у Пулисы).

На протяжении всего «Канона Мас'уда» Бируни систематически применяет к геометрическим величинам такие термины, как «умножение», «деление», «извлечение корня». Так, при определении хорды $^1/_3$ круга Бируни писал: «Если мы хотим определить хорду трети круга, умножим диаметр на половину его суммы с его половиной и извлечем корень из произведения»[2].

Применение слова «число» и арифметических понятий к несоизмеримым геометрическим величинам и есть проявление той тенденции к распространению арифметической терминологии на геометрические величины, которая была характерна для учения о числовых иррациональностях на средневековом Востоке.

В античной математике были созданы теория отношений целых чисел и общая теория отношений непрерывных величин. Первая из них играла роль современной теории дробей, вторая — теории действительных чисел. Между этими двумя теориями античные математики проводили резкую грань. Важнейшим достижением математиков Ближнего и Среднего Востока было объединение этих двух теорий в общей теории, основанной на расширении понятия числа до того, что мы называем действительным положительным числом. В значительной степени заслуга этого объединения принадлежит Бируни.

---

[1] «Наука звезд», стр. 11.

[1] «Индия», стр. 173. Значение Пулисы (Паулоса) — 3 177/1250 = = 3,1416.

[2] «Канон Мас'уда», стр. 272.

Первые шаги в этом направлении были сделаны в позднеэллинистическую эпоху одним из комментаторов Евклида (по-видимому, Теоном), добавившим к «Началам» так называемое пятое определение VI книги — определение «составного отношения». Евклид называл составным отношением то, что мы называем произведением отношений, и применил его в 23 предложении VI книги, утверждающем, что «равноугольные параллелограммы имеют друг к другу составное отношение их сторон» (на современном языке это означает, что отношение площадей двух параллелограммов равно произведению отношений их соответственных сторон). В первоначальном тексте «Начал» не было определения составного отношения, были определены только два его частных случая — «двойное» и «тройное» отношения (на современном языке — квадрат и куб отношения). Пятое определение VI книги гласит: «Говорится, что отношение составляется из отношений, когда количества этих отношений, перемножаемые между собой, образуют нечто» [1]. Смысл этого определения стал понятен математикам только после работ Бируни.

В «Науке звезд» Бируни дал определение составного отношения, отправляясь от евклидова определения двойного отношения:

«Оно подобно двойному отношению, но двойное отношение составлено из двух равных отношений, как, например, [отношение] половины половины, а это отношение составлено из двух разных отношений, как, например, [отношение] четверти одной пятой. Простейший пример этого: если между двумя величинами имеется отношение и между ними помещена другая величина, то отношение первых двух составлено из отношения одной из них к промежуточной и из отношения промежуточной к другой, так же как расстояние между двумя городами составлено из расстояний его этапов. Иногда вместо составления говорят о перемножении, тогда об отношении первой к третьей [говорят] как о перемноженных между собой отношении первой ко второй и отношении второй к третьей, но слово „составление" лучше. Пример этого: отношение двух к двенадцати — отношение одной шестой, а если вставить между ними четыре, указанное отношение будет составлено из отношения двух к четырем, т. е. отношения половины и отношения четырех к двенадцати, т. е. отношения трети. Это отношение половины трети, т. е. одной шестой, мы говорим также отношение трети половины» [1].

Обратим внимание на слова Бируни: «Иногда вместо составления говорят о перемножении...».

Бируни широко пользовался составлением отношений при решении самых различных задач.

Во 2-й главе V книги «Канона Мас'уда», рассматривая составные отношения, выражающие теорему Менелая, относящуюся к сферической тригонометрии, Бируни писал об одном из отношений, входящих в эту теорему: «Если разделить синус FC на синус CB, получится то, что относится к единице, как синус FC к синусу CB» [2], и, вводя аналогичные величины для двух других из этих отношений, говорил, что «одна из этих величин является произведением двух других». Эти величины по существу совпадают с «количествами отношений», о которых идет речь в определении составного отношения, добавленном в позднеэллинистическую эпоху к «Началам» Евклида.

Бируни определенно высказался в пользу расширения понятия числа в упоминавшейся нами главе III книги «Канона Мас'уда», где он привел приближенное значение числа π. В начале этой главы Бируни пишет: «Хотя единичное и относится к считаемым, но если рассматривать единицу в [совокупности сущностей], обладающих веществом, то она не является истинной по своей сущности, а [принята] условно и по общему соглашению, как и части деления окружностей кругов, о которых согласились люди этого искусства, что их триста шестьдесят и что каждая из них делится на шестидесятые части. Причина [выбора] этого [числа деления окружности] — лишь в том, что она посредничает между днями солнечного и лунного года, а не обязательность его.

У окружности круга к его диаметру имеется некое отношение, поэтому у числа окружности к числу диаметра также есть отношение, хотя оно и иррационально» [3].

Как мы увидим ниже, под «числом диаметра» Бируни имел в виду 2, поэтому под «числом окружности» он имеет

---

[1] *Евклид.* Начала. Перевод Д. Д. Мордухай-Болтовского. Т. 1, М.— Л., 1948, стр. 174.

[1] «Наука звезд», стр. 15—16.
[2] «Канон Мас'уда», стр. 584.
[3] Там же, стр. 303. Авторы приносят благодарность П. Г. Булгакову, помогшему им перевести это место.

в виду число не в общепринятом в его время смысле, а в обобщенном. Именно это подчеркивают слова в начале приведенной нами цитаты: под «считаемыми» имелись в виду конкретные объекты счета, противопоставляемые абстрактным числам. Математик и философ IX в. Сабит ибн Корра говорил, что «число не существует в вещах... оно не присутствует в считаемом, но содержится в душе» [1]. Упоминаемый Бируни в «Рашиках» математик X в. Ибн ал-Багдади подчеркивал, что «путь к знанию соизмеримых и несоизмеримых величин лежит только через знакомство с различием между числом и считаемым» [2]. При соответствии между числами и считываемыми числовой единице соответствует «единичное». Говоря о «единице в [совокупности сущностей], обладающих веществом», Бируни имел в виду непрерывные величины и условную единицу измерения этих величин, являющуюся делимой. Слова «она не является истинной» указывают на то, что Бируни здесь, так же как в «Науке звезд», отличал делимую единицу от единицы «истинных», т. е. натуральных чисел.

Упоминание о «считаемых» подчеркивает, что числа в расширенном смысле слова относятся к «сущностям, обладающим веществом», как натуральные числа к «считаемым».

Это расширение понятия о числе Бируни, несомненно, имеет в виду, когда в начале «Науки звезд» в ответе на вопрос: «Что такое геометрия?» пишет: «Она превращает науку о числах из частной в общую» [3], противопоставляя классической науке о числах — арифметике натуральных чисел — «общую» науку о числах, объектами которой являются и натуральные числа, и геометрические величины.

Идея Бируни о расширении понятия числа была развита дальше Хайямом в его комментариях к Евклиду,

[1] Цитируется из неопубликованного философского трактата «Вопросы, заданные Сабиту ибн Корре ал-Харрани» по автореферату кандидатской диссертации А. Ю. Сапсура «Математические труды Сабита ибн Корры». М., 1971, стр. 3.

[2] Трактат Ибн ал-Багдади о соизмеримых и несоизмеримых величинах. Перевод Г. П. Матвиевской в ее статье «Материалы к истории учения о числе на средневековом Ближнем и Среднем Востоке».— В кн.: «Из истории точных наук на средневековом Ближнем и Среднем Востоке». Ташкент, 1972, стр. 119.

[3] «Наука звезд», стр. 1.

где величины, соотносимые с отношениями, назывались «величинами, отвлеченными разумом от всего этого и принадлежащими к числам, но не к числам абсолютным и истинным» [1].

3. Алгебра

Математики Ближнего и Среднего Востока не только выделили алгебру в самостоятельную дисциплину, но и внесли существенный вклад в ее развитие. Уже в наиболее ранних сочинениях (например, в трактате Хорезми, IX в.) алгебра, или, как ее называли, «исчисление восполнения и противопоставления», играла самостоятельную роль, а позднее, в X—XI вв. Омар Хайям рассматривал ее как «научное искусство, предмет которого составляют абсолютное число и измеримые величины, являющиеся неизвестными, но отнесенные к какой-нибудь известной вещи, по которой их можно определить» [2].

Среди дошедших до нас трудов Бируни нет сочинений, специально посвященных алгебре. Основные алгебраические определения содержатся в семи вопросах и ответах, входящих в «Науку звезд». Вначале Бируни определяет «восполнение» (ал-джабр [3]) и «противопоставление» (ал-мукабала) — две основные операции, с помощью которых алгебраические уравнения приводились к простейшему виду. Далее следует определение «вещи» (неизвестного) и правил действий с «вещами», т. е. алгебраических операций с неизвестным и его степенями. Затем формулируется «правило знаков» при действиях с «вещами»: «Если умножить вещь на вещь, получится квадрат, если умножить ее на число, получатся вещи в этом числе. Если умножить отнимаемую вещь на вещь, получится отнимаемый квадрат. Тогда говорят: „без квадрата". Если умножить отнимаемую вещь на число, получатся отнимаемые вещи в этом числе; тогда говорят: „без стольких-то вещей". Если умножить отнимаемую вещь на отнимаемую вещь, получится „прибавляемый квадрат"» [4].

«Искусство алгебры — писал Бируни, — имеет дело с тремя элементами: один из них — абсолютное число,

[1] *Омар Хайям.* Трактаты. Перевод Б. А. Розенфельда. М., 1961, стр. 145 (слово «истинным» переведено «настоящим»).

[2] Там же, стр. 70—71.

[3] От этого слова происходит современный термин «алгебра».

[4] «Наука звезд», стр. 39—40. Заметим, что термины Бируни «без вещей» и «без квадрата» значительно ближе к нашим понятиям

не отнесенное ни к чему, другой — отнесенное число — корень квадрата, а третий — отнесенное число — квадрат корня. Между ними могут быть три вида соединений. Первый из них: корень равен числу; это означает, что имеется квадрат, корень или несколько корней которого равны числу. Второй: квадраты равны числу; это означает, что имеется квадрат или квадраты, равные числу. Третий: квадраты равны корням; это означает, что имеется квадрат или квадраты, равные корню или корням»[1]. Иными словами, Бируни выделяет три вида «простых уравнений»: $bx = a$, $cx = a$ и $cx^2 = bx$. Далее он определяет три вида «сложных» уравнений:

$x^2 + bx = a$ («квадрат и корни равны числу»),

$x^2 + a = bx$ («квадраты и числа равны корням»)

$bx + a = x^2$ («квадраты и корни равны числу»),

отмечая, что во втором случае возможны два различных положительных корня.

Бируни повторяет здесь классификацию Хорезми, принятую в сочинениях по алгебре того времени.

Для решения линейных уравнений вида $ax + b = c$ он применяет «исчисление двух ошибок» — широко распространенный в восточной, а затем и в европейской математике способ, который назывался также правилом двойного ложного положения. Полагая $x = x_1$ и $x = x_2$ и приняв $ax_1 + b = c_1$ и $ax_2 + b = c_2$, находят две «ошибки» $d_1 = c - c_1$ и $d_2 = c - c_2$. Решение уравнения находится в виде $x = \frac{x_1 \cdot d_2 - x_2 \cdot d_1}{d_2 - d_1}$.

В «Науке звезд» приводится способ решения и систем линейных уравнений — «исчисление динара и дирхема». Термины «динар» и «дирхем» — названия бывших в обращении золотой и серебряной монет (а иногда и «фалс» — медная монета) — применялись для обозначения неизвестных. «Исчисление динара и дирхема», по-видимому, заимствовано из Индии.

К решению квадратных уравнений Бируни обращается в трактате «Хорды» и III книге «Канона Мас'уда». К квадратным уравнениям он сводит вычисление хорд

$-ax$ и $-x^2$, чем выражения «отнимаемые вещи» и «отнимаемый квадрат», которые он употребляет вслед за своими предшественниками.

[1] «Наука звезд», стр. 37—39. Термин «корень», так же как и «вещь», применялся для обозначения неизвестного.

$^1/_5$ и $^1/_{10}$ круга, т. е. сторон a_5 и a_{10} правильных вписанных пятиугольника и десятиугольника. Для нахождения a_{10} Бируни получает уравнение $r^2 + \left(\frac{r^2}{2}\right)^2 = \left(x + \frac{r}{2}\right)^2$, равносильное уравнению $r^2 = x^2 + rx$, решение которого он находит в виде $x = \frac{r}{2}(\sqrt{5} - 1)$, а a_5 находит по a_{10} из пропорции $\frac{x - \frac{r^2}{x}}{a_{10}} = \frac{a_{10}}{x}$, также сводящейся к квадратному уравнению.

В X книге «Канона Мас'уда» Бируни сводит к квадратному уравнению вида $x^2 + bx + a = 0$ задачу об определении точки стояния в прямом и попятном движениях планет и ее расстояния от низшей точки эпицикла планеты. В современных обозначениях ее решение имеет вид

$$x = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - a} - \frac{b}{2}.$$

К кубическим уравнениям Бируни сводит задачу об определении хорды $^1/_9$ круга, т. е. стороны правильного вписанного девятиугольника. Вычислению хорды $^1/_9$ круга в III книге «Канона Мас'уда» посвящена отдельная глава. Бируни указывает, что эта задача в общем случае неразрешима с помощью циркуля и линейки, так как сводится к трисекции угла: «Одну девятую окружности можно определить точно только с помощью движения инструментов или путем применения конических сечений, что трудно выражается в числах»[1]. Под «инструментами» Бируни имеет в виду инструменты, отличные от циркуля и линейки, например «вставку» (линейку с двумя отмеченными точками), с помощью которой решал подобные задачи Архимед. Решение с помощью конических сечений имеет в виду построение двух таких сечений по коэффициентам кубического уравнения. Обычно строятся окружность, парабола или равносторонняя гипербола. Абсциссы одной или нескольких точек пересечения указанных кривых являются корнями уравнения. Этот способ применил для решения задачи удвоения куба (равносильной уравнению $x^3 = 2a^3$) еще в IV в. до н. э. греческий математик Менехм и часто применяли математики стран ислама. Хайям решал таким способом все типы кубических

[1] «Канон Мас'уда», стр. 287.

уравнений с положительными коэффициентами и корнями. Однако Бируни необходимо численное решение, и поэтому он отказывался от геометрических методов.

Два из четырех предложенных им способов определения хорды $^1/_9$ круга сводятся к решению кубических уравнений $x^3 = 1 + 3x$ и $x^3 + 1 = 3x$. Пусть в первом случае круг разделен на 9 равных частей в точках A, B, C, D, E, F, G, H и J (рис. 3). Соединяя A с E и E с G, Бируни получает ломаную AEG, вписанную в дугу ADG. Если из середины этой дуги (D) опустить перпендикуляр DL на

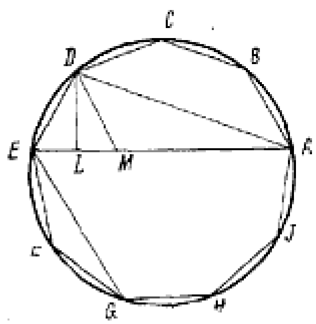
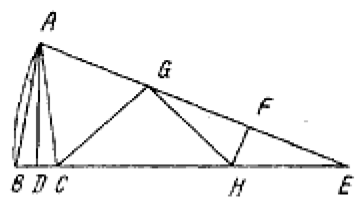


Рис. 3

Рис. 4



AE, то DEL — вписанный угол, опирающийся на дугу в 120°, и, следовательно, равен 60°. Если на AE отложить $LM = ME$, то $LE = {}^1/_2\, ED$, $EM = 2LE = ED$. Применяя к ломаной геометрические теоремы, о которых мы скажем ниже, он получает соотношения

$$AE \cdot EG + ED^2 = AD^2 \qquad (*)$$

и

$$AL = EG + EL. \qquad (**)$$

В силу (**)

$$AE = EL + AL = 2EL + EG = DE + EG. \qquad (***)$$

Принимая сторону вписанного правильного 9-угольника DE за единицу, а EG, т. е. хорду 80° за «вещь», т. е. x, Бируни представляет соотношение (*) в виде, равносильном $(1 + x)\,x = AD^2$ или $x^2 + x + 1 = AD^2$. Но для ломаной ADE, вписанной в дугу ACE, выполняется соотношение $AD \cdot DE + CD = AC^2$, аналогичное (*), а так как $AC = EG = x$ и $CD = DE = 1$, то его можно переписать в виде $AD = x^2 - 1$, откуда следует, что $AD^2 = (x^2 - 1)^2$. Подставив в полученное уравнение значение AD, получим $x^2 + x + 1 = (x^2 - 1)^2$ или $x^2 + x + 1 =$

$= x^4 - 2x^2 + 1$. «Противопоставляя» единицу в обеих частях уравнения и «восполняя» правую часть членом $2x$, Бируни получал уравнение $3x^2 + x = x^4$. После «разгрузки на разряд» (не учитывая, как и все математики средневекового Востока, корень $x = 0$), Бируни приходил к уравнению $1 + 3x = x^3$ и отмечал: «Разряды этого не примыкают друг к другу, как последующие члены отношений; поэтому для определения вещи нет другого способа, кроме последовательного подбора» [1], т. е. указывал, что это уравнение не сводится к квадратному, так как неизвестное не входит в него в виде

$$x^{2m+n},\ x^{m+n},\ x^n.$$

Во втором случае Бируни приходит к кубическому уравнению, принимая за «вещь» хорду 20°, т. е. сторону правильного вписанного 18-угольника. Пусть AB — сторона такого 18-угольника, вписанного в круг с центром E (рис. 4). Угол $AEB = 20°$, углы EAB и $EBA = 80°$. Бируни строит угол $BAC = 20°$. В подобных треугольниках ABC и EAB $\frac{AE}{AB} = \frac{AB}{BC}$. Принимая AE за единицу, AB за «вещь», он приходит к соотношению $BC = x^2$. Разбив треугольник ABE на четыре равнобедренных треугольника ABC, ACG, CGH и GHE, боковые стороны которых равны $AB = a_{18}$, а углы при основаниях равны соответственно 80, 60, 40 и 20°, Бируни получает для подобных треугольников AED и HEF пропорцию $\frac{EH}{EF} = \frac{AE}{ED}$.

Принимая теперь за единицу радиус круга AE и учитывая, что $EH = AB = x$, $EF = \frac{1}{2}(1 - x)$, $ED = 1 - \frac{BC}{2} = 1 - \frac{x^2}{2}$, он получает уравнение $\frac{x}{\frac{1}{2}(1 - x)} = \frac{1}{1 - \frac{x^2}{2}}$ или $2x - x^3 = 1 - x$, которое после «восполнения» и «противопоставления» имеет вид $x^3 + 1 = 3x$.

Способа решения этих уравнений Бируни не дает, но указывает, что они решаются «последовательным подбором» (истикра). Однако далее он подробно описывает вычисление хорды $^1/_9$ круга с помощью специального итерационного приема. Зная величины хорд 30, 60 и 72°

[1] «Канон Мас'уда», стр. 289.

(т. е. $^1/_{12}$, $^1/_6$ и $^1/_5$ круга), Бируни последовательно находит хорды $12° = 72° - 60°$, $42° = 30° + 12°$, $^1/_4 \times 42° = 10°30'$, $40°30' = 30° + 10°30'$ и т. д., т. е. хорды $\alpha_n = 40° + \frac{2°}{4^n}$, где $n = 0, 1, 2, \ldots$ Этот процесс позволяет сколь угодно близко подойти к хорде 40°.

Свои вычисления Бируни доводит до значения $0^{\text{P}}42^{\text{I}}2^{\text{II}}32^{\text{III}}42^{\text{IV}}29^{\text{V}}$ и указывает, что это значение отличается от приближенного значения, полученного при решении кубических уравнений «последовательным подбором» только в квинтах.

К кубическому уравнению $4x^3 - 3x = a$ сводится и общая задача трисекции угла, к которой он обращается в 4-й главе III книги «Канона Мас'уда», посвященной определению хорды и синуса 1° — величин, необходимых для составления тригонометрических таблиц.

4. Геометрия

Деятельность математиков Ближнего и Среднего Востока в области геометрии имеет источником также перевод и комментирование геометрических книг «Начал» Евклида. Большинство трактатов по геометрии на средневековом Востоке, следуя структуре этих книг, начинается с основных определений.

Геометрии посвящена I часть (71 из 530 вопросов и ответов) «Науки звезд».

Бируни начинает с определения геометрии: «Это наука о величинах и количествах по отношению друг к другу, учение о свойствах их форм и о фигурах, присущих телу. Она превращает науку о числах из частной в общую и переводит астрономию из области догадок и предположений на почву истины» [1]. О «превращении науки о числах из частной в общую» мы говорили выше. Слова же о том, что геометрия «переводит астрономию из области догадок и предположений на почву истины», указывают на то, что Бируни считал подлинно научной только такую астрономию, которая основана на геометрическом объяснении движений небесных тел.

Далее следуют определения основных геометрических понятий, главным образом по Евклиду. Но в отличие от

[1] «Наука звезд», стр. 1.

Евклида, который сначала определяет точку, потом линию, затем поверхность и только после этого тело, Бируни приводит эти определения в обратном порядке. Он определяет тело как «то, что обнаруживается при помощи чувства осязания и существует само по себе», поверхность как границу тела, линию как край поверхности и точку как конец линии [1], подчеркивая тем самым, что математическое понятие тела является абстракцией, игнорирующей его физические свойства. Поверхность — дальнейшая абстракция, при которой отвлекаются от глубины тела, линия — абстракция, при которой отвлекаются от ширины поверхности, и, наконец, точка — абстракция, при которой отвлекаются от длины линии. Эту материалистическую точку зрения, принадлежавшую Аристотелю, пропагандировал на средневековом Востоке один из основателей восточного аристотелизма — Фараби, который в своих комментариях к Евклиду писал: «Обучение надлежит начинать с ощущаемого тела, затем перейти к рассмотрению тела, отвлеченного от связанных с ним ощущений, потом к поверхности, затем к линии и к точке» [2]. Изложение основных понятий геометрии у Бируни построено в соответствии с советом Фараби.

Для плоскости и прямой Бируни дает два определения. Первое — это «самые короткие поверхность и линия с теми же краями». Второе определение гласит: «Если на поверхности линии налагаются друг на друга, это — плоскость, если же на линии точки налагаются друг на друга, это — прямая» [3]. Эти определения существенно отличаются от евклидовых. Первое из них, содержащее чуждые Евклиду ссылки на измерение длин и площадей, восходит к аксиомам Архимеда, которые он формулирует в трактате «О шаре и цилиндре» [4]; второе определение прямой восходит к платоновскому. Далее Бируни определяет угол и его виды (острый, прямой и тупой), круг и линии в круге, виды треугольников и линий в треугольнике, виды четырехугольников, параллельные прямые и углы при них, параллелограмм, вписанные и описанные

[1] Там же, стр. 1—3.
[2] *Абу Наср аль-Фараби.* Комментарии к введениям первой и пятой книг Евклида. Математические трактаты. Перевод М. Ф. Бокштейна. Алма-Ата, 1972, стр. 239.
[3] «Наука звезд», стр. 3.
[4] *Архимед.* Сочинения. Перевод И. Н. Веселовского. М., 1962, стр. 96.

фигуры. Все эти определения в основном совпадают с евклидовыми.

Параллельные линии Бируни определяет следующим образом: «Это линии, которые находятся в одной плоскости и расстояние между которыми не изменяется. Если продолжить их в их направлении в обе стороны, они не встретятся ни с какой стороны» [1]. Вторая часть этого определения совпадает с евклидовым, а первая предполагает существование равноотстоящих прямых, что не выполняется в неевклидовых геометриях. При выполнении остальных

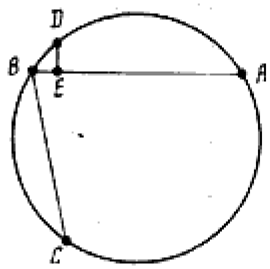


Рис. 5

аксиом Евклида из этого утверждения можно вывести V постулат. Такое определение встречается у греческого математика II в. н. э. Посидония. Весьма вероятно, что оно имелось еще у Архимеда в не дошедшем до нас трактате «О параллельных линиях», известном на средневековом Востоке. Во всяком случае доказательство V постулата, принадлежащее одному из самых активных последователей Архимеда — Сабиту ибн Корре [2], основано именно на этом предположении. Тот факт, что Бируни поставил это определение первым, говорит в пользу того, что он, по-видимому, был знаком с теориями параллельных линий Архимеда и Сабита ибн Корры.

Специально доказательству геометрических теорем посвящен «Трактат об определении хорд в круге с помощью ломаной, вписанной в него» («Хорды»). Название этого сочинения связано с тем, что основным его содержанием являются различные доказательства теоремы Архимеда

[1] «Наука звезд», стр. 7—8.

[2] *Сабит ибн Корра.* Книга о том, что две линии, проведенные под углами, меньшими двух прямых, встретятся. Перевод Б. А. Розенфельда.— «Историко-математические исследования». 1963, вып. 15, стр. 363—380.

о свойствах ломаной, вписанной в круг. Теорема Архимеда состоит в том, что если в круг вписана ломаная ABC из двух звеньев AB и BC и из середины дуги D, стягиваемой ломаной, опущен перпендикуляр DE на ее большее звено (рис. 5), то этот перпендикуляр делит ломаную на две равные части, т. е. $AE = EB + CB$.

Бируни приводит три доказательства этой теоремы, принадлежащие самому Архимеду, двадцать — математикам средневекового Востока (среди них доказательство своего учителя Ибн Ирака) и восемь — собственных. Одно из них он впоследствии воспроизвел в «Каноне Мас'уда».

Бируни доказывает еще две теоремы Архимеда. В одной из них по трем сторонам треугольника определяется расстояние от основания его высоты до одной из вершин: если обозначить основание треугольника через a, остальные его стороны через b и c, а их прямоугольные проекции на сторону a или ее продолжение — через b' и c', то при $b > c$

$$b' = \frac{1}{2}\left(a + \frac{b^2 - c^2}{a}\right) = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2a},$$

$$c' = \frac{1}{2}\left|a - \frac{b^2 - c^2}{a}\right| = \left|\frac{a^2 - b^2 + c^2}{2a}\right|.$$

Эта теорема равносильна «обобщенной теореме Пифагора», доказанной во II книге «Начал» Евклида.

Во второй теореме, называемой обычно теоремой Герона (так как европейские математики познакомились с ней по «Метрике» Герона), площадь S треугольника определяется через его стороны a, b, c по правилу $S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$, где $p = \frac{a+b+c}{2}$. Бируни называет ее «доказательством действий Архимеда [для определения] площади треугольника по избыткам» [1]. Доказательство обеих теорем основано на теореме Архимеда о ломаной линии.

Вслед за теоремой Герона Бируни приводит ее обобщение — теорему об определении площади четырехугольника, вписанного в круг, по его сторонам

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)(p-d)}.$$

[1] *Бируни.* Трактат об определении хорд в круге с помощью ломаной, вписанной в него. — «Из истории науки и техники в странах Востока», 1963, вып. 3, стр. 119 (далее — «Хорды»).

Приведенное Бируни доказательство (самое раннее из известных нам) принадлежит его современнику, египетскому математику аш-Шанни. Впервые без доказательства и оговорки о том, что четырехугольник должен быть вписан в круг, эта теорема встречается у Брахмагупты. Бируни называет ее «правилом индийцев».

В 1-й главе III книги «Канона Мас'уда» Бируни, приступая к изложению начал тригонометрии, приводит определение и методы вычисления «основных хорд» (буквально «хорд-матерей»), под которыми понимает хорды a_n дуг $1/n$ окружности, где $n \leqslant 10$. Вычисление ведется на основе построений циркулем и линейкой с помощью теоремы Архимеда о ломаной.

Приводя одно из доказательств этой теоремы, Бируни формулирует «второе утверждение о ломаной линии» в виде, равносильном $AB\cdot BC + DB^2 = AD^2$, и следующее из него «третье утверждение» $AB\cdot BC + AD^2 = DB^2$. Пользуясь ими, он определяет хорды a_3 и a_6 $^1/_3$ и $^1/_6$ круга (стороны правильных вписанных треугольника и шестиугольника) по правилам, равносильным формулам

$$a_3\sqrt{2r\cdot\frac{1}{2}\,3r}$$

и

$$a_3=\sqrt{2r\cdot\frac{3}{4}\cdot 2r}$$

и

$$a_6 = r,$$

где r — радиус круга.

Сторону четырехугольника Бируни вычисляет по теореме Пифагора в виде $a_4=\sqrt{\frac{2r\cdot 2r}{2}}$, стороны пятиугольника и десятиугольника — по правилам, равносильным формулам

$$a_5=\sqrt{\left(\sqrt{\frac{2r\cdot 2r\cdot 5}{16}}-\frac{r}{2}\right)^2+r^2}$$

и

$$a_{10}=\sqrt{\frac{2r\cdot 2r\cdot 5}{16}}-\frac{r}{2}=\frac{r}{2}\left(\sqrt{5}-1\right);$$

все эти задачи сводятся к решению соответствующих квадратных уравнений.

О стороне правильного вписанного семиугольника, нахождение которой сводится к решению кубического уравнения $x^3 + x^2 - 2x - 1 = 0$, несводимого к квадратным с целыми коэффициентами, Бируни замечает: «Это принадлежит к тому, для чего до нашего времени нет пути» [1].

Сторону восьмиугольника он определяет в виде, эквивалентном формуле

$$a_8=\sqrt{r^2-r\left(r\sqrt{2}-r\right)}\ \left(=r\sqrt{2-\sqrt{2}}\right).$$

Вычисление хорды $^1/_9$ круга, которое сводится к решению кубического уравнения и итерационному процессу, мы рассмотрели выше (стр. 46—48).

Из задач на геометрические построения, которыми занимался Бируни, мы рассмотрим трисекцию угла и построение конических сечений.

Трисекция угла, т. е. задача о делении угла на три равные части, не может быть решена с помощью циркуля и линейки и в силу соотношения

$$\cos\varphi = 4\cos^3\frac{\varphi}{3} - 3\cos\frac{\varphi}{3}$$

сводится к решению кубического уравнения. Эта задача решается с помощью более «сильных» инструментов, например «вставки». Бируни пользуется «вставкой» для нахождения a_9 (он определяет a_9 с помощью a_{18} — хорды 20°, которую находит трисекцией угла 60°) и при вычислении хорды и синуса 1°.

Бируни приводит двенадцать способов трисекции угла с помощью «вставки», один из которых — способ Архимеда — изложен им в «Книге лемм».

Рассмотрим один из способов, принадлежащих самому Бируни. Как «способы Абу Райхана» их приводит современник Бируни математик Сиджизи в «Трактате о трисекции прямолинейного угла». Бируни осуществляет трисекцию угла AEB (рис. 6) с помощью радиуса EG, который он проводит так, что на хорде AB отсекается отрезок AZ, равный хорде AG искомого угла AEG. При этом условии равнобедренные треугольники AEG и ZAG подобны, $\sphericalangle AEG = {}^1/_3 \sphericalangle AEB$. Так как один из этих углов — цент-

[1] «Канон Мас'уда», стр. 272.

ральный, а другой — вписанный, дуга GB — удвоенная AG и, следовательно, угол AEG равен трети угла AEB [1].

Построение конических сечений Бируни описывает в «Астролябиях». Оно производится с помощью специального циркуля, называемого «совершенным циркулем», который впервые применил современник Бируни — Абу Сахл Кухи. Неподвижная ножка совершенного циркуля может быть закреплена в вертикальной плоскости под углом β к горизонтальной плоскости, а подвижная ножка, длина которой может меняться так, чтобы карандаш всегда находился на горизонтальной плоскости, составляет с неподвижной ножкой угол α. При вращении цир-

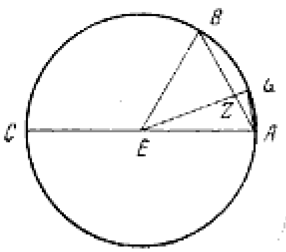


Рис. 6

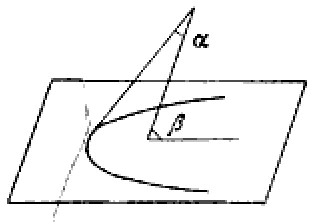


Рис. 7

куля подвижная ножка последовательно занимает положение всех прямолинейных образующих наклонного кругового конуса, осью которого служит неподвижная ножка. Поэтому карандаш циркуля описывает на горизонтальной плоскости линию пересечения конуса с этой плоскостью (рис. 7).

Нетрудно проверить, что при $\alpha < \beta$ коническое сечение является эллипсом, при $\alpha = \beta$ — параболой, а при $\alpha > \beta$ — гиперболой.

В разделе «Науки звезд», посвященном стереометрии, Бируни определяет куб, призму, прямой и наклонный цилиндры, конусы, конические сечения, сферу, сферические фигуры, пять правильных многогранников, большие и малые круги сферы, полюс и ось.

Куб, призму и прямой круговой цилиндр Бируни определяет по Евклиду. Затем он замечает, что «иногда основания цилиндра — не круги, а подобные равные фигуры» [1]. Определив (по Евклиду) прямой круговой конус, Бируни перечисляет пять конических сечений: треугольник, круг, эллипс, гиперболу, параболу. Далее он рассматривает пять правильных многогранников: первый из них «куб, обладающий шестью квадратами, это тело называется земляным. Второе, обладающее двадцатью треугольниками, называется водяным. Третье, обладающее восемью треугольниками, называется воздушным. Четвертое, обладающее четырьмя треугольниками, называется огненным. Пятое, обладающее двенадцатью пятиугольниками, называется небесным» [2]. Бируни имеет в виду, кроме куба, соответственно икосаэдр, октаэдр, тетраэдр и додекаэдр (названия тел — «земляное», «водяное», «воздушное», «огненное» и «небесное» восходят к определениям Платона. Платон считал, что атомы огня имеют форму тетраэдра, атомы земли — форму куба, атомы воздуха — форму октаэдра, атомы воды — форму икосаэдра, а весь мир в целом — форму додекаэдра). В переписке с Ибн Синой Бируни рассматривает тела вращения, имеющие «яйцевидную» или «чечевицеобразную» форму, т. е. вытянутые и сплюснутые эллипсоиды вращения.

Из стереометрических теорем, доказанных Бируни, отметим «теорему о трех перпендикулярах» в «Сферике» Бируни, где он указывает, что впервые эта теорема была доказана Ибн Ираком.

Приведя формулировку Ибн Ирака, Бируни дает собственное доказательство этой теоремы. Он рассматривает плоскости $ABCD$ и $EGCD$ (рис. 8). Из точки A опущены перпендикуляры AE на плоскость $EGDC$ и AD на линию CD. По обе стороны от точки D он откладывает два равных отрезка DC и DJ и проводит линии AC, AJ, EC и EJ. Так как углы ADC и ADJ — прямые, DC и DJ равны, а AD — общая для треугольников ADC и ADJ, то AC и AJ равны. Так как углы AEC и AEJ — прямые, а AE — общая для треугольников AEC и AEJ, то CE равны EJ. Поэтому стороны треугольника ECD равны соответственно сторонам треугольника EDJ и угол EDC равен углу EDJ [3].

Задаче проектирования сферы на плоскость Бируни

[1] «Канон Мас'уда», стр. 293.

[1] «Наука звезд», стр. 18.
[2] Там же, стр. 20.
[3] Рукопись библиотеки Сипахсалар (Тегеран), № 597, л. 164 об. (далее — «Сферика»).

посвятил специальный «Трактат о проектировании созвездий и изображении стран на плоскости» («Картографию»), основное содержание которого изложено в главе «О стоянках Луны» книги «Хронология». Некоторые виды проектирования сферы на плоскость он рассматривает и в «Астролябиях»; оно применялось для изображения звездного неба на тимпанах астролябий и при изображении земной поверхности на картах. На средневековом Востоке большей частью применялось проектирование сферы из одного ее полюса на экваториальную плоскость или

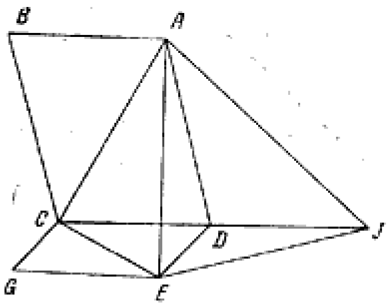


Рис. 8

плоскость, параллельную ей. Это так называемая стереографическая проекция, известная еще Гиппарху и Птолемею. Бируни называет ее «методом астролябии». При стереографической проекции окружности, не проходящие через центр проекции, изображаются окружностями, а проходящие через центр проекции — прямыми линиями, углы между окружностями сферы проектируются на плоскость в натуральную величину. Диаметрально противоположные точки сферы изображаются точками, получаемыми друг из друга комбинацией инверсии относительно круга, изображающего экватор сферы, и отражения от центра этого круга. Вращения небесной сферы изображаются на плоскости круговыми преобразованиями, переводящими пары точек указанного вида в пары точек того же вида, в частности повороты сферы вокруг ее оси изображаются поворотами плоскости вокруг точки.

Бируни описывает и более общий метод проектирования сферы на плоскость, предложенный его современником Сагани. В этом случае сфера проектируется из точки ее оси, не лежащей на ее поверхности, на одну из плоскостей, перпендикулярных оси. «Абу Хамид ас-Сагани перенес вершины конусов и поместил их внутри сферы

или вне ее на одной прямой с осью. Таким образом, большие круги сфер приняли форму прямых линий, кругов, эллипсов, парабол или гипербол. Никто раньше не чертил такой удивительной плоскости» [1].

Если центр проекции поместить внутри сферы и провести через него плоскость, перпендикулярную оси, то точки пересечения сферы с этой плоскостью перейдут при проектировании в бесконечно удаленные точки плоскости проекции. Окружности на сфере, пересекающие эту плоскость, перейдут в гиперболы, окружности на сфере, касающиеся этой плоскости, — в параболы, а окружности на сфере, не имеющие с этой плоскостью общих точек, — в эллипсы.

Если же центр проекции находится вне сферы, то проведенные из него к сфере касательные образуют конус, высекающий из плоскости проекции окружность. В этом случае все точки сферы проектируются на плоскость в виде точек самого этого круга, все круги сферы переходят в эллипсы.

Бируни предложил собственный метод — проекцию, которую он назвал «цилиндрической», т. е. параллельное проектирование сферы на плоскость вдоль оси этой сферы. Цилиндрическая проекция — предельный случай «совершенной проекции» Сагани, когда центр проекции удаляется в бесконечность. Вот как сам Бируни ее описывает: «Сюда же относится другой вид проекции, которую я назвал цилиндрической; до меня не дошло, чтобы кто-нибудь из представителей этой науки упоминал о ней раньше меня. Цилиндрическая проекция состоит в том, что через круги или точки на сфере проходят линии или плоскости, параллельные оси; таким образом, на плоскости дна получаются точки, прямые линии и эллипсы» [2].

Бируни предложил еще один вид проекции, удобный для изображения полусферы на плоскости. В этом случае меридиан, ограниченный полусферой, изображается окружностью, перпендикулярный ей меридиан и экватор — горизонтальным и вертикальным диаметрами этой окружности, шкалы градусов на этих трех окружностях небесной сферы изображаются в проекции равномерными шкалами на указанной окружности и ее диаметрах, остальные

[1] «Хронология», стр. 407.
[2] Там же, стр. 407—408.

меридианы и параллели изображаются дугами окружностей, строящимися по трем точкам. В современной науке такая проекция называется глобулярной.

Вопросам проектирования сферы на плоскость был посвящен также несохранившийся трактат Бируни «Совершенствование искусства проектирования на плоскость».

5. Тригонометрия

Среди областей математики, в которых работали ученые средневекового Востока, тригонометрия занимала особое место. Именно она явилась тем звеном, которое соединяло математику с ведущей естественной наукой того времени — астрономией и была связана с гномоникой — наукой о солнечных часах и теорией календаря. Проблемы тригонометрии в свою очередь стимулировали развитие других разделов математики, и в особенности методов приближенных вычислений.

Работы по тригонометрии, как и по математике вообще, ученые стран ислама начали с перевода и комментирования трудов своих предшественников. В конце VIII в. на арабский язык была переведена одна из индийских сиддхант, IX в. положил начало циклу переводов и комментариев «Алмагеста» Птолемея. Была переведена и «Сферика» Менелая, которая дошла до нас только в арабском переводе. Греческие математики составили таблицу хорд, индийцы заменили хорды синусами и ввели косинус и синус-версус. Математики стран ислама ввели новые тригонометрические величины, положили начало исследованию их свойств, нашли решение всех случаев плоских и сферических треугольников и составили многочисленные тригонометрические таблицы с высокой степенью точности, превратив тем самым тригонометрию в самостоятельную науку.

Математическое творчество Бируни связано со всеми разделами тригонометрии. Вопросы тригонометрии рассматривались и в «Каноне Мас'уда», и в «Науке звезд», и в «Хордах», а также в «Выделении сказанного о действиях с тенями» («Гномоника»), «Книге ключей науки астрономии о том, что происходит на поверхности сферы» («Сферика») и ряде не дошедших до нас трактатов.

Основы и методы тригонометрии наиболее компактно изложены в III книге «Канона Мас'уда» в форме обобщенных правил, сопровождаемых геометрическими доказательствами.

И предшественники Бируни, и его современники, следуя Птолемею, принимали радиус круга за 60 «частей» (диаметр соответственно за 120). Бируни первый систематически пользуется кругом единичного радиуса, что позволяет упростить вычисления. «Мы будем считать диаметр равным двум частям, а его половину назовем наибольшим синусом. Поэтому будем считать весь этот синус единицей, чтобы опускать действия умножения и деления на него и операции превращения в минуты и понижения на разряд, необходимые, если он — шестьдесят частей» [1].

Математики стран ислама применяли две группы тригонометрических величин: 1) синус, косинус и синус-версус [2], которые они рассматривали как линии в круге, и 2) тангенс, котангенс, секанс и косеканс, которые первоначально не были связаны с кругом, а рассматривались в гномонике как стороны прямоугольного треугольника. Если задана высота вертикального шеста-гномона, то отношение отбрасываемой им тени к этой высоте меняется в зависимости от высоты Солнца [3].

Обе группы представлений отражают соответственно влияние греческой и индийской научных традиций. Определение всех тригонометрических величин как линий в круге — большое достижение математиков средневекового Востока.

Бируни одним из первых перешел к определению всех шести тригонометрических линий единообразно в круге.

Приведем некоторые из его определений.

Синус — «половина хорды, удвоенной дуги, или, если хочешь, перпендикуляр, опущенный из одного конца дуги на диаметр, проходящий через другой конец дуги». Синус-версус («обращенный синус») — «стрела удвоенной дуги, или, если хочешь, линия между началом дуги и концом ее синуса» [4].

---

[1] «Канон Мас'уда», стр. 305.

[2] Косинус они называли «синусом дополнения», а синус-версус, т. е. $1 - \cos\alpha$, — «обращенным синусом» и «стрелой».

[3] С понятиями гномоники связаны и названия соответствующих величин: «плоская» и «обращенная» тени (котангенс и тангенс), «диагонали (диаметры) плоской и обращенной теней» (косеканс и секанс).

[4] «Наука звезд», стр. 5.

Однако в определении второй группы величин еще сильно сказывается влияние представлений гномоники. Вот как Бируни вводит, например, тангенс и котангенс. Пусть на рис. 9 ABC — круг небесной сферы, проходящий через зенит и Солнце (вертикал Солнца), которое находится на ней в точке X. Пусть на поверхности Земли установлены вертикальный и горизонтальный гномоны. Так как радиусом Земли в силу его малости по сравнению с радиусом

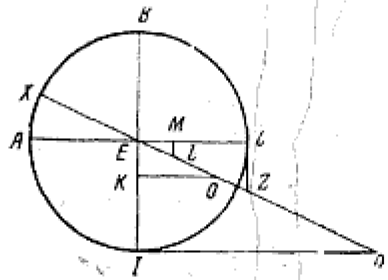


Рис. 9

небесной сферы можно пренебречь, то гномоны можно считать установленными в центре Земли, и тогда KO и ML — «плоская» и «обращенная» тени, т. е. линии котангенса и тангенса. Наконец, считая высоту гномона равной радиусу круга, Бируни рассматривает «тени» как отрезки касательных к кругу JP и CZ, т. е. как линии в тригонометрическом круге. Мы видим, что Бируни не отрывает еще окончательно понятия «тени» от представлений гномоники. Под дугой круга, для которой он определяет тригонометрические линии, он понимает высоту Солнца.

В IX—XI разделах «Гномоники» и в III книге «Канона Мас'уда» Бируни приводит правила, в которых формулируются соотношения между тригонометрическими функциями, равносильными формулам

$$\operatorname{cosec}^2 \alpha = \operatorname{ctg}^2 \alpha + 1, \qquad \frac{1}{\operatorname{cosec} \alpha} = \sin \alpha,$$

$$\sec^2 \alpha = \operatorname{tg}^2 \alpha + 1, \qquad \frac{1}{\sec \alpha} = \cos \alpha,$$

$$\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \operatorname{ctg} \alpha, \qquad \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\operatorname{cosec} \alpha} = \cos \alpha,$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha, \qquad \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha}.$$

При доказательстве этих правил, помимо известных геометрических соотношений (теорема Пифагора, подобие

треугольников), широко применяется теорема синусов плоской тригонометрии.

В III книге «Канона Мас'уда» Бируни доказывает правила, равносильные формулам синуса суммы и разности дуг и удвоенной и половинной дуг. Следуя традициям составителей зиджей, Бируни формулирует эти правила не для синусов, а для хорд. Напомним, что хорда дуги α, которую мы будем обозначать crd α, равна удвоенной линии синуса дуги $\alpha/2$, т. е. $\operatorname{crd} \alpha = 2 \sin \alpha/2$.

Для определения хорд a и b, суммы и разности дуг α и β ($\alpha > \beta$) Бируни находит хорды a' и b' дуг $180° - \alpha$ и $180° - \beta$, а затем вычисляет величины

$$a^2 \pm \left(\frac{ab}{2r}\right)^2 \text{ и } (a')^2 \pm \left(\frac{a'b'}{2r}\right)^2 \ (r \text{ — радиус круга}).$$

Правило Бируни имеет вид

$$\operatorname{crd}(\alpha \pm \beta) = \sqrt{a^2 \pm \left(\frac{ab}{2r}\right)^2}$$

и равносильно современной формуле

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta.$$

При $\alpha = \beta$ оно переходит в правило

$$\operatorname{crd} 2\alpha = 2\sqrt{a^2 - \left(\frac{a^2}{2r}\right)^2},$$

равносильное формуле

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha.$$

Доказательство этих правил основано на применении теоремы Архимеда о ломаной (см. стр. 50).

Для определения хорды половины дуги Бируни применяет правило

$$\operatorname{crd} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{2r - a'}{2}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{2}(2r - a') \cdot 2r}$$

для заданной хорды a дуги α, равносильное формуле

$$\sin \frac{\alpha}{4} = \sqrt{\frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{2}}$$

Обобщая все эти правила, Бируни излагает далее метод «определения хорды четверти дуги с известной хордой и хорд одной восьмой и того, что получается при дальнейшем делении пополам» («правило раздвоения»)[1].

Его рассуждения можно представить следующим образом: если a — данная хорда дуги α, a' — хорда ее дополнения и

$$A_1 = \frac{a}{2},\ A_2 = \frac{1}{2}(2r - a'),$$

$$A_3 = \frac{1}{2}a_1 \quad \left(\text{где } a_1 = \operatorname{crd}\frac{\alpha}{2}\right),$$

$$A_4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{a_1 \cdot A_2}{a_1 + A_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2A_3 \cdot A_2}{2A_3 + A_1},$$

$$A_5 = \frac{1}{2} \cdot a_2 \left(\text{где } a_2 = \frac{\alpha}{4}\right),$$

$$A_6 = \frac{1}{2}\frac{a_2 \cdot A_4}{a_2 + a_3} = \frac{1}{2}\frac{2A_5 \cdot A_4}{2A_5 + A_3}$$

(все A_i Бируни называет «запоминаемыми»), то правила определения хорд $\frac{\alpha}{4}$ и $\frac{\alpha}{8}$ можно записать в виде $\operatorname{crd}\frac{\alpha}{4} = a_2 = \sqrt{A_4 \cdot 2r}$ и $\operatorname{crd}\frac{\alpha}{8} = a_3 = \sqrt{A_6 \cdot 2r}$, равносильном формулам $\sin\frac{\alpha}{8} = \sqrt{\frac{1-\cos\frac{\alpha}{4}}{2}}$ и $\sin\frac{\alpha}{16} = \sqrt{\frac{1-\cos\frac{\alpha}{8}}{2}}$. При доказательстве этих правил Бируни пользуется свойствами подобных треугольников и производных пропорций.

Далее он замечает: «То, что следует за этим, определяется с помощью такого же действия, что и дуга четверти [данной]»[2], т. е. в общем случае для определения $\operatorname{crd}\frac{\alpha}{2^k}$ пользуется рекуррентным правилом

$$A_{2k} = \frac{1}{2}\frac{2A_{2k-1} \cdot A_{2k-2}}{2A_{2k-1} + A_{2k-3}},$$

где A_{2k-3} — половина $\frac{1}{2^{k-2}}$-й доли данной дуги. Если

[1] «Канон Мас'уда», стр. 262.
[2] Там же, стр. 282.

перейти от хорд к синусам, это правило имеет вид

$$A_{2k} = \frac{1}{2}\frac{2r \cdot \sin\frac{\alpha}{2^k} \cdot A_{2k-2}}{2r\sin\frac{\alpha}{2^k} + A_{2k-3}},$$

где
$$A_{2k-3} = \operatorname{crd}\frac{\alpha}{2^{k-2}} = r\sin\frac{\alpha}{2^{k-1}},$$

т. е.
$$\operatorname{crd}\frac{\alpha}{2^k} = \sqrt{A_{2k}\,2r} = 2r\sqrt{\frac{1-\cos\frac{\alpha}{2^k}}{2}} = $$

$$= 2r\sin\frac{\alpha}{2^{k+1}},$$

что равносильно современным формулам

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{2+2\cos\alpha},$$

$$\sin\frac{\alpha}{4} = \frac{1}{2}\sqrt{2-\sqrt{2+2\cos\alpha}},$$

$$\sin\frac{\alpha}{8} = \frac{1}{2}\sqrt{2-\sqrt{2+\sqrt{2+2\cos\alpha}}},\ \ldots$$

Обращаясь к составлению тригонометрических таблиц, Бируни отходит от античной традиции и переходит от «тригонометрии хорд» к «тригонометрии синусов и теней». Таблица синусов составлена на основе определения хорды и синуса 1°, методы вычисления которых он делит на две группы: традиционные интерполяционные приемы и более совершенные способы, основанные на решении кубических уравнений и трисекции угла.

К первой группе он относит излагаемые в «Каноне Мас'уда» методы Птолемея и астронома IX в. Я'куба Сиджизи. Бируни отмечает, что эти способы дают совпадение только до секунд, и предлагает собственный способ «уточнения Птолемея», основанный на замене хорд малых дуг самими дугами. Бируни считает это вполне допустимым, так как «имеются такие мелкие деления круга, которые не отличаются от их хорд»[1].

[1] «Канон Мас'уда», стр. 332.

Уточнение Бируни состоит в применении интерполяционного приема, основанного на неравенствах

$$\operatorname{crd}\alpha = \operatorname{crd}\left[\frac{3}{2}\alpha - \frac{1}{3}\left(\frac{2}{3}\alpha\right)\right] > \\ > \operatorname{crd}\frac{3}{2}\alpha - \frac{1}{3}\operatorname{crd}\frac{3}{2}\alpha,$$

$$\operatorname{crd}\alpha = \operatorname{crd}\left[\frac{3}{4}\alpha + \frac{1}{3}\left(\frac{3}{4}\alpha\right)\right] < \\ < \operatorname{crd}\frac{3}{4}\alpha + \frac{1}{3}\operatorname{crd}\frac{3}{4}\alpha,$$

$$\operatorname{crd}\frac{1}{2}\alpha = \operatorname{crd}\left[\frac{3}{4}\alpha - \frac{1}{3}\left(\frac{3}{4}\alpha\right)\right] > \\ > \operatorname{crd}\frac{3}{4}\alpha - \frac{1}{3}\operatorname{crd}\frac{3}{4}\alpha,$$

$$\operatorname{crd}\frac{1}{2}\alpha = \operatorname{crd}\left[\frac{3}{8}\alpha + \frac{1}{3}\left(\frac{3}{8}\alpha\right)\right] < \\ < \operatorname{crd}\frac{3}{8}\alpha + \frac{1}{3}\operatorname{crd}\frac{3}{8}\alpha,$$

. . . .

. . . .

т. е.

$$\operatorname{crd}\frac{3}{2}\alpha - \frac{1}{3}\operatorname{crd}\frac{3}{2}\alpha < \operatorname{crd}\alpha < \operatorname{crd}\frac{3}{4}\alpha + \frac{1}{3}\operatorname{crd}\frac{3}{4}\alpha$$

$$\operatorname{crd}\frac{3}{4}\alpha - \frac{1}{3}\operatorname{crd}\frac{3}{4}\alpha < \operatorname{crd}\frac{\alpha}{2} < \operatorname{crd}\frac{3}{8}\alpha + \frac{1}{3}\operatorname{crd}\frac{3}{8}\alpha$$

$$\operatorname{crd}\frac{3}{8}\alpha - \frac{1}{3}\operatorname{crd}\frac{3}{8}\alpha < \operatorname{crd}\frac{\alpha}{4} < \operatorname{crd}\frac{3}{16}\alpha + \frac{1}{3}\operatorname{crd}\frac{3}{16}\alpha$$

. . . .

Эти неравенства дают для хорды $\alpha = 1^\circ$ границы с точностью до терций.

Приведем изложенный Бируни способ определения $\sin 1^\circ$ с помощью трисекции угла 3° методом «вставки». Пусть дуга AB равна 3° (рис. 10), дуга $AG = {}^1/_3 AB$. «Вставкой» служит линия DH с отмеченными на ней точками G и K. Бируни проводит хорду BD параллельно диаметру AC и из D радиусом KD описывает дугу LKM. Тогда $GH = KG = r$, а отношение площадей секторов DLK и DKM равно $2:1$. Так как площадь треугольника DEK

больше площади сектора DLK, а площадь треугольника DKO меньше площади сектора DKM, то

$$\frac{S_{\text{сект.}}\, DEK}{S_{\text{тр.}}\, DKO} > 2.$$

Так как $\frac{S_{\text{сект.}}\, DEK}{S_{\text{тр.}}\, DKO} = \frac{EK}{KO}$, то $\frac{EK}{KO} > 2$.

Пользуясь «присоединением отношений», Бируни приходит к неравенству

$$\frac{EK + KO}{KO} = \frac{EO}{KO} > 3$$

$$EO = \frac{1}{2}\operatorname{crd} 2AB = \frac{1}{2}\operatorname{crd} 6^\circ;$$

$$OD = \frac{1}{2}\operatorname{crd}(180^\circ - 2AB).$$

Дальнейшие рассуждения основаны на приближенном равенстве $EO \approx 3KO$: «Возьмем из численной величины EO [число], меньшее ее трети, пусть это KO, величина, на которую она меньше, неизвестна заранее, но мы подберем ее так, чтобы результат был правильным» [1], т. е. величину разности $EO - 3KO$ Бируни выбирает так, что погрешность вычислений может быть сделана сколь угодно малой. Определив $KD = \sqrt{KO^2 + OD^2}$ и перейдя с помощью «присоединения отношений» от отношения $\frac{EK}{KO} = \frac{KH}{KD}$, к пропорции $\frac{EK + KO}{KO} = \frac{KH + KD}{KD}$, т. е. $\frac{EO}{KO} = \frac{DH}{KD}$, Бируни приходит к равенству $EO \cdot KD = OK \cdot DH$. Отдавая дань античной традиции, Бируни называет здесь произведения $EO \cdot DK$ и $OK \cdot DH$ «плоскими фигурами». В частном случае, если эти «плоские фигуры» равны, приближенное равенство для OK выбрано удовлетворительно. «Если же они различны,— продолжает Бируни,— то добавим величину, недостающую по сравнению с третью EO, или добавим то, что необходимо для того, чтобы эти произведения были равны или чтобы одно из этих двух произведений в случае их неравенства было бы меньше другого на части, незначительные по сравнению с тем, чем пользуются» [2].

[1] «Канон Мас'уда», стр. 298.
[2] Там же, стр. 299.

Бируни требует здесь такую степень приближения, при которой неточность должна быть меньше величин, учитывающихся при вычислениях. Если определить $EK = OE - OK$, величину перпендикуляра GX, опущенного на HE и равного половине EK, и учесть, что $GX = {}^1/_2 \operatorname{crd} GB = {}^1/_2 \operatorname{crd} {}^2/_3 AB = {}^1/_2 \operatorname{crd} 2AG$, то с помощью правила раздвоения можно получить $\operatorname{crd} {}^1/_2 GB = \operatorname{crd} AG$, т. е. хорду 1°.

Предполагая, что величины произведений $EO \cdot DK$ и $OK \cdot HD$ совпадают с точностью до секст, Бируни полу-

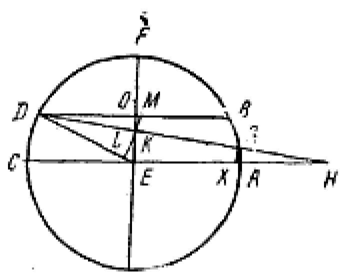


Рис. 10

чает для AG, т. е. хорды 1°, значение $0°1^{I}\ 2^{II}\ 49^{III}\ 51^{IV}\ 48^{V}$, которое отличается от результата, полученного с помощью приближенного решения кубического уравнения, только в квинтах.

Погрешность вычислений в рассмотренных методах у предшественников Бируни и в его собственном «уточнении» Птолемея зависит от исходных значений выбранных хорд или синусов, так что они не образуют последовательности приближений, сходящихся к точному значению искомой величины. Примененный же им способ вычисления $\sin 1°$ с помощью трисекции угла и приведенный выше итерационный прием вычисления хорды 40°,— по-видимому, первые в истории математики Ближнего и Среднего Востока примеры последовательных приближений, в которых погрешность может быть сделана сколь угодно малой.

Таблица синусов Бируни составлена исходя из полученного значения синуса 1°. «Разделим один градус пополам два раза, определив хорду трети дуги с известной хордой — хордой трех четвертей градуса, получаемых повторным делением пополам трех градусов, хорда кото-

Таблица синусов *

Градусы	Минуты	Синусы				Поправки				Разности		
Строка дуговых чисел		минуты	секунды	терции	кварты	минуты	секунды	терции	кварты	секунды	терции	кварты
0	15	0	15	42	28	1	2	49	52	15	42	28
0	30	0	31	24	56	1	2	49	40	15	42	25
0	45	0	47	7	21	1	2	49	28	15	42	22
1	0	1	2	42	43	1	2	49	12	15	42	18
1	15	1	18	32	1	1	2	48	48	15	42	12
1	30	1	34	14	13	1	2	48	24	15	42	6

* «Канон Мас'уда», стр. 308.

Таблица теней *

Строка дуговых чисел	Тени					Разности					Поправки				
	градусы	минуты	секунды	терции	кварты	градусы	минуты	секунды	терции	кварты	градусы	минуты	секунды	терции	кварты
1	0	1	2	50	17	0	1	2	52	36	0	0	0	2	19
2	0	2	5	42	53	0	1	2	57	12	0	0	0	4	36
3	0	3	8	40	5	0	1	3	4	7	0	0	0	6	55
4	0	4	11	44	12	0	1	3	13	21	0	0	0	9	14
5	0	5	14	57	33	0	1	3	24	58	0	0	0	11	37
6	0	6	18	22	31	0	1	3	38	57	0	0	0	13	59

* «Канон Мас'уда», стр. 341.

рых известна. Хорда трети этого — [хорда] четверти градуса. Остановимся на ней в качестве основы разностей и запишем синусы [дуг] с разностями в четверть градуса»[1]. Таким образом, таблица синусов содержит значения $\sin\alpha$ через 15 минут с четырьмя шестидесятиричными знаками.

Приведем здесь первые шесть строк таблицы синусов Бируни (см. стр. 67).

По этой же таблице Бируни предлагает определять и «стрелу дуги», т. е. $\sin\operatorname{vers}\alpha = 1 = \cos\alpha$. Кроме значений $\sin\alpha$, в таблице приведены «поправки», т. е. произведения разностей двух последующих значений функции на 4, что в шестидесятиричной системе равносильно делению на 15, и «разности поправок». Бируни формулирует правило нахождения $\sin\alpha$ и $\sin\operatorname{vers}\alpha$ с помощью таблицы для значений аргумента, промежуточных между приведенными в таблице, и правила обратных действий. Каждое из правил состоит из двух частей: «определения» и «уточнения определения», т. е. нахождения табличного значения и уточнения его с помощью линейного и квадратичного интерполирования.

Таблица тангенсов («обращенных теней») составлена через 1° аргумента. Приведем первые шесть строк и таблицы тангенсов (см. стр. 67).

В этой таблице, кроме значений $\operatorname{tg}\alpha$, приведены «разности» — разности двух последовательных значений и «поправки» — разности этих разностей. Приводятся также правила «определения» и «уточнения определения» котангенса и тангенса с помощью таблиц и интерполяции, аналогичные правилам для синусов.

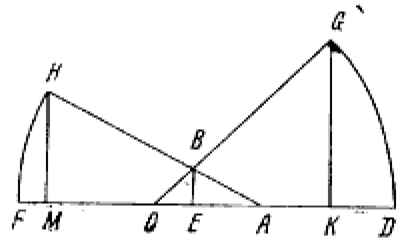
На средневековом Востоке плоская тригонометрия была развита гораздо слабее сферической. До X в. в решении плоских косоугольных треугольников применялись громоздкие элементарные способы. Такой треугольник делили обычно высотой на два прямоугольных, а затем применяли теорему Пифагора и правила гномоники. Этими способами пользовались для нахождения одной из сторон треугольника по двум данным и углу, противолежащему одной из них. К решению прямоугольных треугольников прибегали и в случае, когда заданы две стороны и угол между ними: вычислялись отрезки, отсекаемые высотой на одной из данных сторон, и сама высота. После

[1] «Канун Мас'уда», стр. 305.

этого из прямоугольного треугольника определяли третью сторону и еще один угол. Наконец, чтобы найти углы по трем данным сторонам, опускали на какую-либо сторону высоту и по теоремам Евклида о квадрате стороны, лежащей против острого или тупого угла, находили отсекаемые высотой отрезки.

В X в. в практику тригонометрических вычислений входит теорема о пропорциональности сторон и синусов противолежащих углов (плоская теорема синусов). Первое доказательство этой теоремы принадлежит Ибн Ираку.

Рис. 11



Второе известное нам доказательство содержится в III книге «Канона Мас'уда», однако формулировка этой теоремы имеется еще в «Хронологии». «Тому, кто изучал тригонометрию,— писал Бируни,— ясно, что отношение сторон треугольника равно отношению синусов противолежащих сторонам углов»[1].

Бируни продолжает стороны треугольника ABC (рис. 11), описывает дуги HF и GD окружностей единичного радиуса с центрами в его вершинах A и C, проводит высоту BE и опускает перпендикуляры HM и GK из концов дуг HF и GD на продолжения основания AC, которые являются линиями синусов углов A и C.

Доказательство основано на применении теории составных отношений.

Из пропорций $\frac{AB}{BE} = \frac{AH}{HM}$ и $\frac{BE}{BC} = \frac{GK}{GC}$ (треугольники ABE и AHM, CBE и CGK соответственно подобны $GC = AH$) с помощью составных отношений Бируни получает пропорцию $\frac{AB}{BE}\cdot\frac{BE}{BC} = \frac{AH}{HM}\cdot\frac{GK}{GC}$ или $\frac{AB}{BC} = \frac{GK}{HM} = \frac{\sin C}{\sin A}$[2].

[1] «Хронология», стр. 182.
[2] «Канон Мас'уда» стр. 346.

Разработке методов решения сферических треугольников математики средневекового Востока уделяли особое внимание: к ним сводилось большинство задач практической астрономии. Еще Птолемей решал четыре случая прямоугольных сферических треугольников: 1) по катетам, 2) катету и гипотенузе, 3) гипотенузе и прилежащему углу, 4) катету и противолежащему углу. К ним, разбивая их на прямоугольные, он сводил решения косоугольных сферических треугольников. Кроме того, он пользовался теоремой Менелая о трансверсалях, или, как ее часто

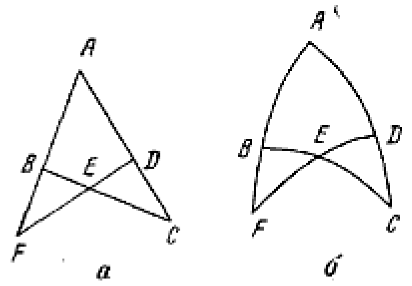


Рис. 12

называют, теоремой о полном четырехстороннике. Менелай рассматривал плоский и сферический полные четырехсторонники. Плоский полный четырехсторонник можно получить из произвольного четырехугольника продолжением каждой пары его противоположных сторон до пересечения (рис. 12, *а*); сферический полный четырехсторонник — аналогичная фигура, образованная на сфере дугами ее больших кругов (рис. 12, *б*). Восточные математики называли полный четырехсторонник «фигурой секущих». Плоская теорема Менелая в современных обозначениях имеет вид

$$\frac{AD}{CD}\cdot\frac{CE}{BE}\cdot\frac{BF}{AF}=1 \text{ и } \frac{AD}{CA}\cdot\frac{BC}{BE}\cdot\frac{EF}{DF}=1.$$

Математики Ближнего и Среднего Востока формулировали эти соотношения с помощью составных отношений

$$\frac{CD}{AD}=\frac{CE}{BE}\cdot\frac{BF}{AF} \quad \text{и} \quad \frac{AC}{AD}=\frac{CB}{BE}\cdot\frac{EF}{FD}.$$

Сферическую теорему Менелая можно получить из плоской заменой каждого отрезка хордой удвоенной дуги,

т. е. если перейти от хорд к синусам, в виде

$$\frac{\sin AD}{\sin CD}\cdot\frac{\sin CE}{\sin BE}\cdot\frac{\sin BF}{\sin AF}=1 \text{ и } \frac{\sin AD}{\sin CA}\cdot\frac{\sin BC}{\sin BE}\cdot\frac{\sin BE}{\sin DF}=1$$

или в виде составных отношений

$$\frac{\sin CD}{\sin AD}=\frac{\sin CE}{\sin BE}\cdot\frac{\sin BF}{\sin AF} \tag{*}$$

и

$$\frac{\sin CA}{\sin AD}=\frac{\sin BC}{\sin BE}\cdot\frac{\sin EF}{\sin DF}. \tag{**}$$

«Фигура секущих» в этом случае образована из нескольких сферических треугольников. Птолемей, применяя эту теорему, рассматривал случаи $AC = DF = CB = 90°$ и $CD + DA = CE + EB = AF = 90°$. В обоих случаях точка C — полюс большого круга AF, дуги AC и CB перпендикулярны дуге AB и EBF — прямоугольный с прямым углом B. Поэтому в первом случае формула (**) имеет вид

$$\frac{\sin 90°}{\sin F}=\frac{\sin EF}{\sin BE}.$$

Во втором формула (*) переходит в выражение $\operatorname{tg} BE = \operatorname{tg} F\cdot\sin BF$, представляющее собой запись сферической теоремы тангенсов. Для прямоугольного сферического треугольника ABC со сторонами a, b, c и прямым углом B она имеет вид

$$\operatorname{tg} a = \operatorname{tg} A\cdot\sin c.$$

Оба эти случая выделили в X в. Найризи и Абу-л-Вафа.

Существенным шагом в развитии тригонометрии было появление общей теоремы синусов сферической тригонометрии

$$\frac{\sin a}{\sin A}=\frac{\sin b}{\sin B}=\frac{\sin c}{\sin C},$$

которая была установлена в конце X в. Различные ее доказательства независимо друг от друга дали Абу-л-Вафа, Ходженди и Ибн Ирак.

История появления этой теоремы и выделения ее частных случаев подробно изложена в «Сферике» Бируни.

«Мой государь и избранник Абу Наср Мансур [Ибн Ирак],— пишет он,— попросил меня направить мои усилия для нахождения доказательства того, что подобно этому... Я сделал это» [1]. Со слов Бируни известно, что Ибн Ирак посвятил доказательству теоремы синусов, написанной «на имя» Бируни, специальный трактат — «Книгу азимутов». Бируни сообщает, что экземпляр этого сочинения он послал в Багдад Абу-л-Вафе, который в своем трактате и написанной позже обработке «Алмагеста» дал более простое доказательство одной из теорем «Книги

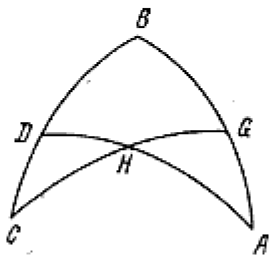


Рис. 13

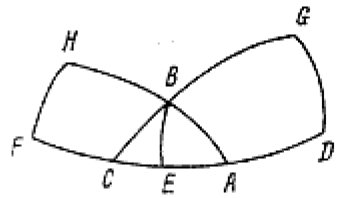


Рис. 14

азимутов» и рассмотрел многочисленные случаи ее приложения к задачам сферической астрономии. Далее он приводит формулировку и доказательство теоремы Ибн Ирака. «Пусть даны дуги AB и AD, каждая из которых — четверть круга, и дуги CB и CHG, каждая из которых меньше или больше четверти круга или точно четверть [круга]. Поэтому я утверждаю, что синус DH относится к синусу GB, как синус CH к синусу CG» [2] (рис. 13). $AB = AD = 90°$; поэтому углы B и D — прямые. Теорема Ибн Ирака — так называемое правило четырех величин — сводится к утверждению, что в двух прямоугольных сферических треугольниках ABC и $AB'C'$ с общим углом A и прямыми углами B и B' при дуге ABB' $\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin a'}{\sin b'}$ (оба эти отношения равны $\frac{\sin A}{\sin 90°}$, и теорема синусов следует из этого утверждения, если $b' = c' = 90°$; тогда дуга равна углу DE). Бируни сообщает далее, что познакомил с этой теоремой Ходженди и Кушьяра ибн Лаббана, которые изложили ее в своих астрономических сочинениях, первый под названием «правило астрономии», а второй — «предложение, освобождающее от фигуры секущих». Далее Бируни излагает доказательство общей сферической теоремы синусов, принадлежащее Ибн Ираку, приведенное в написанном «на имя» Бируни «Трактате об определении друг через друга небесных дуг способом, отличным от способа фигуры секущих и составного отношения».

[1] «Сферика», л. 163, об.
[2] Там же, л. 166 об.

В III книге «Канона Мас'уда» Бируни приводит собственное доказательство этой теоремы, которую он формулирует так: «В треугольниках, образованных дугами больших кругов, совершенно так же, как мы видели раньше в прямолинейных треугольниках, синусы этих дуговых сторон пропорциональны синусам углов, противолежащих этим сторонам» [1].

Вначале Бируни доказывает в качестве леммы частный случай этой теоремы для прямоугольного сферического треугольника. Затем он рассматривает произвольный сферический треугольник ABC, стороны которого не являются дугами больших кругов (рис. 14). Его стороны AB, AC и BC Бируни продолжает так, чтобы дуги AH, AF, CD и CG составляли по 90°, соединяет F с H и D с G, затем проводит дугу BE перпендикулярно AC. Согласно лемме

$$\frac{\sin AB}{\sin BE} = \frac{\sin AH}{\sin FH} = \frac{\sin 90°}{\sin FH} \quad \text{и} \quad \frac{\sin BE}{\sin BC} = \frac{\sin DG}{\sin GC} = \frac{\sin DG}{\sin 90°},$$

отсюда Бируни приходит к соотношению $\frac{\sin AB}{\sin BC} = \frac{\sin DG}{\sin FH} = \frac{\sin C}{\sin A}$, доказывающему теорему.

В «Каноне Мас'уда» он приводит и свое доказательство теоремы тангенсов $\operatorname{tg} b = \sin a \operatorname{tg} B$ для треугольника ABC с прямым углом C, в котором сферический треугольник сводится к полному четырехсторониику и применяется теорема Менелая [2].

В IV книге «Канона Мас'уда» Бируни определяет широту местности по правилу, равносильному второй сферической теореме тангенсов $\operatorname{tg} c = \operatorname{tg} a \cdot \cos B$, которое, однако, в общем виде не доказывает и применяет лишь как

[1] «Канон Мас'уда», стр. 353.
[2] Там же, стр. 326. Эта теорема доказывается и в «Гномонике» (стр. 138).

правило для решения конкретной астрономической задачи[1].

Основную теорему сферической тригонометрии — теорему косинусов

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

в общем виде как особое предложение Бируни не доказывает, но рассматривает две задачи сферической астрономии, правила решения которых равносильны ей.

В IV книге «Канона Мас'уда» он решает задачу, эквивалентную частному случаю этой теоремы для прямоугольника $\cos a = \cos b \cdot \cos c$ (сферическая теорема Пифагора[2]). Предшественники Бируни — Сабит ибн Корра и ал-Баттани — ограничились формулировкой этих правил. Бируни же дает им полное геометрическое доказательство. В то же время в других случаях, например в задаче об определении разности долгот двух населенных пунктов по их широтам и расстоянию между ними, он не применяет этого правила, а сводит задачу к решению двух прямоугольных сферических треугольников.

Таким образом, Бируни, как, впрочем, и представители последующих поколений математиков средневекового Востока, не придал значения этому соотношению и не выделил теорему косинусов в качестве одного из методов решения сферических треугольников, как это было сделано для теорем синусов и тангенсов.

Сферическая теорема косинусов была доказана в общем виде впервые в XV в. немецким математиком и астрономом Региомонтаном. Чертеж Региомонтана, совпадающий с чертежом Бируни, свидетельствует о том, что Региомонтан отправлялся от той же задачи, с которой он познакомился по труду ал-Баттани (чем и объясняется название этой теоремы: — «теорема Альбатегния»; сочинения Бируни не были известны Региомонтану).

Сферической тригонометрии посвящены еще несколько трактатов Бируни: «Книга жемчужин о поверхности сфер», «Письмо к Абу Саиду» и «Книга о переносе свойств фигуры секущих на то, что освобождает от нее». В последней, не дошедшей до нас, рассматривалась, по-видимому, связь теоремы Менелая со сферическими теоремами синусов и тангенсов.

---

[1] «Канон Мас'уда», стр. 469.
[2] Там же, стр. 378.

6. Инфинитезимальные методы

Греческие математики, главным образом Архимед, разработали инфинитезимальные (интегральные и дифференциальные) методы, которые они применяли к таким проблемам, как вычисление площадей, объемов, поверхностей (методы исчерпывания и интегральных сумм), нахождение касательных и экстремумов (метод дифференциального треугольника).

Эти методы получили дальнейшее развитие на средневековом Востоке. Уже начиная с IX в. математики братья Бану Муса, Ибн Корра и его внук Ибн Синан, а также Ибн ал-Хайсам сумели, применив метод исчерпывания, получить оригинальным путем некоторые известные, а также новые результаты.

Творчество Бируни положило начало новому направлению инфинитезимальных исследований — развитию представления об общих свойствах соответствий двух и более групп величин, которое впоследствии привело к одному из важнейших понятий современной математики — понятию функции.

В основе подхода Бируни к изучению этих соответствий — функциональных зависимостей — лежит зародившееся в древне-вавилонской, греческой и индийской математике и развитое на Среднем и Ближнем Востоке представление об отдельных видах соответствий двух групп величин, заданных словесно, таблично или геометрически.

Бируни в отличие от своих предшественников впервые подошел ко всем рассматриваемым видам соответствий как к частным случаям некоторого общего математического понятия. Особенно наглядно видно это на формулируемых им в III книге «Канона Мас'уда» правилах линейного и квадратичного интерполирования.

Бируни привел эти правила для таблиц синусов и тангенсов. Первое из них он назвал «определением», а второе — «уточнением определения». Вот как сформулированы им правила для таблицы синусов.

«Определение синуса по дуге с известным начертанием. Если мы хотим определить это, войдем с приведенной дугой в строку дуговых чисел, найдем в ней равное этой дуге и возьмем то, что находится против этой дуги в столбце синусов. Это и будет искомый синус. Если же в строке дуговых чисел нет равного нашей дуге, ищем в этой строке ближайшее меньшее ее, вычтем это из данной дуги и запомним то, что находится против нее в столбце синусов и поправок. Далее умножаем остаток дуги на поправку и прибавляем произведение к запоминаемому. Получится синус нашей дуги, а это и есть искомое.

Уточнение определения синусов. Возьмем синус, соответствующий дуге в строке [дуговых] чисел, ближайшей к нашей дуге, и запомним его. Возьмем разность, находящуюся против него в строке разностей, и разность над ней, т. е. предшествующую ей, затем умножим разность между двумя взятыми разностями на то, что у нас осталось от дуги, а затем на четыре минуты, далее вычтем полученное из предыдущей [разности] и снова умножим остаток на остаток дуги, а затем снова на четыре минуты. Прибавим произведение к взятому нами синусу, который мы запомнили. Тогда сумма будет уточненным искомым синусом данной дуги»[1].

В первом из этих правил Бируни излагает метод линейного интерполирования — замены рассматриваемой функции линейной, принимающей в двух точках данные значения, т. е. отрезок кривой графика функции между двумя точками заменяется отрезком прямой. Правило Бируни можно записать в виде формулы

$$f(x) = f(x_0) + (x - x_0)\frac{f(x_0+h) - f(x_0)}{h},$$

равносильной пропорции

$$\frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} = \frac{f(x_0+h) - f(x_0)}{h}.$$

В данном случае $f(x) = \sin x$, $h = 15'$.

Аналогичные правила он формулирует и для таблицы тангенсов. В этом случае $f(x) = \operatorname{tg} x$, $h = 1°$. Далее следуют их доказательство и геометрическая интерпретация.

«Правило уточнения» равносильно формуле

$$f(x) = f(x_0) + (x - x_0)\frac{f(x_0) - f(x_0 - h)}{h} + \\ + (x - x_0)^2 \frac{\dfrac{f(x_0+h) - f(x_0)}{h} - \dfrac{f(x_0) - f(x_0-h)}{h}}{h}.$$

[1] «Канон Мас'уда», стр. 326—327.

Для таблицы синусов правило Бируни можно записать в виде

$$\sin x = \sin x_0 + (x - x_0)\cdot 4'[\sin x_0 - \sin(x_0 - 15')] + \\ + (x - x_0)\cdot 4'\{[\sin(x_0 + 15') - \sin x_0] - [\sin x_0 - \sin(x_0 - \\ - 15')]\},$$

а для таблицы тангенсов в виде

$$\operatorname{tg} x = \operatorname{tg} x_0 + (x - x_0)[\operatorname{tg} x_0 - \operatorname{tg}(x_0 - 1)] + (x - x_0)\times \\ \times\{[\operatorname{tg}(x_0 + 1) - \operatorname{tg} x_0] - [\operatorname{tg} x_0 - \operatorname{tg}(x_0 - 1)]\}.$$

Это правило отличается от правила параболического интерполирования, т. е. замены функции квадратным трехчленом, принимающим данные значения в трех точках, т. е. замены графика функции между двумя крайними точками дугой параболы с вертикальной осью, отсутствием знаменателя 2 в третьем члене. «Уточнение» Бируни обладает ошибкой, равной по абсолютной величине и противоположной по знаку ошибке правила линейного интерполирования по сравнению с параболическим.

И в правило Бируни, и в правило параболического интерполирования входят выражения

$$\frac{f(x_0+h) - f(x_0)}{h}$$

и

$$\frac{\dfrac{f(x_0+h) - f(x_0)}{h} - \dfrac{f(x_0) - (f(x_0-h)}{h}}{h},$$

числители которых — разности первого и второго порядков, $\Delta f(x)$ и $\Delta^2 f(x)$. Обозначив приращение аргумента h через Δx, мы можем записать эти выражения в виде $\frac{\Delta f(x)}{\Delta x}$ и $\frac{\Delta^2 f(x)}{\Delta x^2}$.

Первое из них, которое Бируни называет «поправкой», представляет собой приближенное значение производной $f'(x_0)$, а второе — приближенное значение второй производной $f''(x_0)$. Если в правиле параболического интерполирования заменить приближенные значения первой и второй производных их точными значениями, мы получим первые три члена ряда Тейлора

$$(x) = f(x_0) + (x - x_0)f'(x_0) + {}^1/_2\,(x - x_0)^2 f''(x_0) + \ldots$$

Если произвести ту же замену в правиле Бируни, получится выражение, отличающееся от первых трех членов ряда Тейлора отсутствием коэффициента $^1/_2$ перед третьим членом.

Линейное интерполирование было общепринято при составлении тригонометрических и астрономических таблиц со времен Птолемея. Относительно же правила квадратичного интерполирования Бируни замечает: «Впервые это сделали мы»[1].

Известно, что квадратичное интерполирование встречается у китайских астрономов VII в. Лю Хо и Ли Чунфена, которые пользовались им в календарных расчетах. Однако их методы на Ближнем и Среднем Востоке не были известны. В индийской математике интерполирование тригонометрических таблиц встречается только в XII в. Среди математиков стран ислама Бируни был, по-видимому, *первым кто ввел* квадратичное интерполирование в вычислительную практику.

Вслед за этим Бируни формулирует аналогичное предыдущим правилам «Обобщение действия уточнения на все таблицы», указывая, что «это уточнение возможно и для всех таблиц по общему правилу»[2]. Хотя это, очевидно, умозрительное, правило оказалось менее точным, чем параболическое интерполирование, важность связанных с ним рассуждений состоит в том, что Бируни считает его универсальным для всех известных ему тригонометрических и астрономических таблиц («всех таблиц») и связывает с общими свойствами определенного класса непрерывных и монотонных функций.

И действительно, сформулировав его однажды и применив к таблицам синусов и тангенсов, Бируни больше не приводит его на протяжении всего «Канона Мас'уда», хотя рассматривает многие функциональные зависимости, таблицы которых приведены в астрономических главах «Канона».

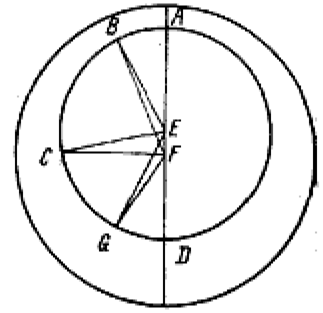
С подходом к изучению «всех таблиц» связан прием, которым Бируни пользуется для характеристики непрерывности и монотонности функциональных зависимостей сферической астрономии и их экстремумов. Он определяет интервал изменения аргумента и функции, знаки функции (называя их «сторонами»), точки экстремумов,

---

«Канон Мас'уда», стр. 282.
Там же, стр. 353.

делает попытку геометрической интерпретации возрастания и убывания функции в заданном интервале изменения ее аргумента. *Для исследования свойств функций двух* и более аргументов Бируни пользуется приемом, близким к принятым в математическом анализе, полагая поочередно постоянным каждый из аргументов. По существу он изучает поведение функции в окрестности точек экстремумов с помощью убывающих и возрастающих последовательностей разностей первого и второго порядков $\Delta f(x)$, $\Delta^2 f(x)$ и близких значений функции, которые сопоставляет с постоянным приращением аргумента Δx. При определении значения функций в точках экстремумов Бируни говорит об «исчезновении разностей», т. е. обращении $\Delta f(x)$ в ноль.

Рис. 15



Наиболее последовательно он применяет «метод разностей» при изучении видимого неравномерного движения Солнца по эклиптике в VI книге «Канона Мас'уда».

Согласно эксцентрической гипотезе Птолемея неравномерность видимого движения Солнца по небесной сфере объясняется тем, что оно движется равномерно по некоторому кругу, расположенному в плоскости эклиптики (плоскости видимого движения Солнца), но эксцентрично к ней. На рис. 15 ABC — эксцентричный круг, E — его центр, F—центр мира (центр Земли), A — апогей Солнца, D — его перигей, B — одно из положений Солнца. Угол EBF называется «уравнением Солнца».

Вначале Бируни доказывает три теоремы о свойствах этого уравнения: 1) оно максимально, когда Солнце находится на перпендикуляре, восстановленном в точке F к линии AD, т. е. в точке C на рис. 15; 2) если на эксцентрическом круге от апогея и перигея отложить равные дуги AB и DG, то уравнение в B всегда меньше уравнения в G; 3) если на том же круге по разные стороны от произвольной точки B отложить равные дуги, то дуга, расположенная ближе к апогею, видна из точки F под меньшим углом, чем дуга, расположенная ближе к перигею. Так как Солнце проходит равные дуги эксцентрической орбиты за равные промежутки времени, а мы наблюдаем его из точки, которую можно отождествить с центром эклиптики F, это означает, что вблизи перигея Солнце движется быстрее, чем вблизи апогея.

«Если дело обстоит таким образом,— писал Бируни,— то ясно, что замедление [движения Солнца по эклиптике] происходит по обе стороны от апогея и предел замедления в нем. Затем замедление уменьшается и переходит в ускорение, предел которого — в перигее. Далее ускорение уменьшается и переходит в замедление по обе стороны от него, так как замедление и ускорение происходят в соответствии с увеличением и уменьшением разностей уравнений»[1].

Опираясь на доказанную теорему о максимуме уравнения, Бируни делал вывод, что «замедление движения [Солнца по эклиптике] в апогее переходит в его ускорение в перигее только после того, как оно проходит через равенство его и среднего [движения] в месте наибольшего угла уравнения, так как превышение [скорости] вокруг него не воспринимается ощущением, ибо разность [уравнений] начинает уменьшаться от апогея до этого упомянутого места, как бы исчезает в нем, а затем увеличивается до тех пор, пока Солнце не достигнет перигея»[2].

Рассуждения Бируни можно представить следующим образом. Неравномерное движение Солнца по эклиптике он рассматривает в виде $\lambda(t) = \overline{\lambda}(t) \pm \theta(t)$ или $\lambda(t) = \omega t \pm \theta(t)$, где ω — постоянная угловая скорость Солнца в его равномерном движении по эксцентрическому кругу, а $\theta(t)$ — уравнение Солнца. Поэтому перемещение $\Delta\lambda$ Солнца в его движении по эклиптике («истинное движение») связано с его перемещением $\Delta\overline{\lambda}$ в равномерном

[1] «Канон Мас'уда», стр. 666.
[2] Там же, стр. 667.

движении по эксцентрическому кругу («средним движением») зависимостью $\Delta\lambda(t) = \Delta\overline{\lambda}(t) \pm \Delta\theta(t)$ или $\Delta\lambda = \omega\Delta t \pm \Delta\theta(t)$ и ускорение или замедление неравномерного движения Солнца относительно равномерного определяются величиной и знаком $\Delta\theta(t)$. Поэтому неравномерность движения Солнца по эклиптике Бируни изучает с помощью разностей значений уравнения в концах равных дуг эксцентрического круга. По существу он рассматривает последовательность равных конечных дуг эксцентрического круга $\Delta_0\overline{\lambda} = \Delta_1\overline{\lambda} = \Delta_2\overline{\lambda} = \ldots$, проходимых за равные интервалы времени $\Delta_0 t = \Delta_1 t = \Delta_2 t = \ldots$, с которыми сопоставляются возрастающая последовательность конечных дуг эклиптики $\Delta_0\lambda < \Delta_1\lambda < \Delta_2\lambda < \ldots$ и последовательности соответствующих значений $\Delta_i\theta$, убывающая (т. е. $\Delta_0\theta > \Delta_1\theta > \Delta_2\theta > \ldots$) при движении Солнца от апогея к точке максимума уравнения и возрастающая (т. е. $\Delta_0\theta > \Delta_1\theta > \Delta_2\theta > \ldots$) при его дальнейшем движении к перигею.

Свое рассуждение Бируни распространяет на сколь угодно малые дуги $\Delta\overline{\lambda}$. При перемещении Солнца в окрестности точки максимума $\theta(t)$ $\Delta\theta$ переходит от убывания к возрастанию, обращаясь в нуль в самой этой точке. В ней $\Delta\lambda = \omega t$, т. е. «истинное движение» Солнца совпадает со «средним движением». При перемещении Солнца в окрестности апогея и перигея $\Delta\theta$ возрастает по абсолютной величине, принимая экстремальные значения в самих этих точках. В них $\Delta^2\theta$ обращается в нуль, а $\theta(t)$ меняет знак. Таким образом, апогей и перигей являются точками перегиба функции $\theta(t)$.

Говоря, что разность уравнений, убывая и возрастая в окрестности точки максимума уравнения, «как бы исчезает в ней» (т. е. $\Delta\theta$ обращается в нуль), Бируни, стягивая $\Delta\overline{\lambda}$ в точку, фактически совершает предельный переход $\Delta\overline{\lambda}/\Delta\lambda \to 1$, равносильный предельному переходу $\Delta\lambda/\Delta t \to \omega$. В этом случае под «истинным движением» он понимает мгновенную скорость неравномерного движения Солнца в точке максимума уравнения, которая в ней совпадает со скоростью ω его равномерного движения по эксцентрической орбите.

К аналогичным приемам Бируни не раз обращается на протяжении всего «Канона Мас'уда». Это дает возможность считать, что такой подход к исследованию функциональных зависимостей не случаен, что Бируни рассматривал свой «метод разностей» как универсальный. И хотя в его рассуждениях понятие функции явно не выступает, соображения об общих свойствах «всех таблиц» и единообразие способов, которые он применяет к анализу рассматриваемых им функциональных зависимостей, позволяют предположить, что Бируни связывает это еще неосознанное, интуитивное представление уже не только с отдельными видами соответствия двух групп величин, но и с совокупностью таких видов — классом функций, задаваемых табличным, словесным и геометрическим способами. Все это позволяет присоединиться к точке зрения В. Гартнера и М. Шрамма[1], которые считают такое рассуждение образцом кинематического исследования, а «метод разностей» одним из важнейших научных достижений Бируни.

Наш обзор математического творчества Бируни показывает, что диапазон его интересов был чрезвычайно широк и его труды явились существенным этапом в развитии математики средневекового Востока.

В арифметике он занимался вопросами нумерации и комбинаторики, теории чисел и суммирования рядов. Бируни принадлежит решающая роль в расширении понятия числа — одного из основных достижений средневековой восточной математики.

В алгебре он внес определенный вклад как в теорию кубических уравнений и практику сведения к ним геометрических задач, так и в разработку приближения методов их решения, и численных и геометрических.

Бируни работал во всех областях геометрии своего времени. Его привлекали ее основные понятия, и в их трактовке он существенно отклоняется от Евклида.

Он был мастером доказательства теорем, решения задач на построение, геометрических вычислений, внес значительный вклад в теорию проектирования сферы на плоскость.

Велики его заслуги в развитии плоской и сферической тригонометрии и методов составления тригонометрических таблиц. III книга «Канона Мас'уда» представляет собой систематическое изложение основ тригонометрии в круге в виде, практически не отличающемся от современного. Сведя проблемы тригонометрии к решению уравнений второй и третьей степени, он широко применяет вычислительные методы. Обращаясь к решению плоских и сферических треугольников, он дает их классификацию и приводит собственные доказательства основных теорем, впервые в математике стран ислама применяет квадратичное интерполирование тригонометрических таблиц, обобщая его на «все таблицы». В своих размышлениях об общих свойствах «всех таблиц» и методах их исследования Бируни далеко опередил свое время.

[1] *W. Hartner, M. Schramm.* Al-Biruni and the theory of the Solar apogee: an example of originality in Arabic Science, «Scientific change», ed. by A. C. Crombie, London, 1963, p. 206—218.

Непосредственным стимулом математических исследований Бируни были конкретные задачи астрономии и смежных с ней областей науки. Он решал их, опираясь на фундаментальные достижения теории его времени, которые, как правило, приводили Бируни к широкому обобщению конкретных задач и новым теоретическим результатам.

Математические труды Бируни основаны на хорошем знании греческих и индийских математических сочинений. Он был одним из основоположников традиции доказательства индийских практических правил с помощью теоретических построений античных математиков и работ их комментаторов на Востоке, а также максимального обобщения этих правил.

Труды Бируни были хорошо известны на средневековом Востоке. В основе всех более поздних тригонометрических и астрономических таблиц и связанных с ними вычислений лежат вычислительные методы «Канона Мас'уда». Сильное влияние оказали тригонометрические сочинения Бируни на творчество Насир ад-Дина Туси. Традициям Бируни во многом следовали ученые самаркандской школы XV в., достигшие блестящих успехов в совершенствовании вычислительных методов, начало которым он положил.

Однако идеи Бируни об общих свойствах функциональных зависимостей и методы их исследования не получили дальнейшего развития в трудах его преемников в странах Востока. Известно пока всего несколько случаев применения квадратичного интерполирования и разностей второго порядка в восточной математике после Бируни. Во всех этих случаях правила квадратичного интерполирования применяются только к изолированным функциям, в то время как Бируни распространяет их на «все таблицы», к которым применяет и другие методы исследования общих свойств функциональных зависимостей.

Эти методы, в разработке которых Бируни далеко опередил свое время, не получили никакого развития на средневековом Востоке [1]. Они нашли свое продолжение в XIV в. в широко распространенной в Западной Европе теории «калькуляций» или «широт форм», в которой разрабатывались понятия зависимой и независимой переменных величин и которую можно рассматривать как один из существенных моментов подготовки математики переменных величин.

[1] Во всяком случае современным исследователям в области истории математики пока не известно ни одного случая их применения.

Глава третья

Астрономия

Астрономия была наиболее развитой естественной наукой в странах Ближнего и Среднего Востока. На астрономических наблюдениях был основан календарь, определяющий религиозные праздники и посты, а также время суток, в частности время молитв, на астрономических наблюдениях были основаны определения географических координат пунктов земной поверхности, стран света и весьма важного при постройке мечетей направления на Мекку, так называемого направления кыблы. Не последнее место в развитии астрономии играло использование астрономических наблюдений для астрологических предсказаний.

Астрономия стран Ближнего и Среднего Востока впитала в себя традиции астрономии древнего Востока, достигшей особенно значительного развития в Вавилоне, а также традиции астрономов Ирана и Средней Азии и греческой и индийской астрономии.

Важнейшим астрономическим трудом античного мира был «Алмагест» Птолемея (II в. н. э.)[1]. Он состоит из 13 книг, посвященных: 1) изложению картины мира, тригонометрии хорд и сферической теореме Менелая, 2) сферической астрономии, 3) движению Солнца, 4—5) движению Луны, 6) солнечным и лунным затмениям, 7—8) звездной астрономии, 9—13) движению планет. Согласно Птолемею Земля неподвижна и находится в центре мира. Вокруг Земли вращаются сферы Луны, Меркурия, Венеры, Солнца, Марса, Юпитера, Сатурна и неподвижных

[1] Название «Алмагест» является искажением арабского слова ал-Маджисти, происходящего от одного из греческих названий Μέγιστη σύνταξις сочинения Птолемея.

звезд. Неравномерность движения Солнца объясняется двумя эквивалентными гипотезами: эксцентрической, согласно которой Солнце вращается по кругу, расположенному эксцентрично относительно центра мира (об этой гипотезе мы говорили при изложении исследований Бируни неравномерного видимого движения Солнца), и эпициклической, согласно которой Солнце вращается по небольшому кругу — эпициклу, центр которого обращается вокруг Земли по большому кругу — деференту. Движение планет объясняется с помощью комбинации

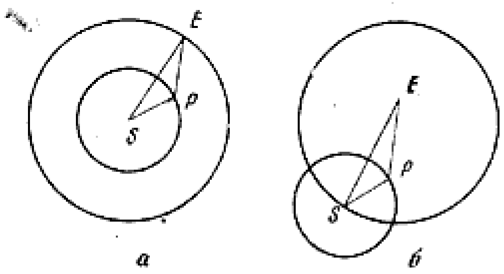


Рис. 16

обеих гипотез: они вращаются по эпициклам, центры которых движутся по деферентам, расположенным эксцентрично относительно центра мира.

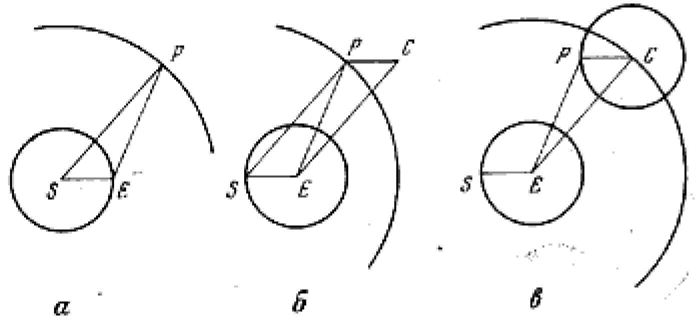
Важнейшей особенностью системы Птолемея является то, что для Меркурия и Венеры центры эпициклов совпадают с Солнцем, а для Марса, Юпитера и Сатурна отрезок, соединяющий центр планеты с центром эпицикла, параллелен и равен отрезку, соединяющему центры Земли и Солнца. О. Нейгебауэр [1] объяснил эти факты следующим образом: если планета P ближе к Солнцу S, чем Земля E (рис. 16, *а*) (Меркурий или Венера), то в геоцентрической системе движение планеты P по отношению к Земле состоит в том, что Солнце движется вокруг Земли по кругу радиуса SE, а планета — вокруг Солнца по кругу радиуса SP (рис. 16, б). Этот круг и есть в данном случае эпицикл. Если же планета P дальше от Солнца S, чем Земля E (Марс, Юпитер или Сатурн) (рис. 17, *а*), то в геоцентрической системе движение планеты P по отношению к Земле E состоит в том, что Солнце также движется вокруг Земли по кругу радиуса SE, а планета —

[1] *О. Нейгебауэр*. Точные науки в древности. М., 1968, стр. 128.

вокруг Солнца по кругу радиуса SP (рис. 17, *б*). То же движение мы получим, если дополним фигуру SPE до параллелограмма с 4-й вершиной C. Точка C описывает вокруг Земли круг радиуса $EC = SP$, а планета движется вокруг точки C по кругу радиуса $CP = ES$ (рис. 17, *в*). Последний круг и является в этом случае эпициклом. Таким образом, отрезок CP, соединяющий центр эпицикла с центром планеты, обязательно равен и параллелен отрезку ES, соединяющему центры Земли и Солнца.

«Алмагест» был переведен на арабский язык в IX в.

Рис. 17



и неоднократно комментировался учеными Ближнего и Среднего Востока. Еще раньше, в VIII в. на арабский язык были переведены индийские астрономические сочинения — сиддханты, начало которых было положено александрийским астрономом Паулосом, бежавшим в IV в. от преследований христианских фанатиков в Индию и известным там под именем Паулиса. Сиддханты заимствовали многое из «Алмагеста» и трудов других греческих астрономов, но в то же время во многом следовали старым индийским традициям.

Арабские переводы сиддхант именовались «синдхинд», что представляет собой искажение слова «сиддханта» («учение») под влиянием арабского названия Индии — Хинд.

Одновременно ученые Ближнего и Среднего Востока (многие из которых, будучи уроженцами Средней Азии и Ирана, владели персидским языком) знакомились и с астрономическими сочинениями доисламского Ирана, называвшимися «зик». Последний термин вошел в арабский язык в форме «зидж». Этим словом стали называть астрономические труды, состоящие из краткого теоретического введения и многочисленных таблиц. Во введениях зиджей, как правило, содержались определения астрономических терминов и правила пользования таблицами, а основное содержание зиджей составляли календарные, тригонометрические, сферико-астрономические и географические таблицы, таблицы движения Солнца, Луны и планет — «эфемериды» — и астрологические таблицы. Первый арабский зидж, о котором сохранились сведения, был написан в VIII в. Из позднейших зиджей отметим зиджи Хайяма (XI в.), Насир ад-Дина ат-Туси (XIII в.) и Улугбека (XV в.).

Помимо зиджей ученые Ближнего и Среднего Востока создали большое число трактатов, посвященных различным теоретическим и практическим вопросам астрономии.

1. Астрономические труды Бируни

Основными астрономическими трудами Бируни являются «Канон Мас'уда» и «Наука звезд».

«Канон Мас'уда» по своему плану близок к обычному плану зиджей, но если зиджи содержали только краткие определения и практические правила, то «Канон Мас'уда» содержит полное изложение всех теоретических вопросов хронологии, тригонометрии, астрономии и географии с экспериментальными обоснованиями и математическими доказательствами. В отличие от зиджей многочисленные таблицы «Канона Мас'уда» не отделены от текста, а органически входят в него.

«Наука звезд» состоит из вопросов и ответов. Кроме собственно астрономической части она содержит две математические, географическую, хронологическую и две астрологические части и часть, специально посвященную астролябии.

Астрономии посвящены также отдельные главы «Хронологии» и «Индии».

Бируни был хорошо знаком с астрономическими трудами своих предшественников и постоянно ссылался на них в «Каноне Мас'уда» и других своих работах. Многие свои сочинения он посвятил комментированию и исправлению ошибок астрономических трудов своих предшественников.

Назовем труды Бируни, в которых рассматриваются зиджи его предшественников.

Зиджу Хорезми посвящены «Поучительные вопросы и точные ответы о недостатках зиджа Хорезми», «Опровержение лжи по поводу доказательства действий Хорезми в его зидже» и «Книга посредничества между двумя».

«Ма'мунов зидж, подвергнутый проверке» рассматривается в трактате «По поводу „Проверенного [зиджа]" и разъяснения Ибн Кайсума Муфтатана». «Зиджу тысяч» Абу Ма'шара посвящен трактат «Обоснования зиджа Джа'фара, именуемого Абу Ма'шаром». Зидж Хабаша ал-Хасиба Мервези послужил причиной составления «Дополнения зиджа Хабаша». О «Сабейском зидже» ал-Баттани Бируни пишет в «Прояснении умов о зидже ал-Баттани».

Индийским астрономическим сочинениям посвящены «Блеск зиджей», «Свод существующих теорий индийцев об астрологических расчетах» и «Исправление зиджа Арканд».

Ряд зиджей рассматривается в трактате «Освещение пути анализа зиджей».

2. Бируни о картине мира

Первая глава I книги «Канона Мас'уда» и первые вопросы собственно астрономической части «Науки звезд» посвящены общему описанию картины мира, общепринятой у ученых средневекового Среднего и Ближнего Востока.

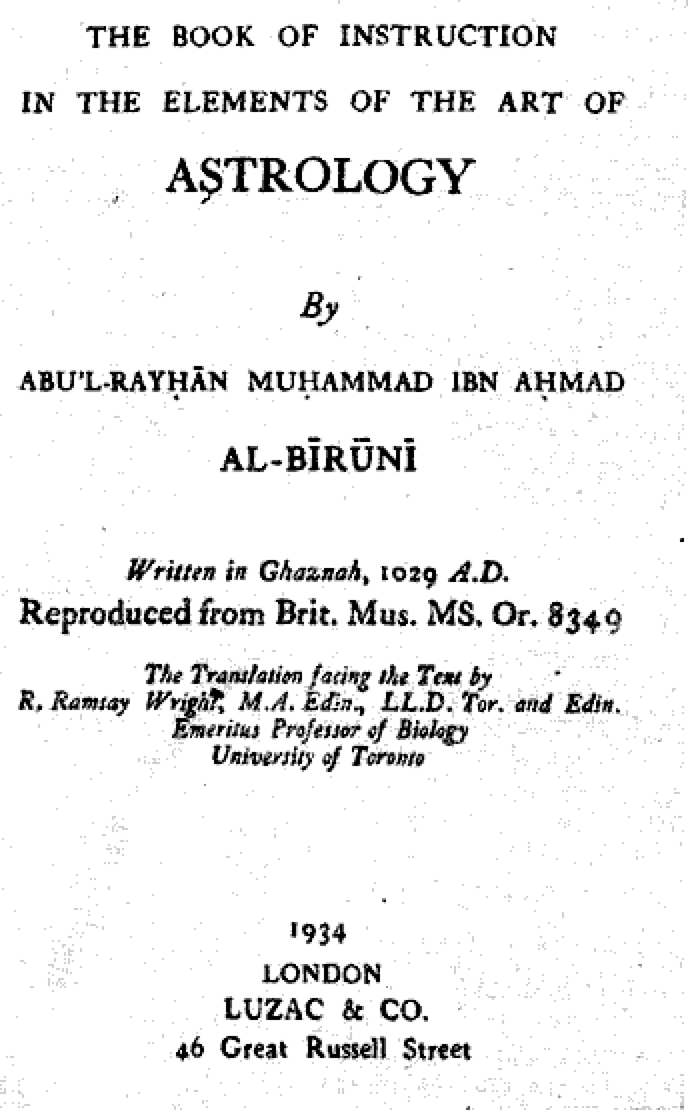
Описание картины мира начинается так: «Мир в целом — это тело круглой формы, края которого доходят до чего-то неподвижного в пустоте. Если переместить частицу от неподвижного вида к месту другого вида, то она будет двигаться прямолинейно к своему месту акцидентальным движением. То же, что находится вблизи неподвижного по краям, движется по кругу в пространстве вокруг середины, которая поистине является низом и центром Земли. Все существующее в целом называется миром. Иногда то, что движется по кругу, называют высшим миром, а то, что движется прямолинейно, называют низшим миром. Иногда считают, что имеется три мира, эти названия связаны с верованиями и [религиозными] убеждениями. Мы хотим ограничиться тем, что будем называть движущееся по кругу эфиром, это — один из элементов. Мы будем часто нуждаться в упоминании того, что движется прямолинейно, поэтому мы не сможем обойтись без упоминания четырех элементов, т. е. земли, воды, воздуха и огня; мы будем нуждаться в одном из этих видов. Некоторые из них расположены над другими вокруг середины мира до дна эфира, т. е. до того его края, который наиболее близок к нам. Более тяжелые из них движутся к центру, а более легкие — от центра. Люди на Земле, когда стоят во весь рост, направлены по прямым диаметров сферы, по ним же тяжелое падает вниз. Они видят над собой небо в виде лазурного купола и, где бы они ни находились, они видят только половину сферы...

Далее,— продолжал Бируни,— эфир подразделяется на семь планет, т. е. на семь сфер, касающихся друг друга, причем верхние сферы охватывают нижние. Каждая планета принадлежит одной из сфер, по ней происходит прямое и понятное движение планеты по долготе, движение по широте на север и на юг и движение по высоте вверх и вниз. Далее имеется восьмая, самая верхняя сфера, к которой прикреплены неподвижные звезды. Ее движение и движение планет, находящихся под ней, происходит на восток, эти движения происходят за определенные периоды обращений. Они называются вторым восточным движением, так как первым движением называется западное движение, благодаря которому различаются день и ночь, абсолютные — по Солнцу или относительные — по другим телам и точкам. Это первое движение видимо только для Земли и ее жителей, подобно тому как движение воды в водоеме видимо только для того, что не движется вместе с ней, или для берегов водоема»[1].

Небесные сферы в «Науке звезд» Бируни описывал следующим образом: «Их восемь, вложенных одна в другую, подобно пленкам луковицы. Самая меньшая из них — ближайшая к центру, по ней движется одна Луна, поднимающаяся в ее толще и опускающаяся в ней. У каждой сферы есть величина толщи по высоте, служащая для несения светил и два расстояния — наибольшее и наименьшее. Вторая сфера, находящаяся под ней,— сфера Меркурия, третья — Венеры, четвертая — Солнца, пятая — Марса, шестая — Юпитера, седьмая — Сатурна. Эти семь светил — планеты. Над ними — сфера светил, называемых неподвижными звездами»[2]. О том, что находится за восьмой сферой, Бируни писал: «Некоторые люди считают,

---

[1] «Канон Мас'уда», стр. 21—23.
[2] «Наука звезд», стр. 43—44.


THE BOOK OF INSTRUCTION

IN THE ELEMENTS OF THE ART OF

ASTROLOGY

By

ABU'L-RAYḤĀN MUḤAMMAD IBN AḤMAD

AL-BĪRŪNĪ

Written in Ghaznah, 1029 A.D.

Reproduced from Brit. Mus. MS. Or. 8349

The Translation facing the Text by
R. Ramsay Wright, M.A. Edin., LL.D. Tor. and Edin.
Emeritus Professor of Biology
University of Toronto

1934

LONDON

LUZAC & CO.

46 Great Russell Street

Рис. 18 Титульный лист лондонского издания «Наука звезд» что за восьмой сферой находится девятая сфера, являющаяся неподвижной. Индийцы называют ее на своем языке брахманда, т. е. «яйцом Брахмы». Они считают ее неподвижной, так как считают ее перводвигателем, а перводвигатель не может двигаться сам. Но если она должна быть таким телом, то называть ее «сферой» ошибочно.

Некоторые древние считали, что за восьмой сферой — бесконечная пустота, некоторые считали, что это — бесконечное тело, а Аристотель считал, что за телами нет ни тел, ни пустоты»[1].

Перечисляя небесные сферы в «Каноне Мас'уда», Бируни специально останавливался на сфере Солнца, о котором он говорил: «Для светил оно является средством [установления] порядка их положений, подобно положению царя среди царств, так как все положения здесь аналогичны ему и их движения зависят от Солнца, определяющего их движения»[2]. Мы уже упоминали об особом положении Солнца и зависимости от него движений планет в системе Птолемея.

В «Науке звезд» Бируни также писал: «Подобно тому как движения планет зависят от Солнца, так же зависит от него и их свет»[3].

Во 2-й главе I книги «Канона Мас'уда» Бируни обосновывает шесть принципов Птолемея, изложенных им в 3—8-й главах I книги «Алмагеста». Следуя Птолемею, Бируни формулирует их следующим образом: 1) «о том, что небо имеет сферическую форму и вращательное движение», 2) «о том, что Земля шаровидна», 3) «о том, что место Земли по отношению ко всему существующему — в середине неба», 4) «о том, что величина Земли по отношению к небу неощутима», 5) «о том, что Земля не имеет ни поступательного движения, ни движения в своем пространстве», 6) «о том, что в небе имеются два различных вида первых движений»[4].

Говоря о первом принципе, Бируни перечисляет следующие «теоретически мыслимые» формы мира: сферическую, яйцеобразную, чечевицеобразную, цилиндрическую, коническую и многогранную. Под яйцевидной и чечевицеобразной формой он имеет в виду вытянутый и

[1] «Наука звезд», стр. 44—45.
[2] «Канон Мас'уда», стр. 23—24.
[3] «Наука звезд», стр. 66.
[4] «Канон Мас'уда», стр. 25.

сплюснутый эллипсоиды вращения и высказывается в пользу сферической формы. Хотя окончательные выводы Бируни совпадают с выводами Птолемея, он пытается дать им не только умозрительное, но и экспериментальное обоснование, указывая, что «правильный результат можно установить только с помощью анализа непрерывных наблюдений приборов и измерений»[1]. Шарообразность Земли доказывается с помощью солнечных и лунных затмений.

Наибольший интерес вызывает его обсуждение пятого принципа. Утверждая птолемеевский принцип неподвижности Земли, Бируни сделал ряд замечаний, говорящих о том, что он рассматривал его не как незыблемую догму. Так, допуская, что Земля падает, Бируни писал: «Земля необходимо должна достигнуть неба в направлении своего падения, если только небо само не обладает, движением в ту же сторону, равным движению Земли, как говорил о небесах Мухаммед ибн Закария Рази. Поэтому движение Земли и ее неподвижность становятся как бы одним и тем же, так как в обоих случаях Земля, необходимо остается в середине»[2]. Далее он предлагает «отбросить обсуждение истинности» точек зрения о движении и неподвижности Земли, «тем более что это не отражается на деле»[3], что представляет собой еще один намек на возможность движения Земли. Говоря о тех, кто считает, что Земля вращается вокруг своей оси, Бируни упоминает «индийских ученых, являющихся последователями Ариабхатты».

Излагая шестой принцип, Бируни дал определение двух видов движения небосвода; первого (западного), т. е. видимого движения неба вследствие вращения Земли, и второго (восточного), т. е. видимого движения планет относительно неподвижных звезд.

По вопросу об отношении Бируни к движению Земли в литературе имеются противоположные мнения. Довольно распространенным является мнение о том, что Бируни был «Коперником средневековья». Другие авторы, ссылаясь на то, что в своих основных сочинениях Бируни излагал систему Птолемея, считают Бируни убежденным сторонником неподвижности Земли.

[1] «Канон Мас'уда», стр. 28.
[2] Там же, стр. 43.
[3] Там же, стр. 49.

Бируни обсуждал учение индийского ученого V в. Ариабхатты о вращении Земли и его критику индийским ученым VII в. Брахмагуптой в 26-й главе «Индии». Приведя слова Брахмагупты о том, что, если бы Земля вращалась, это не могло бы быть в гармонии и согласованности с «минутами неба» (минутами небесного экватора, называемыми по-индийски «вздохами», так как каждая минута небесного экватора, т. е. $^1/_{60}$ градуса этого круга, приходится за время человеческого вздоха), Бируни говорил: «Предположим, что это верно и Земля совершает полный оборот к востоку за это число вздохов, как совершает его и небо, согласно его мнению, однако где же препятствие гармонии и согласованности? К тому же вращательное движение Земли нисколько не порочит астрономии, а все астрономические явления равно протекают в согласии с этим движением». Впрочем, тут же Бируни добавил: «Однако оно представляется невозможным по другим причинам,— и заключил эту главу словами:— Поэтому вопрос [о движении Земли] вызвал много сомнений при решении. Выдающиеся астрономы древности и современности очень много занимались его решением и пытались отрицать вращательное движение Земли. И мы думаем, что мы не на словах, а по сути стали выше этих ученых [в решении вопроса] в [нашей] книге „Мифтах 'илм ал-хай'а"»[1]. «Мифтах 'илм ал-хай'а» — не дошедшее до нас сочинение Бируни «Ключ науки астрономии».

Как видим, и в «Каноне Мас'уда» и в «Индии» Бируни излагал общепринятую у ученых Ближнего и Среднего Востока точку зрения о неподвижности Земли и, высказав намеки в пользу движения Земли, тут же отказывался от такого предположения. Однако в своих научных трактатах, предназначенных для узкого круга ученых, Бируни высказывался иначе. Например, а «Астролябиях», описывая «челнообразную астролябию» Абу Саида Сиджизи, он писал: «Я видел у Абу Саида ас-Сиджизи астролябию простого вида, не состоящую из северной и южной, называемую челнообразной. Я нашел, что это прекрасное изобретение, принцип которого основан на убеждении некоторых людей в том, что упорядоченное движение вселенной принадлежит Земле, а не небесной сфере»[2]. Весьма

[1] «Индия», стр. 255.
[2] Рукопись Лейденской университетской библиотеки, № 591/4, л. 104 (далее — «Астролябии»).

возможно, что в упоминавшемся Бируни «Ключе науки астрономии» или в написанной «на его имя» Масихи «Книге о том, неподвижна ли Земля или движется» также приводились соображения в пользу движения Земли.

3. Сферическая астрономия

В 3-й главе I книги «Канона Мас'уда» Бируни определяет основные круги и точки небесной сферы: небесный экватор («экватор дня») — большой круг видимого суточного движения сферы, эклиптику («зодиакальный круг») — большой круг видимого годичного движения Солнца, горизонт — большой круг, разделяющий видимую и невидимую части небесной сферы. Полюсы небесного экватора называются северным и южным полюсами мира, полюсы эклиптики — северным и южным полюсами эклиптики, полюсы горизонта — зенитом (над головой) и надиром (под Землей). Эклиптика пересекается с небесным экватором в точках весеннего и осеннего равноденствия, наиболее удаленные от небесного экватора точки эклиптики — точки летнего и зимнего солнцестояния.

Эклиптика делится на 12 знаков зодиака, названия которых совпадают с зодиакальными созвездиями. В день весеннего равноденствия Солнце вступает в знак Овна, через месяц — в знак Тельца, еще через месяц — в знак Близнецов; в день летнего солнцестояния — в знак Рака, через месяц — в знак Льва, еще через месяц — в знак Девы; в день осеннего равноденствия — в знак Весов, через месяц — в знак Скорпиона, еще через месяц — в знак Стрельца; в день зимнего солнцестояния — в знак Козерога, через месяц — в знак Водолея, еще через месяц в знак Рыб.

При вращении небесной сферы точки летнего и зимнего солнцестояния описывают параллели небесному экватору, называемые соответственно тропиками Рака и Козерога. Эклиптика и небесный экватор пересекаются под определенным углом, об измерении которого мы еще будем говорить. Небесный экватор перпендикулярен горизонту в местностях на земном экваторе (небесная сфера в этих случаях называется «прямой сферой»), совпадает с горизонтом на земном полюсе (небесная сфера в этих случаях называется «параллельной сферой»), а в местностях с географической широтой φ небесный экватор пересекает горизонт под углом $90° - \varphi$ (небесная сфера в этих случаях называется «наклонной сферой»). Параллели горизонта называются альмукантаратами, большие круги, проходящие через зенит и надир, называются вертикалами. Вертикал, проходящий через полюсы мира, пересекает горизонт в точках юга и севера и называется меридианом (полуденным кругом), перпендикулярный ему меридиан пересекает горизонт в точках востока и запада и называется начальным вертикалом. Бируни называет

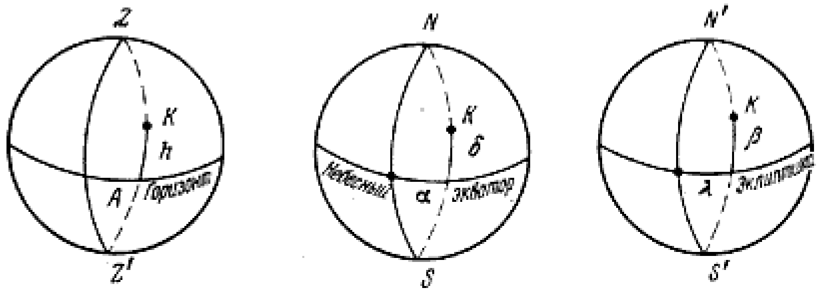


Рис. 19

градусами только градусы эклиптики, градусы небесного меридиана (каждый из которых проходится при вращении небесной сферы за 4 минуты) — «временами», градусы остальных кругов небесной сферы — частями.

В IV книге «Канона Мас'уда» Бируни пользуется тремя системами сферических координат на небесной сфере, аналогичными географическим координатам на земном шаре (рис. 19).

1. Горизонтальной системой, в которой положение точки определяется высотой h, отсчитываемой от горизонта по перпендикулярному ему вертикалу, и азимутом A, отсчитываемым от начального вертикала.

2. Экваториальной системой, в которой положение точки определяется прямым восхождением α, отсчитываемым по небесному экваториальному кругу от точки весеннего равноденствия, и склонением δ, отсчитываемым от небесного экватора по большому кругу, проходящему через полюсы мира.

3. Эклиптической системой, в которой положение точки определяется эклиптической долготой λ, отсчитываемой

по эклиптике от точки весеннего равноденствия, и эклиптической широтой β, отсчитываемой от эклиптики по большому кругу, проходящему через полюсы эклиптики.

Первая глава IV книги «Канона Мас'уда» посвящена измерению угла наклона эклиптики к небесному экватору, который Бируни называет «наибольшим склонением» (этот угол равен максимальному склонению точки эклиптики, достигаемому в точках солнцестояния). Наклон эклиптики ε вычисляется по правилам, которые можно выразить формулами

$$\varepsilon = {}^1/_2\,(h_{\max} - h_{\min}) \quad \text{для} \quad \varphi + \varepsilon \leqslant 90°,$$

$$\varepsilon = 90° - {}^1/_2\,(h_{\max} + h_{\min}) \quad \text{для} \quad \varphi + \varepsilon > 90°,$$

где $h_{\max}$ и $h_{\min}$ — наибольшая и наименьшая высоты Солнца в меридиане в течение года, φ — широта местности.

Далее приводится описание инструмента для определения «высот в полуденном круге» (т. е. в меридиане), которое мы рассмотрим ниже.

В этой же главе Бируни приводит сводку результатов измерения угла наклона эклиптики различными учеными: «Различные [ученые] Индии согласуются между собой в том, что это — двадцать четыре части. Это мнение было распространено и у древних. Так, Герон Механик говорит в „Разрешении сомнений книги Начал“, что Евклид определял в четвертой книге [„Начал“] пят[надцат]иугольник, вписанный в круг, по той причине, что это — величина наибольшего склонения. У Птолемея [эта величина] меньше на восемь и одну треть минуты, а он упоминает, что придерживается мнения Эратосфена и Гиппарха и что рассмотрение его с достоверностью свидетельствует об этом». Таким образом, по наблюдениям индийских астрономов и Евклида, $\varepsilon = 24°$, а по наблюдениям Эратосфена и Гиппарха, приводимым Птолемеем, $\varepsilon = 23°51'40''$. Далее Бируни приводит результаты наблюдений ряда других ученых и своих наблюдений в Кяте, Гургане и Газне. Последний результат наблюдений Бируни — $\varepsilon = 23°35'$.

Подробное изложение измерений угла ε Бируни приводит и в главе «Слово о непосредственном определении наибольшего склонения» в «Геодезии»; здесь он описывает инструменты, которыми пользовались различные ученые.

Изменение угла ε со временем объясняется прецессией земной оси, и согласно известной формуле Ньюкомба зависимость этого угла от времени t выражается соотношением

$$\varepsilon = 23°27'8'', 26-0'', 4684\ (t - 1900),$$

где t — число лет, отсчитываемое от 1900 г. н. э.

Ниже дана таблица значений ε по данным, приведенным Бируни и вычисленным по этой формуле для соответствующих годов наблюдений:

Год наблюдения	Астрономы	Значение ε	Значение по формуле Ньюкомба	Ошибка
230 до н. э.	Эратосфен	23°51′20″	23°43′46″	7′34″
130	Гиппарх	23°51′20″	23°42′59″	8′21″
140	Птолемей	23°51′20″	23°40′53″	10′27″
828	Ибн Аби Мансур	23°33′	23°35′30″	—2′30″
832	Мерверруди	23°33′52″	23°35′29″	—1′37″
850	Тахири	23°34′	23°35′20″	—1′20″
850	Дамасские астрономы	23°54′51″	23°35′20″	29″
859	Бану Муса	23°34′30″	23°35′11″	—41″
869	» »	23°35′	23°35′16″	—16″
880	ал-Баттани	23°35′	23°35′ 6″	—6″
888	Ибн Исма	23°33′42″	23°35′ 2″	—1′20″
965	Суфи	23°35′	23°34′40″	20″
987	Абу-л-Вафа	23°35′	23°34′16″	44″
994	Ходженди	23°32′ 2″	23°34′13″	—1′52″
994	Бируни в Кяте	23°35′40″	23°35′	—40″
1016	Бируни в Гургане	23°35′50″	23°34′49″	—1′1″
1019	Бируни в Газне	23°35′	23°34′49″	—11″

Основная часть IV книги «Канона Мас'уда» посвящена преобразованию сферических координат, т. е. определению сферических координат точки небесной сферы в одной системе по ее сферическим координатам в другой системе. Средством для решения задач таких преобразований являются теоремы сферической тригонометрии. Во 2-й главе IV книги находится склонение δ «градуса эклиптики», т. е. точки L эклиптики с эклиптической долготой λ,

равное сферическому перпендикуляру LM, опущенному из точки L эклиптики на небесный экватор (рис. 20), и «широта градуса» β, т. е. эклиптическая широта такой точки N небесного экватора, что если опустить из нее сферический перпендикуляр NL на эклиптику, то его основанием будет точка L («широту градуса» называют также «вторым склонением»). Склонение δ находится из прямоугольного сферического треугольника OLM с прямым углом M и с углом LOM, равным ε по сферической теореме синусов

$$\sin\delta = \sin\lambda \sin\varepsilon,$$

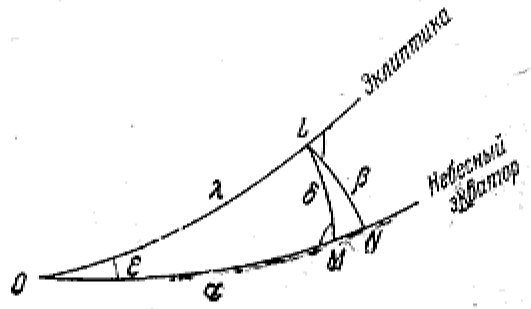
а широта градуса находится из прямоугольного сферического треугольника OLN с прямым углом L и углом LON, равным ε по сферической теореме тангенсов

$$\operatorname{tg}\beta = \sin\lambda \operatorname{tg}\varepsilon.$$

После изложения этих правил Бируни приводит таблицы функций $\delta = \delta(\lambda)$ и $\beta = \beta(\lambda)$ через 1° с четырьмя шестидесятеричными знаками.

В 3-й главе находится прямое восхождение α точки эклиптики с эклиптической долготой, т. е. катет OM прямоугольного сферического треугольника OLM. Бируни

Рис. 20



дает три способа определения α: «Если угодно, умножим синус приведенного расстояния на косинус наибольшего склонения и разделим произведение на косинус склонения градуса, т. е. начала дуги, в частном получится синус восхождения.

Если угодно, разделим косинус приведенного расстояния на косинус склонения градуса, в частном получится косинус восхождения.

Если же мы хотим [узнать] это при помощи тени, то разделим тень склонения градуса на тень наибольшего склонения, т. е. 0 26 11 13, в частном получится синус восхождения»[1].

Первое из этих правил может быть записано в виде

$$\sin\alpha = \frac{\sin\lambda\cos\varepsilon}{\cos\delta},$$

второе — в виде

$$\cos\alpha = \frac{\cos\lambda}{\cos\delta},$$

третье — в виде

$$\sin\alpha = \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\varepsilon}.$$

Последнее из этих правил — сферическая теорема тангенсов для треугольника OLM, первое получается делением левой и правой частей равенства $\sin\delta = \sin\lambda\sin\varepsilon$, т. е. сферической теоремы синусов для прямоугольного треугольника OLM соответственно на левую и правую части равенства $\operatorname{tg}\delta = \sin\alpha\operatorname{tg}\varepsilon$, т. е. сферической теоремы тангенсов для того же треугольника. Второе соотношение легко получается исключением угла ε из тех же двух равенств; это соотношение — «сферическая теорема Пифагора», о которой мы уже говорили.

Изложив эти правила, Бируни приводит таблицы функций $\alpha = \alpha(\lambda)$ через $1°$ с четырьмя шестидесятеричными знаками. В этой же главе Бируни приводит правила определения эклиптической долготы λ по прямому восхождению α.

В 4-й главе Бируни дает правило определения склонения δ произвольной точки небесной сферы по ее эклиптическим координатам λ и β. Это правило можно записать в виде формулы

$$\sin\delta = \sin\left|\arcsin\frac{\sin\beta}{\sqrt{1-\cos^2\lambda\cos^2\beta}} \pm\varepsilon\right| \cdot \sqrt{1-\cos^2\lambda\cos^2\beta}.$$

В 5-й главе Бируни определяет «градус прохождения светила через середину неба», т. е. точку эклиптики, которая при видимом суточном вращении достигает «середины неба», т. е. небесного меридиана, одновременно с данной точкой небесной сферы; «градус прохождения» представляет собой точку пересечения эклиптики с большим

[1] «Канон Мас'уда», стр. 378.

кругом, проходящим через полюсы мира в данную точку сферы. «Градус прохождения» является сферической координатой, знание которой в силу изложенного в четвертой главе равносильно знанию прямого восхождения данной точки. Эклиптическая долгота $\lambda_т$ градуса прохождения определяется по эклиптическим координатам λ и β и по склонению δ той же точки, определенному выше, по правилу

$$\sin(\lambda - \lambda_т) = \frac{\sin\beta\sin\varepsilon\cos\lambda}{\sqrt{\cos^2\delta - \sin^2\varepsilon\cos^2\lambda\cos^2\beta}}.$$

В 6-й главе Бируни дает правило определения эклиптических координат λ и β через склонение δ и градус прохождения $\lambda_т$ той же точки.

В 7—9-й главах приводятся правила определения широты местности φ по склонению δ и высоте h в меридиане восходящих и заходящих, а также незаходящих светил; эти правила выражаются формулами

$$\varphi = \delta + 90° - h \text{ при } 90° - \varphi + \delta \leqslant 90°$$

и

$$\varphi = \delta - 90° + h \text{ при } 90° - \varphi + \delta > 90°.$$

Из этих правил вытекает, что разность широт двух местностей равна разности высот одного и того же светила в меридиане в этих местностях

$$|\varphi_2 - \varphi_1| = |h_2 - h_1|.$$

В 10-й главе решается обратная задача: определяется полуденная высота Солнца по его склонению δ в полдень того же дня и по широте местности φ по правилам

$$h = 90° - (\varphi - \delta), \text{ если склонение северное}$$

и

$$h = 90° - (\varphi + \delta), \text{ если склонение южное.}$$

Здесь же приводится таблица зависимости полуденной высоты Солнца от его эклиптической высоты, т. е. функции $h = h(\lambda)$ и зависимости продолжительности дня от того же аргумента через $1°$ для широты Газны $\varphi = 33°\ 45'$.

В 11-й главе определяется полуденная тень Солнца и приводится таблица зависимостей $12\operatorname{ctg}h$ и $60\operatorname{tg}h$ от эклиптической долготы λ Солнца через $1°$ для широты Газны.

В 12-й главе определяется «амплитуда востока» a, т. е. дуга горизонта между крайней точкой восхода Солнца летом или зимой и точкой востока по склонению Солнца δ в местности с данной широтой φ по правилу

$$\sin a = \frac{\sin\delta}{\cos\varphi}.$$

В 13-й главе определяется азимут A светила по его высоте h, полуденной высоте h_{max} этого светила и амплитуде востока a по правилу

$$\sin A = \frac{\sin h \cdot \dfrac{\cos h_{max} \pm \sin a}{\sin h_{max}}}{\cos h} \pm \sin a.$$

Это правило равносильно определению азимута A точки небесной сферы по ее высоте h и склонению δ при данной широте местности. В 14-й главе решается обратная задача: определяется высота h светила по его азимуту A и широте φ местности.

В 15-й главе излагаются 5 способов определения направления меридиана, в том числе при помощи гномона и индийского круга.

В 16-й главе по горизонтальным координатам h_1, A_1 и h_2, A_2 двух положений светила на небесной сфере в течение одного дня определяются его склонение δ и широта φ местности.

В 17-й главе определяется «уравнение дня» $\Delta\alpha$, т. е. разность между продолжительностью дня и 12 часами, определяемое по широте φ местности и склонению δ Солнца в данный день по правилу

$$\sin\Delta\alpha = \operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\delta.$$

Таблица зависимости продолжительности дня от λ для широты Газны была приведена в главе 10. Сумма или разность $\alpha_\varphi = \alpha \pm \Delta\alpha$ называется «восхождением в наклонной сфере», соответствующей данному значению широты φ местности.

В 18-й главе определяются восхождения различных точек эклиптики на широте Газны и приводится таблица функции $\alpha_\varphi = \alpha_\varphi(\lambda)$ для этой широты.

В 19-й главе определяются «градусы восхождения» и «градусы захождения», т. е. эклиптические долготы точек

эклиптики, восходящих или заходящих вместе с данной точкой небесной сферы.

В 20-й главе определяется прошедшая часть дня p от восхода Солнца до данного момента по высоте h Солнца в данный момент, его склонению δ и широте местности φ. Правило для определения p формулируется следующим образом: «Если мы знаем высоту Солнца в какое-нибудь время и мы хотим узнать времена дневной дуги от момента восхода, то определим уравнение дня градуса Солнца и его синус и запомним их. Затем разделим синус высоты Солнца на косинус широты местности, а частное — на косинус склонения Солнца, получится „подготовленное“. Если склонение Солнца южное, то прибавим „подготовленное“ к синусу уравнения дня, а если оно северное, то возьмем разность между ними и рассмотрим эту разность. Затем перейдем от полученной суммы или разности к дуге по таблице синусов, получится установленная дуга. Если склонение южное или если разность для синуса уравнения дня северная, то возьмем разность между уравнением дня и установленной дугой, если „подготовленное“ больше этого, то прибавим установленную дугу к уравнению дня, если же они равны, то возьмем само уравнение дня и рассмотрим то, что мы получили. Если высота южная, то мы получили времена круга, если же она северная, то вычтем полученное из дневной дуги и останутся [времена] круга. Если мы умножим это на четыре минуты, получатся прямые часы и их минуты»[1] («прямые часы» — $^1/_{24}$ суток). Это правило можно выразить формулой

$$p = \arcsin\left(\frac{\sin h}{\cos\varphi\cos\delta} \pm \sin\Delta\alpha\right) \pm \Delta\alpha.$$

«Подготовленное» — выражение $\dfrac{\sin h}{\cos\varphi\cos\delta}$, «подготовленное» $\pm \sin\Delta\alpha$ — косинус часового угла t, т. е. угла между большим кругом, проходящим через полюсы мира и Солнцем в данный момент, и меридианом; угол t связан с p соотношением $t = 90° \pm \Delta\alpha - p$. Заметим, что вытекающее из правила Бируни правило определения часового угла t по δ и φ, имеющее вид

$$\cos t = \frac{\sin h}{\cos\varphi\cos\delta} \pm \sin\Delta\alpha,$$

[1] «Канон Мас'уда», стр. 477.

т. е.

$$\cos t = \frac{\sin h \pm \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta},$$

представляет собой общий случай сферической теоремы косинусов для сферического треугольника, вершинами которого служат Солнце S, зенит Z и полюс мира N (рис. 21): стороны ZN, ZS и SN этого треугольника соответственно равны $90° - \varphi$, $90° - h$ и $90° - \delta$, и, подставляя в формулу сферической теоремы косинусов на стр. 74 $A = t$, $a = ZS = 90° - h$, $b = ZN = 90° - \varphi$, $C = NS = |90° - \delta|$, мы получим соотношение

$$\cos h = \pm \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t,$$

равносильное правилу Бируни.

Определение часового угла t по h, φ и δ по этому правилу встречалось без доказательства в IX в. в трактате Сабита ибн Корры «Книга о часовых приборах, называемых солнечными часами» и в «Сабейском зидже» ал-Баттани. Здесь Бируни дал полное доказательство правила, равносильного правилам Сабита ибн Корры и ал-Баттани.

Здесь же Бируни выражает h через дугу p, уравнение дня $\Delta\alpha$, склонение Солнца δ и широту φ местности.

В 21-й главе Бируни находит выражение дуги p через азимут A Солнца, его склонение δ и широту φ местности. Так как в треугольнике ZSN на рис. 21 азимут Солнца равен углу NZS, эта задача может быть решена с помощью сферической теоремы синусов для этого треугольника, однако Бируни здесь дает более сложное решение.

В 22-й главе решаются аналогичные задачи для других светил.

В 23-й и 24-й главах Бируни определяет четыре «колышка», т. е. точки пересечения эклиптики с меридианом и горизонтом.

В последней, 25-й, главе IV книги «Канона Мас'уда» Бируни рассматривает преобразование времени и восхождения при переходе от одного горизонта к другому.

Со сферической астрономией тесно связана гномоника, изучающая тени гномона (измерительного шеста) на различные плоскости. Эта теория лежит в основе теории солнечных часов. Мы видели, что в посвященной этой теории «Книге о часовых приборах, называемых солнечными часами» Сабита ибн Корры были решены некоторые важные задачи сферической астрономии. С другой стороны, ряд задач гномоники был решен в рассмотренной нами IV книге «Канона Мас'уда».

Специально гномонике посвящен трактат Бируни «Гномоника» — «Выделение сказанного по вопросу о тенях». Эта книга состоит из 30 глав. В 1—3-й главах рассматриваются видимое движение Солнца, свет и темнота, освещенность и тени. В 4—5-й главах рассматриваются линии, описываемые концом тени гномона на плоскости,

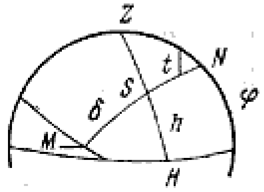


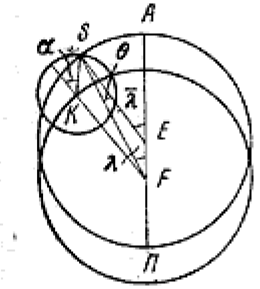
Рис. 21

на которой установлен гномон; эти линии представляют собой линии пересечения этой плоскости с круглым конусом, основанием которого служит круг видимого суточного движения Солнца на небесной сфере, а вершиной — конец гномона, т. е. конические сечения — эллипсы, параболы и гиперболы. В 6-й главе рассматривается тень гномона, в 7-й — подразделения гномона на 12 «пальцев», 60 «частей» и 7 или 6 $^1/_2$ «ступени». В 8-й главе рассматриваются виды теней, в 9-й — «плоская тень», т. е. котангенс, в 10-й — «обращенная тень», т. е. тангенс, в 11-й — связи между ними, в 12-й — их определение по таблицам, в 13—14-й — их определение с помощью астролябии, в 15-й — сравнение теней. В 16—26-й главах решаются задачи сферической астрономии, связанные с тенями, в 27-й — доказывается сферическая теорема тангенсов, в 28—30-й главах рассматриваются применения теней для определения земных и небесных расстояний.

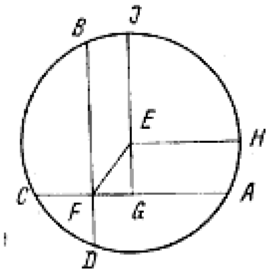
4. Движение Солнца, Луны и планет

Теория движения Солнца изложена в VI книге «Канона Мас'уда». При описании движения Солнца Бируни исходил из двух упоминавшихся нами гипотез Птолемея об этом движении: эксцентрической и эпициклической гипотез. Эквивалентность их для Солнца наглядно видна на рис. 22, где F — центр мира (Земли), E — центр эксцентрического круга, K — центр эпицикла, S — Солнце, A — апогей Солнца, П — его перигей; угол $\overline{\lambda} = AES$ — средняя долгота Солнца, угол $\lambda = AFS$ — его истинная долгота, угол $\theta = \overline{\lambda} - \lambda$ — «уравнение Солнца», угол α — «аномалия Солнца».

В 3-й главе Бируни излагает способы определения точек равноденствий и солнцестояний на эклиптике с помощью специальных инструментов. В 4-й главе рассматриваются эксцентрическая и эпициклическая гипотезы



◄ *Рис. 22*



◄ *Рис. 23*

Птолемея. В 5-й главе предлагается своеобразное мысленное моделирование движения Солнца.

В 6-й главе приводятся результаты измерений продолжительности года, проведенных древними и средневековыми астрономами. Опираясь на эти измерения, Бируни устанавливает, что продолжительность солнечного года равна 365 дням с шестидесятеричной дробью $14'26''338/878'''$, а среднее движение Солнца за сутки равно $0^{\circ}59^{\mathrm{I}}8^{\mathrm{II}}20^{\mathrm{III}}58^{\mathrm{IV}}21^{\mathrm{V}}33^{\mathrm{VI}}0^{\mathrm{VII}}\ 2363137279/3498860333^{\mathrm{VIII}}$.

В 7-й главе Бируни находит эксцентриситет эксцентрического круга Солнца и долготу апогея Солнца из сравнения промежутков времени между равноденствиями и солнцестояниями. Из того, что Солнце проходит четверть эклиптики между точками весеннего равноденствия и летнего солнцестояния за большее время, чем остальные, делается вывод, что апогей Солнца находится в этой четверти. Бируни чертит эксцентрический круг $ABCD$, точки A, B, C, D которого — точки пересечения этого круга с диаметрами эклиптики, соединяющими точки весеннего и осеннего равноденствия и точки летнего и зимнего солнцестояния: точки A и C соответствуют весеннему и осеннему равноденствиям, B и D — летнему и зимнему солнцестояниям (рис. 23). E — центр эксцентрического круга, F —

центр мира. Проводится линия EF, а через точку E проводятся радиусы эксцентрического круга EH и EI, параллельные прямым AC и BD, радиус EI продолжается до точки G пересечения с прямой AC. Если мы обозначим дугу AB («весну») через α, а дугу BC («лето») через β, то $\alpha + \beta = 180^{\circ} + 2HA$, $HA = \frac{\alpha+\beta}{2} - 90^{\circ}$, $EG = \sin AH = \cos\frac{\alpha+\beta}{2}$, $\alpha - \beta = 2BI$, $BI = \frac{\alpha-\beta}{2}$, $FG = \sin\frac{\alpha-\beta}{2}$. Поэтому расстояние ε между центрами равно

$$\varepsilon = EF = \sqrt{EG^2 + GF^2} = \sqrt{\cos^2\frac{\alpha+\beta}{2} + \sin^2\frac{\alpha-\beta}{2}}$$

в масштабе, в котором радиус эксцентрического круга равен 1, а синус долготы апогея λ_A, т. е. синус угла EFG, равен

$$\sin\lambda_A = \frac{EG}{EF} = \frac{\cos\frac{\alpha+\beta}{2}}{\sqrt{\cos^2\frac{\alpha-\beta}{2} + \sin^2\frac{\alpha-\beta}{2}}}.$$

Заметим, что этот метод определения λ_A Бируни описал в «Хронологии» [1], где он называется «методом древних при вычислении апогея». Бируни описал также свой метод определения ε и λ_A, предложенный им в книге «Практика исследования движения Солнца» и изложенный также в «Хордах» [2]; этот метод основан на наблюдениях положения Солнца в трех точках эклиптики и является развитием метода Ибн Ирака решения той же задачи, о котором Бируни писал в «Хронологии», что «этот способ настолько же превосходит учение современных [астрономов], насколько их учение превосходит учение древних» [3].

Далее Бируни сравнивает наблюдения точек равноденствия и солнцестояния Птолемеем, Бану Муса, Мерверруди, ал-Баттани, Абу-л-Вафой и свои наблюдения в Ургенче. На стр. 108 приводится таблица значений, вычисленных на основании этих наблюдений.

«Из всего, что изложено,— делает вывод Бируни,— ясно, что апогей Солнца перемещается, что противоречит

---

[1] «Хронология», стр. 181—183.
[2] «Хорды», стр. 122—123.
[3] «Хронология», стр. 183.

Год	Астроном	Значение
II в.	Птолемей	65 27 7 38
833	Бану Муса	81 38 22 28
844	Мерверруди	80 22 9 55
883	ал-Баттани	82 7 38 23
975	Абу-л-Вафа	84 34 45 50
1017	Бируни	84 59 11 9

тому, что считал Птолемей»[1]. Тем самым Бируни восстанавливает учение Гиппарха о движении апогея Солнца, которое отвергал Птолемей.

В 8-й главе излагается движение Солнца, долгота которого представляется в виде суммы $\lambda(t) = \lambda_A(t) + \bar{\lambda}(t) \pm \theta(t)$, где $\bar{\lambda}(t)$ — средняя долгота Солнца, равная ωt (ω — постоянная угловая скорость движения Солнца по эксцентрическому кругу), а $\theta(t)$ — уравнение Солнца. О слагаемом $\lambda_A(t)$ Бируни писал, что «доля одного градуса движения апогея — приблизительно девяносто девять лет, но маловероятно, что сердце успокоится на этом»[2].

В 9-й главе приведены таблицы $\bar{\lambda}$ и λ с шестью шестидесятеричными знаками для 400—820 гг. персидского солнечного календаря по эре Иездигерда (1032—1452 гг. н. э.) с интервалом 30 лет, для каждого из этих 30 лет и для персидских месяцев и дней.

В 10-й главе изучается функциональная зависимость уравнения Солнца θ от средней долготы $\bar{\lambda}$ Солнца, пропорциональной времени. Эту закономерность можно получить следующим образом: из теоремы синусов для треугольника SEF на рис. 21 вытекает, что между $\rho = ES$, $\varepsilon = EF$, $\bar{\lambda}$ и θ имеет место соотношение

$$\frac{\varepsilon}{\sin\theta} = \frac{\rho}{\sin\lambda} = \frac{\rho}{\sin(\bar{\lambda}-\theta)} = \frac{\rho}{\sin\bar{\lambda}\cos\theta - \cos\bar{\lambda}\sin\theta},$$

откуда следует, что

$$\rho\,\mathrm{tg}\,\theta = \varepsilon\sin\bar{\lambda} - \varepsilon\cos\bar{\lambda}\,\mathrm{tg}\,\theta,$$

[1] «Канон Мас'уда», стр. 661.
[2] Там же, стр. 676.

т. е.

$$\mathrm{tg}\,\theta\,(\rho + \varepsilon\cos\bar{\lambda}) = \varepsilon\sin\bar{\lambda}$$

и окончательно

$$\mathrm{tg}\,\theta = \frac{\varepsilon\sin\bar{\lambda}}{\rho + \varepsilon\cos\bar{\lambda}}.$$

Здесь же приводятся таблицы зависимости уравнения Солнца θ от угла $\bar{\lambda}$ с четырьмя шестидесятеричными знаками и их «уточнения», т. е. разности между значениями θ, соответствующими значениям $\bar{\lambda}$, отличающимся на 1°.

В последней, 11-й, главе VI книги «Канона Мас'уда» рассматривается «уравнение времени», т. е. разность между *средним и истинным солнечным временем*.

Теория движения Луны изложена в VII книге «Канона Мас'уда». Бируни излагает две модели движения Луны Птолемея «по долготе» (т. е. вдоль эклиптики). Вначале излагается простая модель, где это движение объясняется эпициклической гипотезой, согласно которой Луна движется по эпициклу, центр которого перемещается по деференту (рис. 24). Положение Луны L в произвольный момент времени определяется средней долготой $\bar{\lambda}$ («средним движением»), истинной долготой λ («истинным движением»), уравнением $\theta = |\bar{\lambda} - \lambda|$ и аномалией α. Позже эта модель уточняется. Кроме движения по долготе Луна движется и «по широте», так как плоскость ее орбиты отличается от плоскости эклиптики, составляя с ней угол, близкий к 5°. Точки пересечения плоскости орбиты Луны с эклиптикой называются узлами лунной орбиты; восходящий угол называется Головой, а нисходящий — Хвостом (имеются в виду голова и хвост мифического дракона, который по старинным преданиям пожирал Солнце во время солнечных затмений, так как эти затмения могут происходить только в узлах).

В 1—3-й главах VII книги рассматривается движение Луны по долготе. Здесь излагаются модель этого движения и способ определения радиуса эпицикла и аномалии α по трем положениям Луны (определяемым тремя лунными затмениями), аналогичный способу определения расстояния между центрами и долготы апогея для Солнца и приводятся таблицы $\bar{\lambda}$ и α с семью шестидесятеричными знаками для тех же лет, месяцев и дней, что и таблицы λ и λ_A для Солнца.

В 3—5-й главах рассматривается движение Луны по широте. Здесь приводятся правила определения узлов и широты Луны и таблицы движения Головы с семью шестидесятеричными знаками для тех же лет, месяцев и дней и таблицы широты Луны с четырьмя шестидесятеричными знаками в функции градусов эклиптики.

В 6-й главе определяется продолжительность лунного месяца исходя из указанной модели движения Луны. Продолжительность лунного месяца в градусах эклиптики равна $\frac{360°}{\lambda_L - \lambda_S}$, где λ_L и λ_S — истинные перемещения соот-

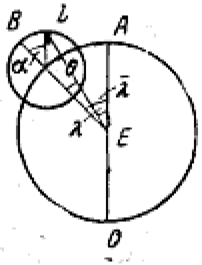


Рис. 24

ветственно Луны и Солнца за сутки, разность $\lambda_L - \lambda_S$ называется суточной элонгацией Луны. Отсюда вытекает, что лунный месяц — самый короткий, когда λ_L максимальна, а λ_S минимальна, т. е. при ускоренном движении Солнца и замедленном движении Луны, когда Солнце в середине месяца находится в апогее своего эксцентрического круга, а Луна — в перигее своего эпицикла. Точно так же лунный месяц — самый длинный, когда λ_L минимальна, а λ_S максимальна, т. е. при замедленном движении Солнца и ускоренном движении Луны, когда Солнце в середине месяца находится в перигее своего эксцентрического круга, а Луна — в апогее своего эпицикла.

В 7-й и 8-й главах излагается более точная модель движения Луны, также принадлежащая Птолемею: согласно этой модели центр деферента не совпадает с центром мира, а движется по кругу с центром в нем, по деференту движется центр эпицикла, по которому вращается Луна в направлении, противоположном движению центра эпицикла. Все три вращения происходят в плоскости орбиты Луны, наклоненной к плоскости эклиптики на указанный угол. Если в простой модели вводилось «уравнение

Луны» α^I, являющееся функцией средней элонгации $\bar{\lambda}_L - \bar{\lambda}_S$ и прибавляемое или вычитаемое из аномалии Луны α, то здесь вводится второе неравенство Луны α^{II}, называемое Бируни «неравенством неравенства». Здесь Бируни определяет и третье неравенство Луны α^{III}, которым, как он замечает, Птолемей пренебрег в силу малости широты Луны. Это неравенство равно $\alpha^{III} = (L - \Omega) \pm (\lambda - \Omega)$, где L — долгота Луны на своей орбите, λ — ее долгота на эклиптике, Ω — долгота ее восходящего узла, причем истинная долгота λ связана с ее средней долготой $\bar{\lambda}$ соотношением $\lambda = \bar{\lambda} + \alpha^{II} + \alpha^{III}$. Здесь же Бируни излагает наблюдения Луны, на основании которых вводятся эти неравенства, и приводит таблицы для определения всех трех неравенств Луны α^I, α^{II} и α^{III}. В 9-й главе Бируни предлагает мысленное моделирование движения Луны, аналогичное моделированию движения Солнца в 5 главе VI книги.

В 10-й главе излагается теория лунного параллакса. Полный параллакс Луны π определяется по правилу, равносильному формуле

$$\sin \pi = \frac{\cos h}{\sqrt{(l - \sin h)^2 + \cos^2 h}},$$

где l — расстояние от Земли до Луны, h — высота Луны при ее наблюдении из центра Земли. Если рассматривать Луну на одном и том же расстоянии от Земли, то для произвольной высоты ее параллакс определяется согласно правилу $\sin \pi = \sin \pi_0 \cos h$, где π_0 — максимальная величина параллакса, когда Луна находится на горизонте.

Далее Бируни приводит правила определения параллакса по широте и долготе π_β и π_λ, если известны полный параллакс π, правила определения высоты Луны и высоты ее «градуса», т. е. точки эклиптики на пересечении ее с кругом широты Луны.

На основе теории лунного параллакса Бируни определяет расстояние Луны от Земли.

В 11-й главе определяются диаметры видимых дисков Солнца и Луны и тени Земли.

Теории солнечных и лунных затмений посвящена VIII книга «Канона Мас'уда». В 1-й главе этой книги рассматриваются суточное продвижение («бухт») Солнца и Луны по долготе и изменение элонгации Луны как функции этих продвижений. Во 2-й главе рассматриваются соединения и противостояния Солнца и Луны. В 3-й главе описываются виды солнечных и лунных затмений, в 4-й главе — виды тени Луны во время затмений. В 5-й главе Бируни формулирует условия наступления затмений, определяет их границы, размеры и продолжительность, условия наступления затмений при восходе и заходе Солнца. В 6-й главе Бируни возвращается к определению диаметров видимых дисков Солнца и Луны и тени Земли.

В 7-й и 8-й главах подробно исследуются затмения Луны: описывается изменение цвета Луны во время затмений, вычисляется площадь ее затмеваемой части, приводятся способы вычисления моментов начала и конца затмений. В 9-й и 10-й главах аналогично исследуются затмения Солнца.

Отметим попытку Бируни объяснить существование солнечной короны: «Что касается хвостов, которые видны вокруг затмеваемого Солнца, наука о природе выяснила, что это — туманные образования, поднимающиеся до того места, где они сгорают в горячем воздухе вблизи огня»[1].

В 13-й главе содержится подробное описание трех стадий утренних и трех стадий вечерних сумерек, приводится описание зодиакального света («волчьего хвоста»), что представляет большой интерес, так как дошедшие до нас сведения о наблюдении древними этого явления немногочисленны.

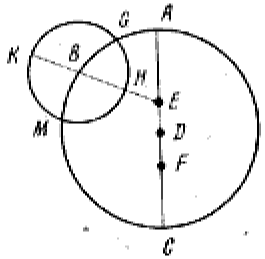
В 14-й главе излагаются условия видимости новой Луны, в 15-й — определяются «стоянки Луны», т. е. участки эклиптики, проходимые Луной в течение суток, в 16-й — определяются лунные сутки. В 17-й главе рассматривается теория затмений у индийцев.

Теория движения планет изложена в X книге «Канона Мас'уда». Движение Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна в соответствии с Птолемеем объясняются с помощью комбинации эксцентрической и эпициклической гипотез: «Тело каждой из [этих] четырех планет обращается особым движением по окружности эпицикла $GKMH$ (рис. 25), от его апогея в направлении последовательности [знаков зодиака] противоположно Луне, так как ее движение от апогея — противоположно последовательности. Центр эпи-

[1] «Канон Мас'уда», стр. 946.

цикла — B движется по окружности деферента. Пусть этот деферент — ABC с центром D, отстоящим от центра E эклиптики на величину ED»[1]. На рис. 25 — A и C — апогей и перигей деферента. H и K — видимые апогей и перигей эпицикла. Однако в отличие от Солнца движение центра эпицикла по деференту не является равномерным, «при среднем движении центр [движения] эпицикла находится не в точке D, так чтобы при этом за равные времена описывались равные углы. Это происходит в точке

Рис. 25



F, удаленной от D на диаметре ADC на ту же величину, что расстояние центра E от D. Если углы [с вершиной в точке F] при движении центра эпицикла за равные времена равны, это — точка экванта движения»[2]. Следовательно, движение центра эпицикла по деференту таково, что оно представляется равномерным только при наблюдении из точки экванта F, симметричной центру Земли E относительно центра деферента.

Движение Меркурия отличается от движения остальных планет тем, что центр деферента не неподвижен, а движется в направлении, противоположном последовательности знаков зодиака по кругу с центром в той точке, в которой у остальных планет находится центр деферента, подобно центру деферента Луны в уточненной модели ее движения.

Бируни подчеркивал, что «центры эпициклов планет сохраняют направление Солнца, как будто оба они [т. е. и центры эпициклов и планеты] соединены с ним»[3]. Мы уже упоминали эту важную особенность системы Птолемея (то, что у нижних планет центры их эпициклов совпадают с Солнцем, а у верхних планет центры их эпицик-

[1] Там же, стр. 1162.
[2] Там же, стр. 1162—1163.
[3] Там же, стр. 1161.

лов, центры самих планет и центры Солнца и Земли являются вершинами параллелограммов), указывающую на то, что эта система является модификацией существовавшей ранее гелиоцентрической системы.

Модели движения планет рассматриваются в 1-й главе X книги. Во 2-й и 3-й главах они излагаются более подробно — для нижних и верхних планет. В соответствии с этой особенностью системы Птолемея Бируни при изложении движения нижних планет указывает: «Что касается движения центров эпициклов Венеры и Меркурия, то это известно как среднее [движение] Солнца»[1], а изложение движения верхних планет он начинает словами: «Что касается объяснения движений этих планет, то линия, выходящая из центра эпицикла одной из них к ее телу, параллельна линии, выходящей из центра эклиптики к среднему положению Солнца»[2].

В 4-й главе приведены таблицы средних долгот Сатурна, Юпитера и Марса и аномалий Венеры и Меркурия, средняя долгота которых отождествляется со средней долготой Солнца, с семью шестидесятеричными знаками для тех же лет, месяцев и дней, что и в аналогичных таблицах для Солнца и Луны, а также таблицы «уравнений» всех пяти планет в функции от их долгот, определяемых с помощью нескольких действий над данными нескольких столбцов. Здесь же приводятся результаты наблюдений как предшественников Бируни, так и его собственных стояний планет, на основании которых он уточняет данные таблиц Птолемея. В 5-й главе рассматривается попятное движение планет; здесь приводится таблица их стояний.

В 6-й главе определяются расстояния планет от центра мира и их объемы. Приведем полученные Бируни округленные максимальные радиусы сфер Солнца, Луны и планет (считая диаметр Земли равным 12757 км) и для сравнения максимальные расстояния Луны, Солнца и планет от Земли и планет от Солнца (большие полуоси орбит Луны, Земли и пяти планет) по современным данным (верхняя таблица на стр. 115).

Приведем также величины диаметров Солнца и планет в масштабе, равном диаметру Земли, по Бируни и для сравнения по современным данным (нижняя таблица на стр. 115).

---

[1] «Канон Мас'уда», стр. 1172.
[2] Там же, стр. 1175.

Расстояния Солнца, Луны и планет

Светило	По Бируни: в земном масштабе	По Бируни: в км	По современным данным
Луна	64	816 448	384 400
Меркурий	170	2 168 690	57 800 000
Венера	1134	14 466 428	108 100 000
Солнце	1233	15 729 381	149 500 000
Марс	8843	112 873 836	227 700 000
Юпитер	14109	205 502 513	777 600 000
Сатурн	19666	251 079 162	1 426 100 000

Диаметры Солнца и планет

Светило	По Бируни	По современным данным
Солнце	9/4=2,25	109,0
Меркурий	1/15·9/4=0,15	0,37
Венера	1/10·9/4=0,225	0,97
Марс	1/20·2/4=0,1125	0,54
Юпитер	1/12·9/4=0,1875	11,14
Сатурн	1/18·9/4=0,125	9,4

В 7-й главе Бируни предлагает мысленное моделирование движения планет, аналогичное рассмотренному выше моделированию движений Солнца и Луны.

В 8—10-й главах рассматривается движение планет по широте; в 10-й главе приводится таблица широт пяти планет в функции от их средней долготы.

В 11-й главе описывается появление и исчезновение планет в лучах Солнца, в 12-й — соединения планет и закрытие одних из них другими, в 13-й — закрытие планет Луной.

Описание движения Солнца, Луны и планет без изложения теории этих движений и их таблиц имеется также в «Науке звезд», где приведены схемы этих движений, схема фаз Луны и схемы различных видов затмений.

5. Звездная астрономия

Бируни вслед за Птолемеем подразделял звездное небо на 48 созвездий и на звезды, находящиеся «вне созвездий», причем кроме 12 зодиакальных созвездий, расположенных вдоль эклиптики и соответствующих знакам зодиака, выделялись 21 северное и 15 южных созвездий.

Приведем часть описания звездного неба из «Науки звезд» Бируни:

«Каковы созвездия на эклиптике? Это — те, которые называются по знакам зодиака. Названия этих созвездий: первое от точки весеннего равноденствия — Овен; это созвездие похоже на барана, который повернулся назад, так что его морда обращена назад. Второе — Телец, в виде передней части быка, нагнувшего голову для бодания и разрубленного пополам до пупа. Третье — Близнецы, в виде двух мальчиков, стоящих прямо, причем рука одного находится на плече другого. Четвертое — Рак, имеющее вид целого рака. Пятое — Лев, похожее на льва. Шестое — Дева, в виде девушки с двумя крыльями и развевающимся платьем. Седьмое — Весы, в виде весов. Восьмое — Скорпион, похожее на скорпиона. Девятое — Стрелец, похожее на коня до шеи, от которой поднимается половина человека с длинными волосами, вставившего стрелу в лук и натянувшего его. Десятое — Козерог, спереди имеющее вид козленка, а сзади имеющее вид рыбы до конца ее хвоста. Одиннадцатое — Водолей, в виде стоящего человека с расставленными руками, в одной из которых находится перевернутая чаша, из которой под его ноги льется вода. Двенадцатое — Рыбы, в виде двух рыб, хвосты которых связаны нитью, называемой Льняной нитью» [1].

Звездной астрономии посвящена X книга «Канона Мас'уда». Здесь в 1-й главе содержится классификация небесных тел на звезды и планеты, во 2-й — классификация звезд по «величине» (фактически — по яркости), указывается, какие крупные созвездия видны на различных широтах, дается описание Млечного Пути и «туманных звезд», т. е. туманностей. Заметим, что подробное описание туманностей Бируни дал в вопросе: «Каковы

[1] «Наука звезд», стр. 69—70.

положения, опасные для глаза?» в астрологической части «Науки звезд» [1].

В 3-й главе «Канона Мас'уда» рассматривается прецессия, благодаря которой эклиптическая долгота λ каждой звезды постоянно увеличивается, в частности со времен Птолемея до времен Бируни λ увеличилась на 13°; здесь же приводятся наблюдения на протяжении многих веков над различными звездами, подтверждающие явление прецессии. В 4-й главе рассматриваются эклиптические долготы и широты звезд и видимое движение звезд вокруг полюсов мира и определяются незаходящие звезды, восходящие и заходящие звезды и невосходящие звезды для данной широты местности.

Важнейшей частью X книги «Канона Мас'уда» является 5-я глава, где приводится каталог неподвижных звезд, аналогичный каталогам Птолемея и Абу-л-Хусейна Суфи, работавшего в Ширазе в X в. В каталоге указаны 1029 звезд, их общие номера по каталогу и по долготе и их номера в созвездии, их эклиптические координаты λ и β, их северная или южная сторона (указание которой равносильно указанию знака широты β) и «величина» звезды по Птолемею и Суфи, характеризуемая числом от 1 до 6 («звезда первой, второй... шестой величины»), иногда со значком «больше» или «меньше».

В предисловии к этим таблицам Бируни пишет: «В этих таблицах установлены те же положения звезд, что и в книге „Алмагест", но к ним прибавлены тринадцать градусов по долготе, о чем было упомянуто раньше. Это было сделано после весьма заботливого исправления их по нескольким экземплярам в разных переводах и с добавлением того, что следовало добавить, после того как они стали похожими на оригинал. Мы усердно исправляли и то, что нашел Абу-л-Хусейн Суфи, так как, хотя он видел несоответствия, достойные изумления и порицания, это не произвело на него впечатления и он не взял на себя ответственности, чтобы исправить все это. Его способность критически рассмотреть и исправить это затмило то, что он, благодаря уважению и заботе господ, высокому положению и богатству, променял твердость души, проницательность и полное спокойствие на легкость в речах и многочисленных помощников. Из-за сильного рвения сохранить

[1] Там же, стр. 272—273.

Абсолютный номер	Номер по долготе	Номер в созвездии	Положение звезд в созвездиях	Долгота: знаки зодиака	Долгота: градусы	Долгота: минуты	Широта: градусы	Широта: минуты	Сторона	Величина: по Птолемею	Величина: по Суфи
			Созвездие Малой Медведицы								
1	274	1	Конец хвоста, т. е. Козленок кыблы	2	13	10	66	0	Северная	3	3
2	288	2	Середина хвоста	2	16	10	70	50		4	4
3	314	3	Начало хвоста	2	23	0	74	50		4	4
4	359	4	Южная на передней стороне прямоугольника туловища	3	13	10	74	30		4	4
5	357	5	Северная из двух	3	12	10	77	20		4	5б
6	412	6	Южная на второй стороне прямоугольника, т. е. более яркая из двух Телят	4	0	10	72	50		2	2
7	435	7	Северная из этих двух	4	9	10	74	50		2	3
			Вне Малой Медведицы								
8	393	1	Та, которая в направлении двух Телят на юг от них	3	26	0	71	4		4	3

это искусство и все прочее, связанное с ним, я рассмотрел большинство этих данных, не получая от этого пользы, несмотря на ослабление физических сил и старость»[1].

На стр. 118 приведено начало звездного каталога Бируни[2].

Здесь «Козленок кыблы» — Полярная звезда, α Малой Медведицы (название «Козленок кыблы» означает, что эта звезда помогает определить направление на Мекку), «Телята» — звезды β и γ Малой Медведицы.

На рис. 26 воспроизведена страница этого каталога, относящаяся к созвездию Большой Медведицы, из рукописи «Канона Мас'уда», хранящейся в Британском музее (Лондон).

В 6-й главе рассматриваются положения неподвижных звезд по отношению к Солнцу, и в частности «сгорание» звезд при их соединении с Солнцем.

В 7-й главе X книги рассматриваются гелиакические восходы и заходы звезд.

Две последние главы X книги «Канона Мас'уда» посвящены «стоянкам» Луны и «анва», игравшим важную роль в доисламской арабской астрономии.

Стоянки Луны, как мы уже говорили,— участки эклиптики, проходимые Луной в течение суток. Эклиптика делится на 28 таких участков, определяемых группами звезд. Приведем названия первых семи «стоянок» Луны (в скобках указаны современные названия определяющих их звезд): 1) «Два знака» (β и γ Овна), 2) «Брюшко» (δ, ε и ρ Овна), 3) «Плеяды» (группа из 6 звезд — η и др. Тельца), 4) «Альдебаран» (α Тельца), 5) «Кружок из волос» (туманность λ Ориона, которую Бируни считал 3 звездами), 6) «Хан'а (γ и ξ Близнецов), 7) «Локоть» (α и β Близнецов).

Большинство названий стоянок Луны — древнеарабского происхождения, некоторые связаны с греческими созвездиями. В 7-й главе Бируни подробно описывает стоянки Луны, а также приводит их индийские названия.

Стоянки Луны рассматриваются также в «Науке звезд», им посвящена последняя глава «Хронологии», 56-я глава «Индии» и «Книга об уточнении стоянок Луны».

Доисламские арабы связывали с восхождениями и захождениями стоянок Луны дождливую и ветреную

[1] «Канон Мас'уда», стр. 1012.
[2] Там же, стр. 1014.

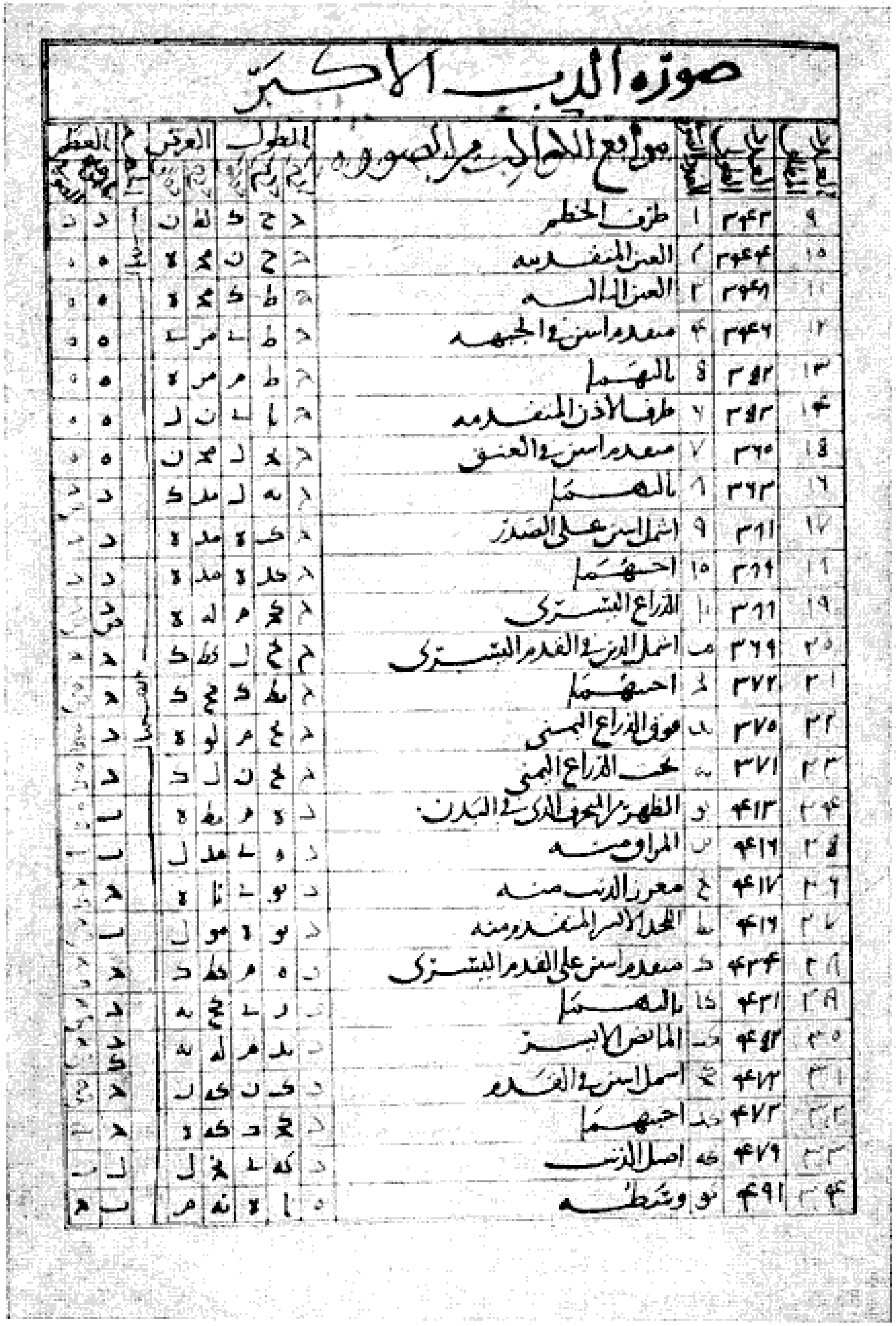


Рис. 26 Таблица неподвижных звезд (созвездие Б. Медведицы) в «Каноне Мас'уда» (рукопись Британского музея)

погоду («анва» и «баварих»), вследствие чего эти восхождения и захождения играли важную роль в их жизни. Поэтому доисламские руководства по астрономии обычно носили названия «Книга об анва». В 9-й главе X книги «Канона Мас'уда» Бируни подробно излагает учение об анва и приводит таблицы, в которых указаны восхождения и захождения стоянок Луны и соответствующая им погода.

В 80-й главе «Индии» в связи с астрологическими предсказаниями индийцев, связанными с кометами, Бируни приводит таблицу десяти «высоких комет в воздухе» и семи «средних комет в воздухе» [1].

Бируни был также автором ряда не дошедших до нас сочинений о кометах и метеорах: «Книги об указании влияния небесных [явлений] на земные события», «Об опровержении пустых мнений, пришедших на ум некоторым врачам, по вопросу о звездах, появляющихся в воздухе», книги «Речь о светилах, обладающих хвостами и локонами», «Книги о [телах], сияющих в воздухе и появляющихся с высоты», «Книги о рассмотрении того, что говорил Абу Сахл Кухи о падающих звездах» и «Книги об обсуждении известного метода, упомянутого в „Книге о небесных явлениях"». Бируни, так же как его современники, считал, что движение комет происходит в верхних слоях атмосферы.

* * *

Обзор астрономических работ Бируни показывает, что он внес существенный вклад почти во все разделы астрономии. Изложение вопроса о неподвижности и движении Земли даже в тех его сочинениях, где Бируни придерживался общепринятой в его время точки зрения о ее неподвижности, указывает на то, что он много размышлял по этому поводу и был весьма близок к идее движения Земли. Бируни решил ряд теоретических задач сферической астрономии и гномоники, связанных с тригонометрией, и провел ряд важных измерений угла наклона эклиптики к небесному экватору. Бируни построил теорию неравномерного движения Солнца и провел ряд наблюдений Солнца и измерений продолжительности года; Бируни уточнил также птолемеевскую теорию дви-

[1] «Индия», стр. 535—537.

жения Луны, введя третье неравенство Луны, и наблюдал планеты с целью уточнения их движения. Весьма интересны наблюдения цвета Луны во время затмений, солнечной короны и зодиакального света. Бируни уточнил положения ряда неподвижных звезд и составил новый звездный каталог, а также наблюдал и пытался теоретически осмыслить движение комет. «Канон Мас'уда» Бируни на много столетий стал основным руководством ученых Ближнего и Среднего Востока по астрономии.

В следующей главе мы рассмотрим астрономические инструменты Бируни, а сейчас кратко остановимся на сочинениях Бируни, относящихся к астрологии.

6. Астрология

Вопросы, связанные с астрологией, рассматриваются в XI книге «Канона Мас'уда», в двух частях «Науки звезд», в 80-й главе «Индии», в ряде разделов «Хронологии» и во многих трактатах Бируни. Это неудивительно, так как в средние века и даже значительно позднее почти каждый астроном был вынужден заниматься астрологическими предсказаниями, поскольку правителей, субсидировавших астрономические исследования, интересовали не сами эти исследования, а предсказания.

XI книга «Канона Мас'уда» и одна из частей «Науки звезд» посвящены натуральной астрологии, т. е. разделам астрономии, трактующим о соединениях светил, о нахождениях их в одном знаке зодиака или в знаках зодиака, находящихся на $^1/_3$, $^1/_4$, $^1/_6$ и т. д. эклиптики («в тригональном аспекте», «в квадратуре», «в гексагональном аспекте» и т. д.), об их прохождениях через определенные точки или окружности небесной сферы, об астрологических операциях «дирекции» и «проектирования лучей» («афесис» и «актиноболия» античных астрологов) и о других астрономических вопросах, используемых в «юдициарной астрологии», т. е. в «искусстве» астрологических предсказаний. Натуральной астрологии посвящен и трактат Бируни «Прохождение».

Астрологические предсказания, как указывает Бируни в «Науке звезд», подразделяются на 4 класса: 1) о событиях, относящихся ко всей Земле, 2) о событиях, относящихся к одной или нескольким странам или городам, 3) о судьбе отдельного человека, 4) об успехе или неудаче отдельного мероприятия.

Наиболее частые астрологические предсказания двух последних классов производились следующим образом: устанавливался момент рождения человека или начала мероприятия, рассматривалось расположение небесных светил в этот момент и делались выводы о благоприятности или неблагоприятности такого расположения. Выводы делались на основании следующих операций: для установленного момента находились «гороскоп»— точка пересечения эклиптики с восточной частью горизонта, а также точки пересечения эклиптики с меридианом ниже горизонта («середина Земли»), с западной частью горизонта («заход») и с меридианом выше горизонта («середина неба»). Между каждыми двумя из этих четырех точек эклиптики, называемых «колышками», находились еще две точки эклиптики. Таким образом, эклиптика делилась на 12 «астрологических домов». Процесс нахождения необходимых точек назывался «эквализацией домов». «Гороскоп», «середина Земли», «заход» и «середина неба» давали начало соответственно I, IV, VII и X домам. Дома определяли положения жизни, богатства, братьев и сестер, родителей, детей, болезней, брака, смерти, путешествий, власти, друзей, врагов. Затем астролог смотрел, части каких знаков зодиака попали в какие дома и в каких домах находятся Солнце, Луна и планеты. Каждый знак зодиака и каждое из указанных светил считались благоприятствующими или неблагоприятствующими в тех или иных отношениях. А на основании того, в какие дома и какие знаки зодиака и светила попали, делался вывод о вопросах, связанных с этими домами.

В астрологической части «Науки звезд» Бируни подробно изложил догмы астрологов эллинистических стран, Индии, Ирана и Средней Азии об астрологическом значении различных знаков зодиака, светил и домов.

Техника астрологических предсказаний описана Бируни следующим образом: «Для всего существующего имеется время его первого появления, оно определяет гороскоп и расположение светил...» [1]. Из расположения светил и созвездий определяются «хайладж», «домовладыка», «берущие верх», «дары», «добавляющие», «сокраща-

[1] «Наука звезд», стр. 323.

ющие» и «пресекающие». Перечисленные здесь термины — точки эклиптики, определяемые часто с некоторым произволом, например «хайладж ищется в пяти местах: первое — время появления Солнца и Луны, второе — конец видимости Луны днем, а Солнца ночью, третье — градус гороскопа, четвертое — жребий счастья, пятое — градус соединения или противостояния Луны перед рождением, хайладж — один из них, он определяется по специальным правилам» [1]; по хайладжу определяется «домовладыка».

Далее определялась «перемена года рождения»— момент, когда Солнце находится в той же точке эклиптики, что и в момент, для которого составляется гороскоп; по переменам годов определялись астрологические операции, которым подвергались полученные данные, в результате чего эти данные снабжались числовыми характеристиками. Из этих подчас противоречащих друг другу «указаний» различных светил и знаков зодиака получалось определенное предсказание.

Сущность астрологии вскрывается Бируни в последнем вопросе «Науки звезд»: **«Что такое угадывание скрытого и чтение тайных мыслей?** Угадывание скрытого относится к тому, что скрыто, например спрятано в кулаке, чтение тайных мыслей относится к мыслям, задуманным спрашивающим. Астрологи, имеющие большую практику, очень быстро понимают все обстоятельства, так же как многочисленны удачи гадальщиков благодаря их словам, которыми они пользуются, задавая вопросы, и их вниманию ко всем указаниям и действиям [спрашивающих]» [2]. Таким образом, Бируни рекомендует внимательно наблюдать за всеми указаниями и действиями клиента, задавать ему дополнительные вопросы, выяснять все обстоятельства дела и по существу без наблюдения светил приходить к нужному выводу. А теперь можно, надлежащим образом выбирая хайладж и другие астрологические элементы, получить как раз то предсказание, к которому астролог пришел заранее.

При этом Бируни считал необходимым выполнить все астрологические операции и получить требуемый вывод как «приговор звезд». О тех астрологах, которые не выполняют этих условий, Бируни говорит в предпоследнем вопросе «Науки звезд»: **«Что такое праздная задача?** Ее называют так, а также „всеобщей задачей“. Согласно книгам многих астрологов это — следование процедуре одной задачи при решении другой, например установление гороскопа требуемого времени. Они проверяют аспекты, как для рождения, и делают выводы, как об оставшемся сроке жизни и о положениях в нем. Среди них имеются такие, которые увеличивают [характеристики] рождений, получая за счет этого истекшую часть жизни спрашивающего. Хашвитские астрологи, склонные к обману, когда им задается вопрос, приказывают спрашивающему вернуться и спать три ночи, и сосредоточить свое внимание на этом в течение дня, и только после этого задавать вопрос. Я не знаю более грубых утверждений в этом деле, кроме совершенного произвола, так как они явно порочны; когда же их предсказания не сбываются, они говорят, что спрашивающий исказил то, что ему сказали» [1].

«Астрологи, склонные к обману», о которых пишет Бируни, под видом решения одной задачи фактически решают совсем другие задачи и попросту морочат голову клиентам. Хашвитами Бируни называет тех, кто считал бога обладающим человеческими и моральными качествами; в «Хронологии» он называл их «неотесанными хашвитами».

Вынужденный составлять астрологические предсказания для тех, от кого он зависел, Бируни ясно видел вздорность догм и принципов астрологических предсказаний. Он открыто осуждал астрологические предсказания в «Геодезии»: «Ведь искусство предсказаний вообще имеет слабые основы, как слабы и исходящие из них производные положения. Измерения, [производимые] в нем,— сумбурны, и предположения преобладают над достоверным знанием. И если предметом [астрологии] являются [различные] фигуры расположения светил, возникающие в зависимости от [точек] самой сферы или от ее соотношения с горизонтом, то никогда она ничего не даст, если этот предмет ее будет неверным.

Но как же этот предмет может быть верным, когда неизвестно местонахождение [объекта], для которого ве-

[1] «Наука звезд», стр. 323.
[2] Там же, стр. 332.

[1] Там же, стр. 332.

дутся расчеты и которому предсказывается судьба по гороскопам „соединений“ и „встреч“, и когда действительные [положения этих фигур] противоречат используемым! А если, несмотря на это, [гороскопы] все же оказываются верными, значит, предмет данного „искусства“ — расчеты астрологов, а не местонахождение и формы [расположения] светил, что в конце концов доведет астрологов, если они будут упорствовать [в этом], до полного подобия астрологии [гаданию] по линиям восьмигранника с выпадением счастливых, остерегающих и дурных предзнаменований»[1].

«Расчеты астрологов», о которых здесь пишет Бируни, — астрологические операции, позволяющие астрологу получить в качестве «приговора звезд» заранее известный вывод.

В предисловии Бируни к его «Библиографии», как мы уже упоминали, также содержится осуждение астрологии.

Во многих местах своих астрономических сочинений Бируни критикует астрологов за их антинаучные утверждения. Например, в VIII книге «Канона Мас'уда» Бируни писал: «Еще более далеко от истины мнение о том, что Солнцу и Луне присущ белый цвет, если они находятся в Голове, и черный, если они — в Хвосте. Это мнение возникает из порочных воззрений, идущих не от религии, а от искусства приговоров [звезд]»[2]. Прямому разоблачению методов астрологов был, по-видимому, посвящен трактат Бируни «Предостережение против искусства обмана, т. е. приговоров звезд».

[1] «Геодезия», стр. 260.
[2] «Канон Мас'уда», стр. 929—930.

Глава четвертая

Астрономические инструменты

Астрономические инструменты не случайно называли в старину инструментами математическими: они предназначены для решения задач астрономии, а принцип их действия основан на законах математики. Все дотелескопические инструменты, применяемые в астрономии с древности, по их конструкциям и методам использования можно разбить на пять основных видов: 1) солнечные инструменты — теневые и лучевые, 2) диоптрийные — круговые и линейные, 3) диоптрийно-моделирующие, 4) моделирующие (демонстрационные) инструменты и 5) приборы для определения времени, основанные на измерении изменяющихся объемов наполняющего вещества.

Ученые средневекового Востока значительно усовершенствовали античные астрономические инструменты и разработали новые, оригинальные конструкции. Почти у всех астрономов VIII—XV вв. мы встречаем специальные труды, посвященные астрономическим инструментам. Некоторые авторы описывают собственные конструкции, другие — дают обобщающие обзоры инструментов того или иного вида. Такие обзоры широко использовались в качестве руководств при изготовлении этих инструментов. Совершенствование технического мастерства и конструктивных схем давало возможность астрономам повысить точность наблюдений.

Бируни, придавая большое значение правильности астрономических наблюдений, на которых он основывал свои теоретические выводы, много внимания уделял теории астрономических инструментов, практике их изготовления и методике работы с ними. Он считал, что высокой точности результатов наблюдений может достигнуть лишь тот, кто наряду с астрономической теорией «знает астрономические инструменты, умеет их установить и обращаться с ними»[1].

Созданные Бируни инструменты и разработанные им методы наблюдений позволили ученому достигнуть высокой по тем временам точности измерений. Как мы увидим в следующей главе, погрешность определения широт пунктов в большинстве случаев не выходила за пределы 1°. Бируни не только разрабатывал новые конструкции инструментов, но зачастую и сам участвовал в их изготовлении. Мы уже упоминали, что в первые годы пребывания в Газне он не имел инструментов и вынужден был сам изготовлять их, используя то, что было под руками. Весьма вероятно, что навыки в изготовлении инструментов Бируни унаследовал от своего учителя Ибн Ирака, среди многочисленных трудов которого был и трактат «Техника изготовления астролябии»[2]. В этом отношении большое влияние на Бируни оказал и Ходженди, с которым он сблизился в Рее и которого очень высоко ценил, считая его «исключительным явлением своей эпохи в деле изготовления астролябий и других инструментов»[3]. Мастерство самого Бируни было в свою очередь также высоко оценено учеными. Например, Байхаки в «Истории Мас'уда» писал, что из книги Бируни «Астролябии» и из других его трудов «ясно видно, что этот совершенный учитель был таким же авторитетом в науках умопостигаемых и повествуемых, как и господином того, что ощущается чувствами и создается человеческими руками. В воспроизведении искусственных вещей практического порядка он достиг того, что его изобретательная рука столь наглядно показала на нескольких таблицах разделы небес и карты звезд, что как будто все небесные скрижали были открыты перед его духовными очами»[4].

Перечисляя в «Библиографии» свои труды, Бируни назвал пять сочинений, «касающихся астрономических инструментов и работы с ними». Это «Исчерпание всех возможных способов в построении астролябий» («Астролябии»), «Картография», «О том, что превращает потенцию астролябии в действенность», «О применении сферической астролябии» и «Об облегчении исправления астролябии и действий с [астролябиями], составленными из северной и южной». Сохранились еще «Трактат об астролябии» («Астролябия») и небольшое сочинение «Рассказ об инструменте, называемом Фахриевым секстантом»[1]. Два трактата об астролябии были написаны Ибн Ираком «на имя» Бируни. Рассмотрению конструкций различных астрономических инструментов и наблюдениям с ними посвящены многие страницы «Канона Мас'уда», «Науки звезд», «Геодезии» и других сочинений Бируни.

Обстоятельные описания Бируни послужили важным источником при подготовке Абу-л-Хасаном Али ал-Маракуши (XIII в.) его знаменитого трактата об астрономических инструментах. Перевод первой половины этого трактата на французский язык, выполненный в 30-х годах XIX в. Ж. Седийо[2], привлек внимание европейцев к восточным инструментам. В начале XX в. несколько статей об инструментах Бируни, описанных в «Астролябиях», опубликовал Э. Видеман. Сведения об инструментах, описанных в «Геодезии», приведены во вводной статье и комментариях П. Г. Булгакова к этому труду[3].

В настоящей главе рассматриваются все основные инструменты, которыми пользовался Бируни в астрономической практике и которые упоминал в своих трудах.

1. Солнечные инструменты

Солнечные инструменты по принципу действия можно подразделить на две группы: а) теневые или гномонные инструменты, основанные на измерении в определенный момент величины и направления изменяющейся со временем тени, отбрасываемой на шкалу освещаемым Солнцем прямолинейным стержнем — гномоном; б) лучевые инструменты, основанные на измерении в определенный момент на шкале положения (изменяющегося

---

[1] «Хронология», стр. 227.
[2] См. *П. Г. Булгаков.* Указ. соч., стр. 11.
[3] «Геодезия», стр. 136.
[4] Цит. по: *А. А. Семенов.* Бируни — выдающийся ученый средневековья.— В кн.: Бируни — великий ученый средневековья. Ташкент, 1950, стр. 30.

[1] Перевод этого трактата — на стр. 137—138 настоящей книги.
[2] Traité des instruments astronomiques des arabes composé au treizième siècle par Abou Hhassan Ali de Maroc... traduit de l'arabe sur le manuscrit 1147 de la Bibliothèque Royale par J. J. Sédillot et poublié par L. A. M. Sédillot. Paris, T. I, 1834; T. II, 1835.
[3] *П. Г. Булгаков.* Указ. соч., стр. 52—53.

со временем) солнечного блика, образуемого лучами, проходящими через специальное отверстие.

Гномон представляет собой важнейшую составную часть теневых солнечных инструментов. Тень гномона движется по плоскости инструмента и описывает кривые, являющиеся коническими сечениями — линиями пересечения этой плоскости и наклонного кругового конуса, вершиной которого является вершина гномона, а основанием — круг видимого движения Солнца на небесной сфере. Бируни писал о гномоне в 11-й главе IV книги «Канона Мас'уда»: «Следует представить себе конец гномона как общую вершину двух симметричных конусов, расположенных так, что их основаниями являются два круга, находящиеся по обе стороны от экватора дня, так что если Солнце обращается по одному из этих кругов, то его луч, проходящий между вершиной гномона и этими кругами по соединяющей их [прямой] линии, описывает конус, называемый конусом луча. Если двигаться по направлению луча, можно достигнуть соответственной [точки на] окружности другого круга, так как вершину гномона можно принять за центр мира. Получающийся таким образом конус называется конусом тени. Плоскость горизонта пересекает его по двум противоположным ветвям гиперболы. Поэтому конец тени [гномона] описывает на обитаемой части Земли гиперболу, стрела которой — линия меридиана, а конец полуденной тени совпадает с ее вершиной. Поэтому она является самой короткой тенью в течение дня. Что касается [местностей], не принадлежащих к обитаемой части [Земли], широты которых не ограничены дополнением наибольшего склонения в северную сторону, то конец тени там описывает параболы, гиперболы, эллипсы и круги»[1]: на «обитаемой части Земли», т. е. при широте φ местности, меньшей $90° - \varepsilon$, конец тени гномона описывает гиперболу, на полярном круге ($\varphi = 90° - \varepsilon$) он описывает гиперболу или параболу, а за полярным кругом ($\varphi > 90° - \varepsilon$) он описывает гиперболу, параболу или эллипс. Более подробно Бируни изложил этот вопрос в «Гномонике».

Так как тени гномона на горизонтальной и вертикальной плоскостях являются соответственно котангенсом

---

[1] «Канон Мас'уда», стр. 423.

и тангенсом высоты Солнца (откуда и происходят названия этих линий «плоская тень» и «обращенная тень»), гномон можно также отнести к угломерным инструментам.

Широким использованием на Востоке гномонов для решения разнообразных задач астрономии объясняется и разнообразие конструктивных решений их установки. Так, в «Геодезии» Бируни описал своеобразный гномон для измерения полуденной высоты Солнца: Абу-л-Фадл ибн ал-ʿАмид «велел построить в Рее стенной инструмент и установил на нем измерительную шкалу, диаметр основания которой — три сложенных вместе пальца. Он измерял [полуденную] тень от стены с помощью нити, [двигающейся] посреди измерителя»[1].

Гномон применялся Бируни и для непосредственного измерения широты местности. Этот инструмент, по его описанию, представляет квадратный щит с перпендикулярным к нему гномоном, разделенным, как обычно, на 12 «пальцев», $6^1/_2$ «ступни», или 60 частей. До установки гномона на щите из точки его основания раствором циркуля, равным «плоской тени» склонения Солнца в данный день, описывается окружность. «Затем, — писал Бируни,— поставим шест в этом центре под прямым углом и установим щит поперек полуденной линии, то есть так, чтобы его край касался линии равноденствия. Шест мы должны обратить в сторону того полюса, где склонение Солнца. Затем понемногу начнем поворачивать щит через этот край, не нарушая его параллельности линии равноденствия и не отрывая его от нее, пока край тени [от шеста] не достигнет линии начертанной окружности. Угол, образованный щитом и плоскостью горизонта, будет равен дополнению широты данного города»[2].

Угол наклона щита к плоскости горизонта определяется тем условием, что проекция гномона, длину которого можно обозначить через l, на перпендикулярную к нему плоскость равна $l \operatorname{ctg} \delta$, где δ — склонение Солнца, т. е. лучи Солнца будут пересекать гномон под углом δ. Так как щит пересекает плоскость горизонта на «линии равноденствия», идущей с востока на запад, то гно-

---

[1] «Геодезия», стр. 130, В примечаниях к «Геодезии» П. Г. Булгаков дает схематический чертеж этого инструмента.

[2] Там же, стр. 151. Схематический чертеж инструмента приведен также П. Г. Булгаковым в примечаниях к «Геодезии».

мон находится в плоскости меридиана, и указанное условие равносильно тому, что щит параллелен плоскости небесного экватора, а гномон направлен по «оси мира». Угол между плоскостями небесного экватора и горизонта равен $90° - \varphi$, где φ — широта местности.

Гномоны устанавливались не только на плоских поверхностях. Бируни сконструировал инструмент, в котором гномон, перемещающийся на полушаре, не должен был отбрасывать тень вообще — выбиралось такое его положение, чтобы он не давал тени. Сам Бируни так

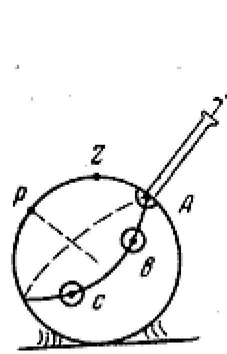


Рис. 27

описал этот инструмент (рис. 27) [1]: «Можно также взять цельный шар и поместить его на любую плоскость, будь она параллельна или не параллельна горизонту, укрепив его на ней так, чтобы он не сдвигался с места и не изменял своего положения. Затем надо изготовить ровный шест с основанием, края которого [плотно] прилегали бы к поверхности шара [благодаря вогнутости основания], симметричной [выпуклости шара]. Шест должен стоять на основании под равными углами.

На шаре отыскивается такое обращенное к Солнцу место, на котором исчезает тень поставленного на него шеста. Вокруг основания шеста описывается окружность; эта [работа] производится три раза в течение дня, и [на шаре] отмечаются три центра окружностей, [описанных вокруг] основания шеста. Затем выискивается полюс окружности, которая должна пройти через эти три центра. Он окажется под зенитом Северного полюса.

[1] Приведен П. Г. Булгаковым в примечаниях к «Геодезии».

Затем находят на шаре место, [отвечающее следующему условию]: если поставить на него шест и опустить отвес с остроконечным [грузом], он должен упасть на верхний конец шеста, а если убрать шест, то отвес [из той же точки] должен опуститься в центр основания шеста. Тогда центр основания шеста явится точкой, находящейся под зенитом данного места. Расстояние между ней и между первой точкой, [измеренное] по большому кругу, будет дополнением широты города. Если мы вычтем его из девяноста, останется широта города.

Оба пути по сути — одно и то же, но последний легче и менее трудоемкий, когда есть в наличии подходящий готовый шар» [1].

Гномонные инструменты широко использовались в древности и в средние века для определения стран света, что, как известно, служит необходимым условием для применения многих астрономических инструментов. Эту задачу, ставшую благодаря компасу такой простой, Бируни умел решать многими способами. Так, в 15-й главе IV книги «Канона Мас'уда» он излагает восемь способов определения стран света. Приведем четыре из них: «Для определения этого необходимо выровнять некоторый участок на поверхности Земли так, что если налить на него что-нибудь жидкое — воду или другую жидкость, например ртуть, поверхность которой неустойчива, или поместить на нем что-нибудь катящееся, например орех, положение которого [также] неустойчиво, то это [вещество или предмет] может отклониться в любом направлении, если тот, кто разровнял участок, имеет точную руку. В каком-нибудь месте площадки вертикально устанавливается ровный столб. Далее наблюдаем полуденную высоту Солнца, и когда высота Солнца — наибольшая за этот день, то от основания столба проведем через середину ширины тени, [отбрасываемой столбом], линию, которая рассечет тень по ее длине до конца, и продолжим ее в обе стороны. Это и будет линия полдня. Недостаток этого построения — в том, что наибольшая высота обнаруживается около полуденного круга и в течение целого промежутка времени Солнце изменяет свой азимут, но изменение его высоты неощутимо».

[1] «Геодезия», стр. 113.

«Другой из [этих способов] состоит в том, что установленный гномон делят на двенадцать равных частей и [в этих единицах] определяют величину полуденной тени в этот день. На расстоянии полуденной тени вокруг основания гномона описывается круг, и тень наблюдается до тех пор, пока ее конец не коснется окружности этого круга. Тогда к месту пересечения из центра проводится прямая линия, которая продолжается в обе стороны. Это и будет полуденная линия. Этот способ имеет два недостатка: один из них [заключается] в том, что... вблизи полуденного круга... в течение некоторого времени тень не изменяется по величине, хотя азимут [Солнца] изменяется, и тень отклоняется в обе стороны от линии полдня. Второй недостаток состоит в том, что ощутимое касание круга с концом тени отличается от воображаемого, так как оно происходит не в [одной] точке и [продолжается] в течение некоторого промежутка времени».

«[Еще] один способ [состоит в] том, что в данный день вычисляется тень [от гномона], соответствующая высоте [Солнца], не имеющей азимута [1], причем и величина [этой тени] определяется частями гномона. На этом расстоянии вокруг основания гномона описывается круг, и конец тени наблюдается до тех пор, пока он не войдет в круг, если измерение проводится до полудня, или пока он не выйдет из [круга], если измерение проводится после полудня. Из полученной точки входа или выхода проводится диаметр круга; этот диаметр и есть линия равноденствия. Недостаток этого [способа] — в том, что он ограничен одним моментом времени и не годится для другого момента времени, и может оказаться, что дождаться этого невозможно, но этот способ — меньшее зло, чем тот, при котором пользуются полуденной тенью, благодаря быстроте движения конца тени здесь и медленности этого движения там».

Четвертый способ «состоит в применении круга, известного [под названием] индийского. Этот круг чертится на плоской поверхности, а в его центре устанавливается гномон. Обычно его делают равным четверти диаметра круга... Далее наблюдается тень этого гномона во время утренней половины дня, когда она уменьшается и сокращается, до тех пор пока не войдет в круг. В месте входа тени в круг делают отметку и далее наблюдают тень гномона во время вечерней половины дня, [когда] она увеличивается, до тех пор пока она не выйдет из круга. При выходе ее за пределы окружности также делается отметка. Эти две отметки соединяют прямой линией, являющейся хордой двух сегментов; через середины их дуг, середину хорды и центр проводят прямую линию. Это — полуденная линия, а диаметр, перпендикулярный

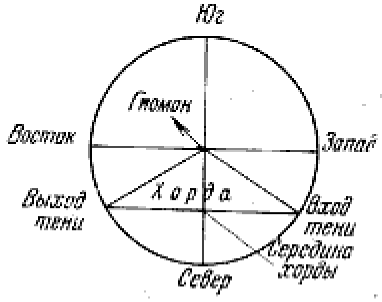


Рис. 28

ей, — линия равноденствия. Одной из этих точек и центра достаточно для того, чтобы определить остальные, так как они противоположны друг другу» [1].

Рекомендуя использовать для наблюдений «индийский круг» и сам применяя его, Бируни обращал внимание на недостатки этого способа.

«Вот чертеж индийского круга [рис. 28], — писал Бируни, — недостаток его в том, что он строится параллельно [суточным] кругам и экватору дня, так что конец каждой из равных теней отклоняется от [линии] полудня в сторону по [линии] пересечения плоскости [суточного] круга и плоскости горизонта. Но в действительности кругов, параллельных экватору дня, не существует по той причине, что Солнце в своем движении всегда непрерывно изменяет свое склонение в каждый момент времени, в особенности в тот [момент], который наиболее удален от [моментов] обоих солнцестояний» [2].

Так как суточные круги Солнца на небесной сфере каждый день меняют свое положение, изменяется поло-

[1] Так как астрономы средневекового Востока отсчитывали азимут от точки запада, Солнце «не имело азимута», т. е. имело нулевой азимут, когда оно находилось над линией равноденствия (восток — запад).

[1] «Канон Мас'уда», стр. 445—447.

[2] Там же, стр. 449. На чертеже Бируни, как и на всех чертежах ученых средневекового Востока, юг **вверху**.

жение и гипербол на плоскостях солнечных часов, являющихся центральными проекциями суточных кругов. Если мы отметим на этих гиперболах точки, соответствующие одному и тому же часу, то получим так называемую часовую линию. Для измерения времени с помощью солнечных часов следует провести на их плоскости часовые линии, соответствующие всем часам светлого времени суток. Эти часовые линии соответствуют не «прямым» часам, равным $^{1}/_{24}$ суток, а так называемым «косым» часам, равным $^{1}/_{12}$ светлого или темного времени суток, которые в странах Ближнего и Среднего Востока в средние века были приняты для измерения времени: по этим часам определялись и мусульманские молитвы и все события гражданской жизни. «Прямые» часы, применявшиеся только в астрономических работах, назывались также «равноденственными» (оба вида часов по продолжительности совпадают в дни равноденствий).

Рассматривая в «Геодезии» определение разности долгот двух городов с помощью наблюдения лунного затмения в этих городах, Бируни говорит: «Мы обойдемся без упоминания часов времени, известных под названием „косых“, [говоря о результатах], добытых обоими наблюдателями. Ведь их работа ночная, а „косые“ часы определяются инструментами, [основанными] только на тенях, образующихся от Солнца. Часы [для работы с лунными затмениями] неизбежно должны быть „прямыми“, [определяющие] основы которых суть восход, заход и средний [момент] между ними, каковым приблизительно является полуночное затмение, поскольку [положение Луны при затмении] диаметрально противоположно Солнцу» [1].

В *лучевых* инструментах солнечные лучи, проходя через отверстие, падают на вогнутую или выпуклую поверхность. В «Геодезии» Бируни так описывает созданный Кухи инструмент этого вида, с помощью которого производилось измерение высоты Солнца: «И приказал Шараф ад-Даула Абу Сахлу ал-Кухи возобновить измерения, и он построил в Багдаде строение, пол которого — сегмент шара диаметром в двадцать пять локтей, а центром шара был диоптр на потолке этого дома, через который проникали лучи Солнца и вычерчивали суточные параллели» [2].

[1] «Геодезия», стр. 179.
[2] Там же, стр. 132.

К этому же виду инструментов относится и знаменитый Фахриев секстант, послуживший прототипом гигантского инструмента обсерватории Улугбека. Фахриев секстант был построен Абу Махмудом Ходженди и назван так в честь буидского правителя Рея — Фахр ад-Даулы.

В «Геодезии» Бируни, сообщая, что Ходженди построил секстант на горе Табарак в окрестностях Рея, дает описание инструмента и характеризует его следующим образом: «Что касается этого Фахриева секстанта, то он превзошел [все], что было построено до и после него величиной и точностью», и позволял «фиксировать секунды, не говоря о минутах!» [1] С помощью этого секстанта ежедневно можно было определять высоту Солнца, т. е. получать значения его зенитного расстояния и склонения. Из этих значений выводились наклонение эклиптики и широта места; первое как полуразность полуденных высот Солнца в дни летнего и зимнего солнцестояния, вторая как дополнение полусуммы тех же величин до 90°.

Описанию этого инструмента Бируни посвятил специальное сочинение. Приведем полный его перевод [2].

«Рассказ об инструменте, называемом Фахриевым секстантом, рассказанный Абу Райханом [Бируни], да поможет ему Аллах, после того как он осматривал его.

Учитель, да поможет ему Аллах, провел линию меридиана и построил по обе стороны от нее две стены, параллельные линии меридиана, с расстоянием между ними в 7 локтей. Между ними с южной стороны он построил арку, прочную по конструкции, и в верхней части арки он изготовил отверстие диаметром в величину пяди. Ее высота от поверхности земли — 20 локтей. На ее диаметре он прикрепил железную полосу в траншее в земле в направлении падения [камня] из центра отверстия. Затем он взял крепкие доски и сделал из них квадратную, полую и крепкую стрелу, поставленную не наклонно, длиной в 40 локтей, прикрепил к одному из ее концов замок и подвесил на железной полосе, прикрепленной поперек

[1] Там же, стр. 133—136.
[2] Перевод выполнен А. Абдурахмановым и Б. А. Розенфельдом с бейрутского издания арабского текста. П. Г. Булгаков также опубликовал перевод этого трактата в книге «Жизнь и труды Беруни» (Ташкент, 1972, стр. 51—52) и в «Историко-астрономических исследованиях» (1972, вып. XI, стр. 211—219).

отверстия. Эта стрела занимает положение полудиаметра круга. Этой стрелой он описал дугу круга в траншее, [а именно] одну шестую окружности. На ней он прикрепил гладкие доски, ровные и правильные, и обшил их [медными] пластинами по делениям, разделив дугу па 60 равных частей, [каждая из которых] — градус, и разделил каждый градус, подобно кругу, на триста шестьдесят частей, так что каждая его часть — 10 секунд. Когда Солнце достигнет круга меридиана, его лучи встретят отверстие и [пройдут] к отверстиям на линии меридиана, причем лучи Солнца растянутся в форме конуса,

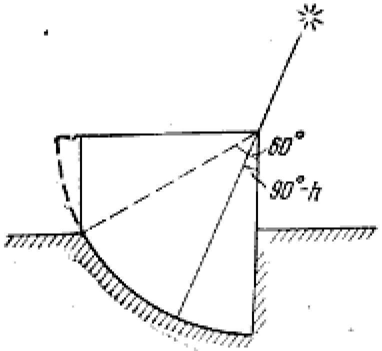
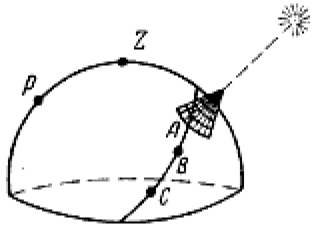


Рис. 29

Рис. 30



так что лучи, попавшие на землю, по величине больше величины отверстия. Поэтому он сделал другое приспособление, а именно кольцо, и укрепил на нем два пересекающихся диаметра, пересечение которых совпадает с центром круга. Он изготовил его в соответствии с величиной лучей, падающих на землю. Когда [Солнце] приближается к меридиану, он накладывал его на них и двигал его очень медленно до тех пор, пока они не оказывались полностью на меридиане. Когда же середина лучей попадает на меридиан, тем самым определялась высота Солнца на линии полудня. В этот момент [измерялась дуга] от [центра] кольца до места падения камня из отверстия, это дополнение высоты. В другую сторону от кольца в направлении к поверхности земли — высота, уменьшенная на 30 градусов, т. е. на разность между одной шестой и четвертью [круга]. Аллах содействует удаче» (рис. 29).

Бируни описал также солнечный лучевой инструмент второго вида, в котором лучи после прохождения через

отверстие падают на выпуклую часть шаровой поверхности (рис. 30) [1]: «...Можно узнать широту города по Солнцу, изготовив с максимальной точностью на плоскости горизонта большой полушар. На нем определяется точка, соответствующая зениту жителей [этой местности]; это достигается нахождением ее срединного положения на полушаре с помощью отвеса, [нить которого] должна быть по отношению к его поверхности под равными углами.

Найдя [точку зенита], изготовим круг в виде обруча для бубна диаметром около одной пяди. Над ним надстроим прямоугольный конус, основанием которого будет это кольцо. Нижнюю часть конуса у его основания сделаем по окружности решетчатой, с тем чтобы мог проникнуть взор через решетку вовнутрь конуса и смогла рука достичь того, что в середине его.

Далее просверлим в вершине конуса точное отверстие, [направленное] к его внутренней части, а на окружности его основания установим крестовину из тонких реек, которые [при наложении конуса на полушар] будут [слегка] касаться поверхности шара, не препятствуя [прилеганию конуса] к ней. С помощью крестовины мы узнаем центр основания [конуса].

Затем будем наблюдать [положение] Солнца с помощью этого инструмента, наложив основание конуса на поверхность полушария, медленно двигая его по ней и заглядывая через решетку [в нижней части конуса] вовнутрь его, пока не упадет солнечный луч через отверстие в вершине конуса на центр его основания. Когда это случится, отметим на поверхности шара [точку] под центром [конуса]. Выждав некоторое время, повторим это вторично, а затем сделаем то же самое и в третий раз [в тот же] день. Затем обратимся к трем отметкам, полученным в течение одного дня, и найдем на полушаре полюс, окружность которого пройдет через эти отметки. Этот полюс будет соответствовать Северному полюсу, а расстояние между ним и [точкой] зенита по большому кругу будет дополнением широты города» [2].

Напомним, что прямоугольным конусом называется прямой круговой конус, сечение которого плоскостью, проходящей через его ось, является треугольником

[1] Схематический чертеж этого инструмента приведен П. Г. Булгаковым в примечаниях к «Геодезии», стр. 295.
[2] «Геодезия», стр. 112—113.

с прямым углом при вершине конуса. Полюсами окружности на сфере называются точки пересечения сферы с осью этой окружности (эти точки играют роль центра окружности на плоскости). Ось окружности, полученной Бируни на шаре, параллельна оси земного шара — «оси мира» средневековых астрономов и составляет с плоскостью горизонта угол, равный широте φ данной местности.

2. Диоптрийные инструменты

Диоптрийные инструменты по принципу их действия также можно подразделить на две группы: а) круговые, в которых указатель алидады с диоптрами перемещается по круговой шкале (деления нанесены на дуге окружности); б) линейные, в которых линейка с диоптрами или ее указатель перемещается по линейной шкале (деления нанесены на прямой).

Основными составными частями *круговых* инструментов являются разделенная на градусы окружность или ее дуга (в случае квадранта — четверть окружности), не перемещающаяся во время работы и вращающаяся вокруг ее центра алидада с двумя диоптрами для визирования светила, высота которого измеряется. На алидаде имеется острие, движущееся по градусной шкале и указывающее высоту светила. Слово «алидада» происходит от арабского слова ал-'идада — «вспомогательная принадлежность». В большинстве случаев на Ближнем и Среднем Востоке алидада имела форму линейки. Весьма вероятно, что угломерными кольцами с глиняными круглыми алидадами пользовались доисламские хорезмийцы. Это предположение можно сделать, если считать фрагментами таких алидад части глиняных дисков, найденные при раскопках Кой-Крылган-калы — памятника древнего Хорезма, относящегося к IV в. до н. э. — I в. н. э. [1]

В нескольких работах Бируни говорит о кольцевых инструментах с алидадами, с помощью которых измерялась высота Солнца в меридиане. В 1-й главе IV книги «Канона Мас'уда» Бируни описывает такой инструмент: «Высота в меридиане измеряется с помощью кольца, укрепленного в плоскости меридиана, так что его плоскость совпадает с этой плоскостью. Ее определяют с помощью алидады, снабженной двумя диоптрами. Алидада может быть прямолинейной с серединой в центре кольца, чего можно достичь, заполняя пространство, ограничиваемое кольцом, сплошь [диском], как это делается на спинках астролябий, или частично, диаметром или двумя диаметрами, проведенными внутри кольца для определения его центра, в котором закрепляется ось алидады. Алидада может быть также круглой, в этом случае ее внешняя часть касается внутренней части кольца и удерживается на поверхности кольца с помощью держателей на алидаде, скользящих по кольцу либо сверху и снизу [в виде скоб], либо в середине его внутренней части в виде шипов, ходящих по расположенному против них пазу, выточенному в кольце. Это кольцо вместе с круглой алидадой и есть те два кольца, о которых говорит Птолемей. Ясно, что эти кольца следует делать возможно более широкими и большими, чтобы можно было делить их на части и минуты. Но если сделать их слишком большими, то они в силу своих природных свойств будут изменять свою форму и становиться длиннее вследствие их веса, если их подвесить, и шире вследствие давления, если установить их на опоре. Поэтому Птолемей указывал на замену четверти такого кольца плитой в плоскости меридиана, на поверхности которой проведена четверть круга. В этом случае те смещения, которые имеют место в кольце в силу его свойств, малы. Большинство [ученых] последнего времени, занимавшихся этим, увеличили размеры этой четверти [круга] и сделали плиту в виде высокой стены» [1].

Об инструментах Птолемея, описываемых им в «Алмагесте», Бируни говорит в «Геодезии». Он отмечает, что в первой книге этого сочинения Птолемей рассказывает «о своих занятиях измерением [разности высот солнцестояний] на протяжении многих лет с помощью кольца на шесте, установленного в плоскости небесного меридиана. Ось кольца вращалась [во втулке] внутри [шеста].

[1] См. *М. Г. Воробьева, М. М. Рожанская.* О некоторых астрономических функциях Кой-Крылган-калы.— В кн.: Кой-Крылган-кала — памятник культуры древнего Хорезма. Труды Хорезмской археолого-этнографической экспедиции, т. V, М., 1966, *М. Г. Воробьева, М. М. Рожанская, И. Н. Веселовский.* Древнехорезмский памятник IV в. до н. э. Кой-Крылган-кала с точки зрения истории астрономии.— «Историко-астрономические исследования», 1969, вып. 10.

[1] «Канон Мас'уда», стр. 362.

На наружной поверхности кольца было другое, с двумя диаметральными диоптрами. [Он производил измерения] также с помощью стенного квадранта, установленного в плоскости небесного меридиана. Центром его был шест, укрепленный в его верхнем южном углу» [1].

Бируни в «Геодезии» говорит об инструментах этого типа, которыми пользовались и Суфи, производивший измерения в Ширазе в 969 г. «с помощью кольцевого инструмента, внутренний диаметр кольца которого два с половиной локтя, или пять пядей, а деления его шкалы равны пяти минутам» [2], и Сагани, наблюдавший в Багдаде в 984—985 гг. «с помощью кольцевого инструмента, диаметр которого шесть пядей, а окружность разделена делениями по пять минут» [3], Бируни вспоминает и свои наблюдения в Ургенче в 1016 г., где он «измерил... наибольшую из полуденных высот квадрантом, диаметр которого шесть локтей, а окружность разделена на минуты градусов» [4], и в Газне в 1019 г., выполненные «посредством квадранта диаметром в девять локтей, окружность которого была разделена на минуты градуса» [5].

В 5-й главе VII книги «Канона Мас'уда», говоря об измерении широты Луны, Бируни описывает *линейный* диоптрийный инструмент — инструмент Птолемея, известный в настоящее время под названием «триквэтр» («тройной жезл»); сам Бируни называет его «инструментом с тремя ветвями». Бируни писал: «Что касается [определения] значения широты Луны, то оно получается тем же путем, что и [определение] склонения Солнца, т. е. с помощью колец и того, что применяется вместо них; Птолемей употреблял вместо этого триквэтр, одна ветвь которого аналогична диаметру кольца. Но диаметры — воображаемые линии, существующие только для несения тел, т. е. линеек. Одну из двух [линеек Птолемей] закрепил на первой [ветви], совпадающей с полуденной линией так, чтобы линейка была закреплена вдоль [этой] линии и неподвижна, середину третьей он закрепил в середине второй с полюсом, вращающимся вокруг [этой середины] в плоскости полуденного круга, а на второй

[1] «Геодезия», стр. 124.
[2] Там же, стр. 131.
[3] Там же, стр. 132.
[4] Там же, стр. 118.
[5] Там же, стр. 244.

[линейке полюс] перемещается в направлении обоих концов [этой линейки], являющихся пределами [для этого движения]. Луна наблюдается через два диоптра в этих концах, если их поднимать или опускать в соответствии с [положением] Луны. Он выделил на второй [линейке] часть от полюса до ее конца. Оно также равно расстоянию между полюсом и концом третьей [линейки]. По его вычислению это — четыре локтя в частях полного синуса. Поэтому когда Луна доходит до полуденного круга и видна из двух концов, в это время вторая линейка составляет с третьей угол, дающий величину расстояния Луны от зенита. Хорда этого угла определяется при помощи четвертой линейки, установленной между концами этих двух [линеек]. Величина хорды определяется в частях второй [линейки]. Затем дуга ее измеряется по таблице хорды, и таким образом у него получается расстояние Луны от зенита. Он предпочитал этот инструмент по причине того, что его части делятся [на более мелкие части], и он стремился к уточнению. Поэтому он указывал на величину этой линейки, разделенной на четыре локтя. Если бы он заменил триквэтр глиняным, который предпочитают [для определения] склонения, он мог бы получить в его полукруге удвоения этой величины и большие кратные. Халид Мерверруди в Дамаске сделал его в десять локтей из-за ее отклонений и обеспечил его неподвижность и безопасность от колебаний и искривлений» [1]. Заметим, что здесь Бируни снова упоминает глиняные угломерные инструменты.

К этому же типу относится и созданный Бируни так называемый трехшестовый инструмент, предназначавшийся для определения широты места по заходящим звездам. Применение этого инструмента при наблюдении трех положений одной из звезд он описал следующим образом: «...Известно, что местоположение наблюдателя совмещается с центром вселенной, а это — E; полуденная линия — BC, [суточная] параллель звезды — ABD и линия пересечения плоскости [суточной] параллели плоскостью горизонта — ACD.

Сделаем из любого материала три ровных и равных шеста — EK, EL и EM. Затем замерим [положение] звезды в три любых момента времени [в течение одной

[1] «Канон Мас'уда», стр. 777—778.

ночи], но, чем больше будет промежуток между ними, тем надежнее будет [результат]. Пусть будут положения звезды на параллели в эти три момента времени G, H и F (рис. 31).

Соединим основания шестов в [точке] E стержневыми замками и будем наблюдать посредством каждого из шестов эту звезду в одно из [трех] времен либо скольжением взгляда вдоль шеста, к которому должен припасть [взором] наблюдатель, либо, как обычно, с помощью двух [находящихся на нем] просверленных диоптров.

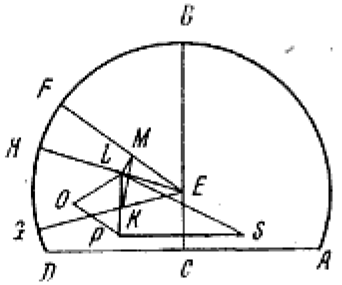


Рис. 31

Когда мы это сделаем и EK окажется на прямой KG, EL — на LH, а EM — на прямой MF, все эти шесты окажутся на поверхности, [образующей] конус, вершина которого — центр вселенной, а основание — окружность [суточной] параллели [светила]. Вследствие равенства шестов их концы, то есть K, L и M, будут на линии окружности, параллельной [суточной] параллели ABD.

Соединим K и M тонкой крепкой нитью и прикрепим к концу [шеста] L линейку, по которой будет скользить [конец шеста] и не будет мешать [двигаться линейке, пока] она не столкнется с плоскостью горизонта. Затем будем двигать линейку поверх нити KM, не нажимая на нее, пока она не достигнет плоскости горизонта в [точке] S, находящейся в плоскости окружности [основания конуса]. Безусловно, S будет на линии пересечения плоскости [основания конуса] с плоскостью горизонта, а эта линия параллельна AD. Вследствие этого проведем [линию] SP перпендикулярно к BC. Опустим [из L] перпендикуляр LO на плоскость горизонта. Проведем из [точки] O, являющейся местом падения камня [из L], к P линию, параллельную BC. Соединим L с P, и тогда угол LPO будет равен дополнению широты города»[1].

[1] «Геодезия», стр. 111.

Точки G, H, F определяют плоскость GHF суточной параллели, параллельную плоскости небесного экватора, точки K, L, M определяют плоскость, параллельную указанным плоскостям. Нить KM и линейка LS, скользящая по этой нити, находятся в плоскости KLM, поэтому точка S является одной из точек пересечения плоскости KLM с плоскостью горизонта. Угол LPO образован перпендикуляром LP, опущенным в плоскости KLM на прямую SP, параллельную прямой AD пересечения плоскости GHF и плоскости горизонта, и перпендикуляром OP, опущенным в плоскости горизонта из ортогональной проекции O точки L на эту плоскость, является линейным углом двугранного угла между указанными плоскостями и поэтому равен $90° - \varphi$.

3. Диоптрийно-моделирующие инструменты

Астрономические инструменты третьего вида можно назвать диоптрийно-моделирующими, так как они не только имеют алидады с диоптрами для визирования небесных тел, но и моделируют расположение кругов небесной сферы. Простейший из таких инструменов — армиллярная сфера, называемая Бируни «инструментом с кольцами» (латинское слово armilla также означает кольцо).

Армиллярная сфера применялась еще Птолемеем, который называл ее ἀστρολάβον ὄργανον — т. е. инструментом, ухватывающим светила (от этого термина произошло сохранившееся до наших дней название астролябии и ее арабское название «астурлаб»).

Бируни описал армиллярную сферу в 7-й главе V книги «Канона Мас'уда»:

«**Вопрос.** Что за инструмент, при помощи которого наблюдается расстояние между Солнцем и Луной, и каким образом употребляют его и измеряют им?

Ответ. Этот инструмент — тот, который люди в наше время называют армиллярной сферой. Он подобен необходимым нам большим кругам на поверхности сферы. Здесь имеются в виду круги, отвлеченные от тела сферы, так что окружность каждого из них весьма тонкая и совершенная, а их центры определяются зрением в фиксированной точке. Но в телах существуют только ощущаемые линии, поэтому каждый из этих кругов связан с кольцом. Если бы кольца были равны, они пересекались бы друг с другом и не было бы возможности вращаться одному при неподвижности другого. Поэтому между ними имеется различие по величине и малости, так как иначе при совпадении их центров они совпадали бы целиком...

Что касается того кольца, в котором мы нуждаемся для измерения, то для измерения имеется два способа: первый состоит в том, что в нем устанавливается неподвижная линейка так, чтобы ее лицевая сторона была на его лицевой стороне, на ней наносятся числа подразделения диаметра кольца, а в его центре [устанавливается] алидада, обладающая двумя диоптрами, с отверстиями в их середине, две части которой вращаются по частям окружности так же, как в астролябии.

Другой способ, более точный в этом инструменте, состоит в том, что одно кольцо устанавливают в другом так, чтобы его внешняя часть равнялась бы внутренней части первого так, чтобы их размеры были бы таковы, что оба они — как одно кольцо, но внутреннее кольцо свободно вращается внутри внешнего. Невозможность отклоняться от внутренности [внешнего кольца] осуществляется либо при помощи шипов, выходящих из середины внешней поверхности внутреннего кольца в круглый паз, просверленный в середине внутренней части внешнего [кольца], либо с помощью выступов на обеих поверхностях внутреннего [кольца], касающихся обеих поверхностей внешнего и удерживающих его. Это делается в нескольких местах [колец], не меньше трех, так чтобы на поверхности внутреннего кольца можно было бы просверлить два диоптра с двух противоположных сторон и установить два указателя с внешних сторон против них; внутреннее в этих парах колец заменяет алидаду. Если это устройство колец известно, то мы скажем, что в этом инструменте имеются два [кольца] — горизонт и меридиан. Закрепим внешнее из них в его положении на горизонте, а внутреннее поднимем на величину высоты полюса в [данной] местности. Тогда все кольца, находящиеся внутри его, переместятся вместе с ним. Далее, внутри меридианного кольца в двух полюсах устанавливаются небесный экватор и круг, проходящий через четыре полюса. В нем отмеряется величина наибольшего

склонения от каждого из двух полюсов в две противоположные стороны. Два конца [этих дуг] делаются полюсами эклиптики, а на расстоянии девяноста градусов от них устанавливается эклиптика... Затем внутри [круга], проходящего через четыре полюса, устанавливается в обоих полюсах эклиптики двойное кольцо, а затем другое в этих двух полюсах также внутри первого, либо двойное, либо обладающее алидадой, и инструмент, [таким образом], закончен. Инструмент устанавливается так, чтобы его меридианное кольцо было бы в плоскости меридиана местности» [1].

Кольца, изображающие различные круги небесной сферы, располагаются в плоскостях соответственных кругов. «При пользовании [этим инструментом] при наблюдении полюс небесного экватора поднимается над горизонтом на величину широты местности. Если хотят [узнать] положение Солнца, то кольцо, проходящее через полюсы, поворачивают до тех пор, пока эклиптика сама себя не затенит, т. е. его верхняя часть не затенит нижнюю. Затем поворачивают одно из двойных колец, находящихся внутри [кольца], проходящего через полюсы, это круги широты, до тех пор, пока оно снова не затенит само себя. Тогда положение ее плоскости относительно плоскости эклиптики — это положение Солнца. Если хотят узнать положение Луны в то время, когда она видна над Землей, устанавливают эклиптику в ее положении, а кольцо широты поворачивают до тех пор, пока Луна не будет видна через оба отверстия в диоптрах. Тогда пересечение его плоскости с плоскостью эклиптики — это положение Луны, а расстояние между эклиптикой и указателем алидады в градусах кольца широты — это видимое положение Луны» [2].

Таким образом, для определения двух сферических координат светила достаточно измерить одну из них, а вторая координата определится поворотом армиллярной сферы, необходимым для совмещения светила с его символом на круге, изображающем эклиптику, или кругом широты, проходящим через светило.

К этой же группе инструментов относятся и астролябии.

---

[1] «Канон Мас'уда», стр. 798—800.
[2] Там же, стр. 801.

Плоская астролябия представляла собой наиболее популярный астрономический инструмент как на средневековом Ближнем и Среднем Востоке, так и в средневековой Европе. Ее название, как мы видели, унаследовано от античного названия армиллярной сферы.

В отличие от всех рассмотренных нами инструментов астролябия — переносной инструмент. Она имеет вид плоской круглой коробки диаметром от 10 до 50 см, которую можно подвешивать с помощью кольца и шнура. Одна из сторон астролябии называется лицевой, другая —

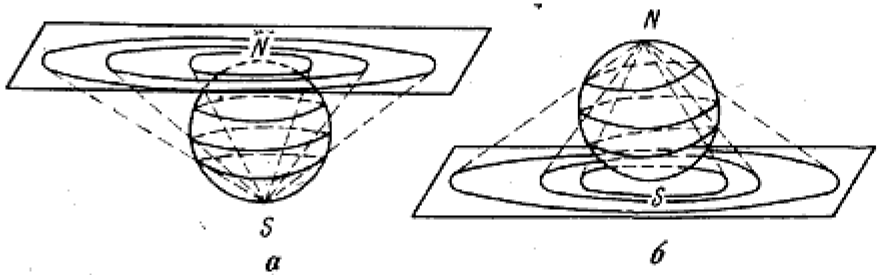


Рис. 32

спинкой. Спинка астролябии представляет собой кольцевой инструмент с алидадой в виде линейки, лицевая часть состоит из неподвижного диска — тимпана, на котором изображены, обычно в стереографической проекции, неподвижные круги и сферы небесной сферы и круги, переходящие в себя при ее суточном вращении, образующие так называемую паутину, и подвижного резного диска —«паука» (или «решетки»), на котором изображены в той же проекции эклиптика и наиболее яркие неподвижные звезды. Стереографическая проекция астролябии осуществляется большей частью из Южного полюса мира («северная астролябия»), реже — из Северного («южная астролябия»). На рис. 32 *а* и *б* изображены соответственно проекции «северной» и «южной» астролябий.

Проекция небесной сферы на тимпан астролябии обычно обрезается на проекции тропика, примыкающего к полюсу проекции, т. е. в случае «северной астролябии» — на проекции тропика Козерога, а в случае «южной» — на проекции тропика Рака. На тимпанах изображается горизонт, его параллели — альмукантараты и точка зенита и вертикалы. Так как угол между горизонтом

и небесным экватором равен $90°-\varphi$, такой же угол составляют на тимпане и проекции этих углов. Обычно к астролябии прилагается комплект из нескольких тимпанов, соответствующих различным значениям широты местности φ. Эклиптика изображается на «пауке» кругом, касающимся проекций обоих тропиков. Ниже горизонта на тимпанах проводились так называемые часовые линии.

Бируни описывает устройство астролябии в «Науке звезд» следующим образом: «**Каковы части астролябии?** Астролябия в целом круглая, но к ней прикреплена деталь, называемая тропом, имеющая отверстие для подвеса и кольца. В центре астролябии имеется отверстие, в котором вращается ось, в которую входит конек, связанный с ней и удерживающий ось. На спинке астролябии имеется длинная деталь, подобная линейке, вращающаяся вокруг оси, называемая алидадой. Ее концы заканчиваются остриями, называемыми указателями алидады.

Кроме того, на концах алидады прикреплены две перпендикулярные колодки, называемые диоптрами или мишенями. Посередине каждой из них имеется узкое отверстие, называемое отверстием лучей, направленных на наблюдаемую точку. Лицевая сторона астролябии, противоположная спинке, окружена линией, называемой лимбом. Внутри лимба на лицевой стороне имеется диск с отверстиями, называемый «пауком» или «решеткой». На нем имеется полный круг, на котором написаны названия двенадцати знаков зодиака, называемый эклиптикой. От него в начале Козерога выходит маленький острый выступ, называемый абсолютным указателем без определяющего слова. Когда вращаешь «паук», этот указатель всегда касается лимба. От эклиптики выходят острия из секторов, похожих на треугольники, на которых написаны названия неподвижных звезд. Они называются указателями звезд. Если вынуть конек из оси, то паук отделится от тимпанов, изготовленных для [различных] климатов и широт местностей, каждый — для каждой из них. Над тимпанами находится лимб. Его окружность разделена на триста шестьдесят [градусов], причем [обозначены] пятые или другие [градусы]» [1].

---

[1] «Наука звезд», стр. 194—195.

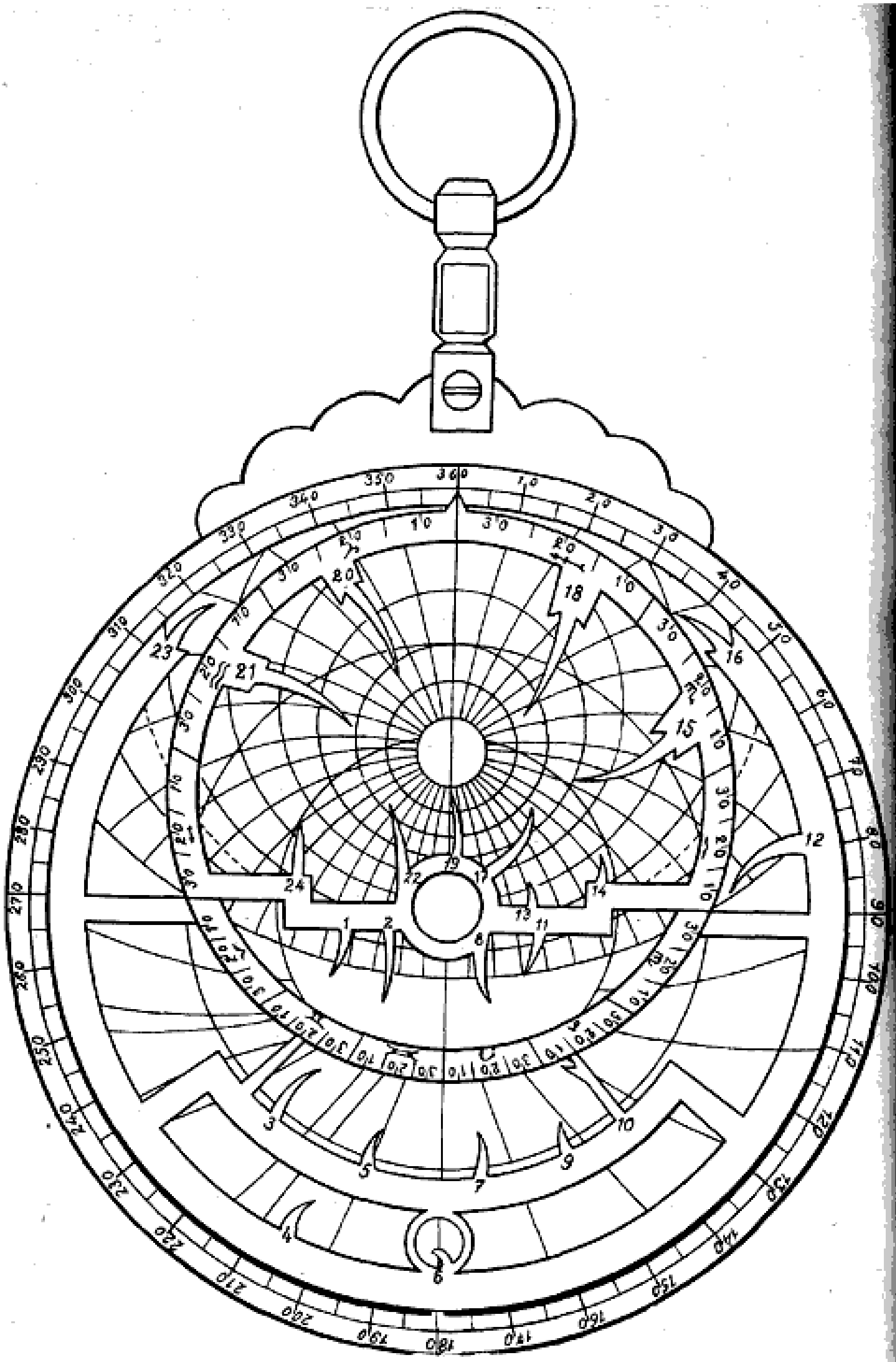
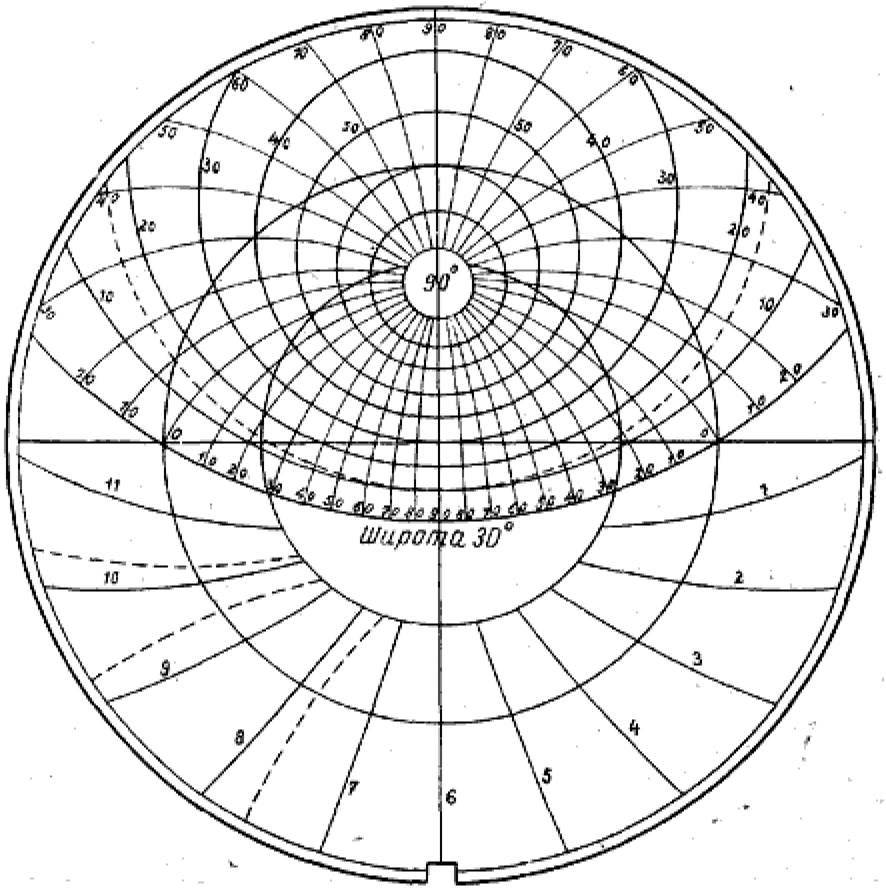


Рис. 33 Лицевая часть астролябии (тимпан и «паук»; цифры на остриях относятся к неподвижным звездам)

Рис. 34 Тимпан астролябии для широты 30°



На спинке астролябии кроме алидады и градусных делений, с помощью которых измеряют высоту светил, имеется четыре квадранта. Левый верхний —«синус-квадрант», с помощью которого определяются синусы и косинусы дуг, два нижних — «квадранты теней», с помощью которых определяются тангенсы и котангенсы («тени») дуг в «пальцах» и «ступнях», правый верхний квадрант — «квадрант высоты», с помощью которого измеряют высоты светил. На «квадранте высоты» обычно изображались четверти 7 параллелей, соответствующих 12 знакам зодиака, и на каждой из них указывалась высота Солнца в меридиане для различных широт и высота Солнца в момент пересечения им азимута кыблы для различных местностей, что позволяло определить азимут кыблы в этих местностях. На рис. 33 изображена лицевая часть астролябии, на рис. 34 — тимпан, на рис. 35 — спинка астролябии.

Конструкции астролябий весьма разнообразны. В «Астролябиях» Бируни описывает ряд инструментов, отличных от описанного нами наиболее распространенного вида плоской астролябии. В 36-м разделе этого сочинения Бируни описывает «смешанные астролябии», являющиеся комбинациями «северной» и «южной» астролябий. Этим же инструментам посвящен и трактат Бируни «Об облегчении исправления астролябии и действий с [астролябиями], составленными из северной и южной». Если верхняя часть «паука» взята у «северной» астролябии, а нижняя у «южной», «паук» имеет вид барабана и смешанная астролябия называется «барабанообразной» (рис. 36, *а*); если верхняя часть «паука» взята у «южной» астролябии, а нижняя у «северной», «паук» имеет вид миртового листа и смешанная астролябия называется «миртообразной» (рис. 36, *б*). Комбинируя левую часть барабанообразной астролябии с правой частью миртообразной, мы получим «быкообразный» инструмент с «пауком», имеющим вид головы быка. Подобным путем получаются «нарциссообразная», «рыбообразная» и другие виды смешанных астролябий.

В 38-м разделе «Астролябий» излагается «челнообразная» астролябия Сиджизи, которую мы уже упоминали при рассмотрении вопроса о движении Земли. Если в обычных астролябиях на тимпане изображены круги и точки небесной сферы, остающиеся неподвижными или

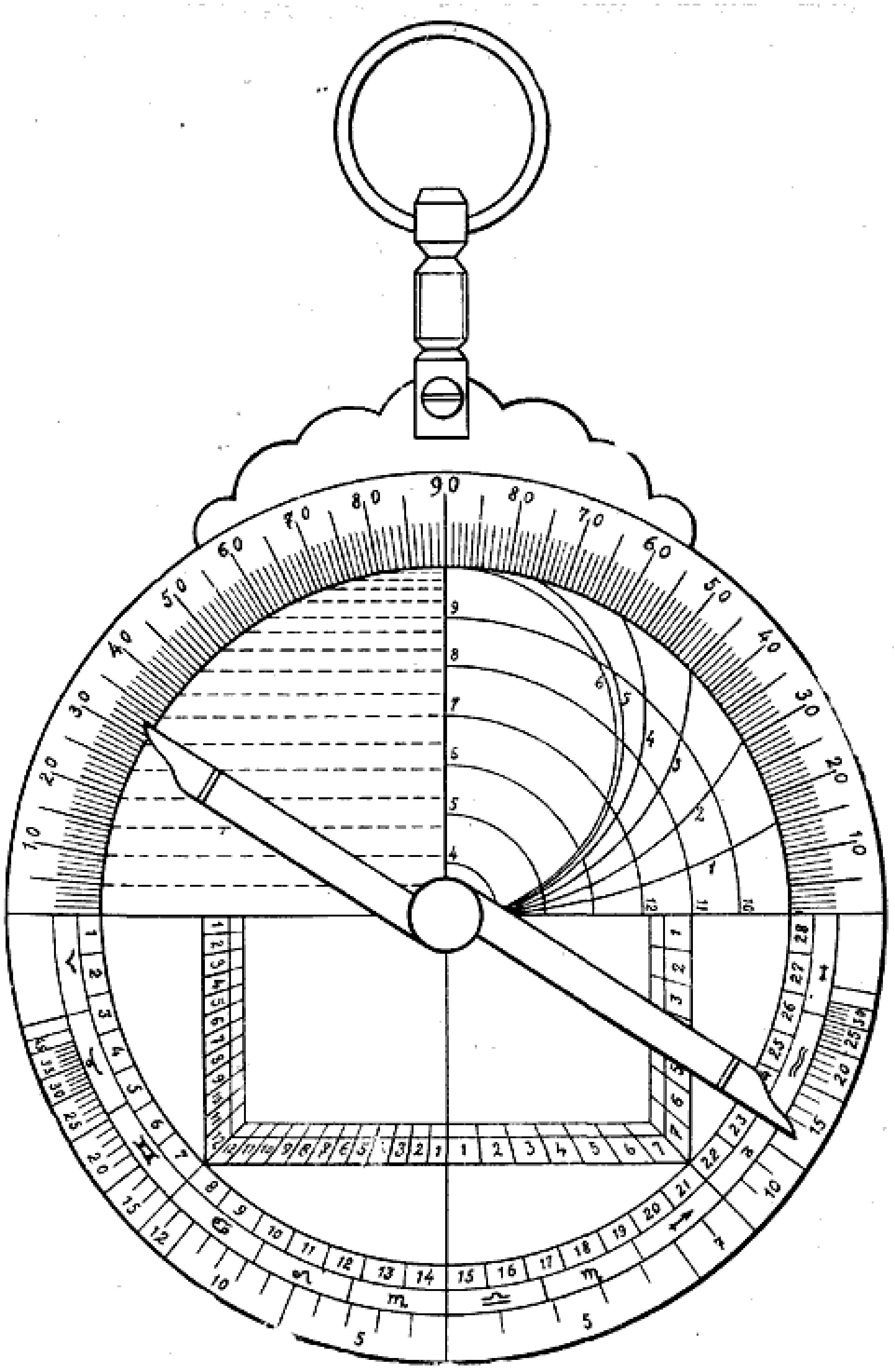
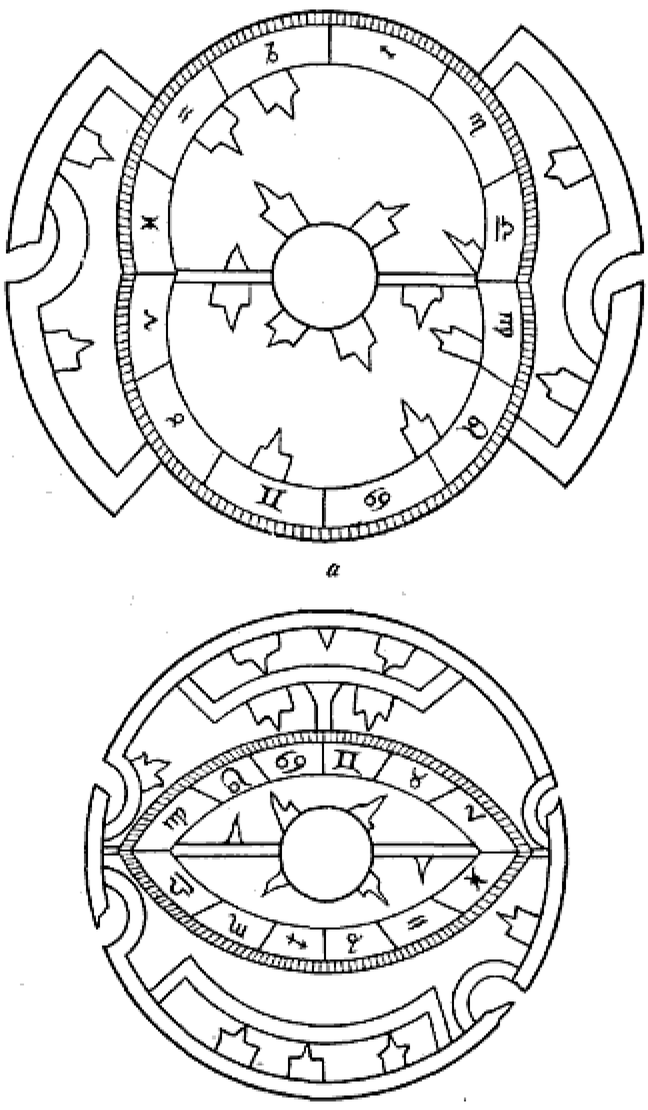


Рис. 35 Спинка астролябии



а

б

Рис. 36 Смешанные астролябии

переходящие в себя при видимом суточном движении небосвода, а на пауке — эклиптика и звезды, участвующие в видимом суточном движении небосвода, то Сиджизи поступил наоборот: на тимпане он изобразил эклиптику и звезды, а на подвижной части астролябии изобразил горизонт и несколько альмукантаратов. Название «челнообразная астролябия» объясняется тем, что эта подвижная часть инструмента, состоящая из изображения дуги горизонта и дуг близких к нему альмукантаратов и отрезка, соединяющего их с центром астролябии, имеет вид челна с мачтой. Мы уже приводили слова Бируни о том, что он «нашел, что она [эта астролябия] является прекрасным изобретением», принцип которого основан на твердом убеждении в движении Земли, а не на видимом движении небосвода. По-видимому, такое утверждение Бируни высказал исходя из неподвижности в этой астролябии изображения неподвижных звезд и подвижности изображения кругов, связанных с Землей. На рис. 37 воспроизведена страница описания челнообразной астролябии из рукописи «Астролябий», хранящейся в б. Прусской государственной библиотеке (Западный Берлин).

В 46-м разделе «Астролябий» рассматривается «сферическая астролябия с пауком». Этому же посвящен трактат Бируни «О применении сферической астролябии». Сферическая астролябия представляет собой сферу, на которой изображены те же круги и точки, что и на тимпанах инструментов, со сферическим «пауком», на котором изображены эклиптика и неподвижные звезды. В 47-м разделе того же трактата рассматривается «наблюдательная астролябия», представляющая собой соединение армиллярной сферы и обычной астролябии в одном из ее кругов.

В 48-м разделе «Астролябий» описывается предложенная Бируни астролябия, основанная на параллельной проекции небесной сферы на тимпан вдоль оси мира. В 50-м разделе того же трактата рассматривается «совершенная астролябия» Сагани, основанная на предложенной им проекции небесной сферы на тимпан из точки оси мира, отличной от полюсов небесной сферы. В первой из этих проекций круги небесной сферы изображаются на тимпане эллипсами, во второй — эллипсами, параболами и гиперболами.

Рис. 37 Схема и описание челнообразной астролябии в «Астролябиях» (рукопись б. Прусской гос. библиотеки)

Астролябии использовались для решения многих астрономических задач. Определение высоты Солнца Бируни описывает следующим образом: «Стань лицом к Солнцу и подвесь астролябию на правой руке, так чтобы она находилась на весу. Пусть квадрант высоты будет направлен на Солнце, а спинка астролябии будет перед тобой. Поворачивай алидаду вверх и вниз до тех пор, пока тень диоптра, обращенного к Солнцу, не попадет на диоптр, обращенный к Земле, и луч не пройдет через нижнее отверстие. Когда ты добился этого, то оставь алидаду в этом положении и не двигай ее. Посмотри, куда попадет острие алидады по пятеркам градусов высоты, т. е. узнай число пятерок и черточку, на которую попадет острие, и прибавь к ним то, что между черточкой и острием. Получатся градусы высоты Солнца в это время. Узнай, восточная она или западная: если до полудня, то восточная, а если после полудня, то западная» [1]. Совершенно аналогично определяется высота любого другого светила: «Стань лицом к звезде, отмеченной на пауке. Подвесь астролябию на правой руке так, чтобы спинка астролябии была бы обращена к тебе, а квадрант высоты находился бы справа. Затем поднимай и опускай алидаду и смотри одним глазом в нижнее отверстие диоптра до тех пор, пока звезда не будет видна через отверстие обоих диоптров. Когда увидишь звезду, посмотри на острие алидады и узнай число градусов высоты этой звезды. Определи направление высоты от полуденной линии, восточная она или западная» [2].

Для определения других сферических координат Солнца «переверни астролябию в твою сторону, выбери тимпан по широте твоей местности или по самой близкой из других широт и установи этот тимпан над всеми тимпанами. Затем среди альмукантаратов ищи тот альмукантарат, число которого соответствует найденной тобой высоте Солнца; если [градусы высоты Солнца] восточные, то [рассмотри] восточную [сторону] альмукантарата, а если западные, то западную [сторону] альмукантарата и отметь ее... Затем узнай положение Солнца для этого времени по календарю и найди его градус по эклиптике...

---

[1] «Наука звезд», стр. 199.
[2] Там же, стр. 307—308.

Далее наложи градус Солнца на отмеченный нами альмукантарат его высоты с восточной или западной высоты»[1].

Это наложение производится путем поворота «паука» вокруг оси астролябии. При этом получается стереографическая проекция всей небесной сферы в данный момент. Азимут Солнца определится тем вертикалом, изображение которого проходит через изображение «градуса Солнца». В случае, если измерялась высота одной их тех звезд, которые изображены на «пауке», «паук» поворачивается так, чтобы острие с изображением этой звезды попало бы на альмукантарат, соответствующий найденной высоте звезды.

Угол поворота «паука» определит время в «прямых» астрономических часах от начала дня или ночи до момента измерения. Точка пересечения изображения эклиптики с изображением восточного горизонта в этот момент — гороскоп этого момента.

Ряд разделов трактатов Бируни об астролябиях и ряд вопросов его «Науки звезд» посвящены измерению времени с помощью астролябии.

Приведем изложенные Бируни в «Науке звезд» способы определения времени в «прямых» и «косых» часах с помощью астролябии.

«Как определяется истекшая часть дня? Если градус гороскопа расположен на восточном горизонте, посмотри на градусы лимба, на которые указывает указатель, находящийся в начале Козерога, и отметь это место. Затем поворачивай паук обратно против последовательности знаков зодиака, т. е. от запада к середине неба и затем к востоку, до тех пор, пока градус Солнца не достигнет восточного горизонта, и посмотри, какое место на лимбе займет указатель, и сосчитай градусы лимба от первой отметки до этой отметки. То, что получится,— градусы небесного экватора, на которые он повернулся от восхода Солнца до времени измерения высоты. Каждые пятнадцать градусов из них прими за час, а если неполные пятнадцать градусов, прими каждый из них за четыре минуты часа. Когда прибавишь их, получится истекшая часть дня в прямых часах и их дробях»[2].

Слова «если градус гороскопа расположен на восточном горизонте» указывают на то, что «паук» астролябии

[1] «Наука звезд», стр. 302—303.
[2] Там же, стр. 202.

уже повернут на такой угол, что изображение светила с измеренной высотой попало на альмукантарат этой высоты и изображение светил на «пауке» в точности соответствует их положениям на небесной сфере в данный момент. «Начало Козерога»— точка касания изображения эклиптики на «пауке» с изображением тропика Козерога; указатель, находящийся в этой точке, расположен на вертикальном диаметре тимпана. Так как 360° поворота «паука» соответствуют 24 «прямым» часам, каждому «прямому» часу соответствует $360° : 24 = 15°$, т. е. каждому градусу поворота соответствуют $60 : 15 = 4$ минуты времени («минуты часа»). Бируни определяет также время восхода и находит «истекшую часть дня» от восхода до данного момента.

Для определения «истекшей части ночи» производится аналогичная операция, в которой паук поворачивается на такой угол, чтобы восточного горизонта достиг не градус Солнца, а диаметрально противоположный ему градус эклиптики.

Для определения «косых» часов на тимпане ниже изображения горизонта, где нет изображений альмукантаратов и вертикалов, проводят «часовые линии», делящие эту часть тимпанов на 12 криволинейных четырехугольников, нумеруемых от 1 до 12. Обычно часовые линии проводятся так: дуги окружностей, изображающих небесный экватор и оба тропика, отсекаемые от этих окружностей изображением горизонта и находящиеся ниже этого изображения, делят на 12 равных частей и соединяют точки деления, отделяющие одинаковое число частей дуг от восточной или западной части изображения горизонта, окружностями, которые и принимаются за часовые линии. Приведем изложенное Бируни в его «Науке звезд» определение «косых» часов с помощью астролябии.

«Как определяются косые часы?»— спрашивает Бируни и отвечает: «Если гороскоп находится на восточном горизонте, посмотри на градус, противоположный градусу Солнца, совпадающий с равным ему градусом седьмого [от него] знака зодиака. Отметь, куда он попадет из косых часов, находящихся между линий, проведенных под горизонтом. Этот час и является искомым»[1].

[1] «Наука звезд», стр. 203.

Ночью вместо градуса, противоположного градусу Солнца, то же производится с градусом самого Солнца.

В «Астролябии» и «Гномонике» приведено решение многих астрономических задач с помощью астролябии.

Для определения синусов и косинусов дуг с помощью синус-квадранта астролябии алидада повертывается так, чтобы она отсекала на лимбе данную дугу. Тогда прямо-

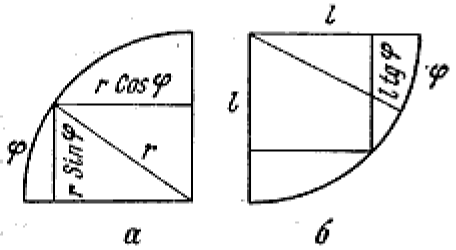


Рис. 38

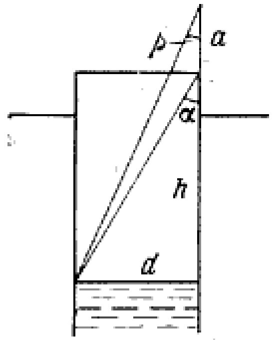


Рис. 39

угольные проекции конца этой дуги на радиусы, ограничивающие квадрант, являются линиями синуса и косинуса этой дуги (рис. 38, *а*). Стороны одного «квадранта тени» разделены на 12 «пальцев», а другого — на 7 или $6^1/_2$ «ступни». Для определения тангенсов и котангенсов дуг в «пальцах» или «ступнях» следует повернуть алидаду так, чтобы она отсекала на лимбе данную дугу от одного из концов дуги соответствующего квадранта, тогда алидада отсечет на соответствующей стороне соответствующего квадранта линию тангенса или котангенса этой дуги (рис. 38,*б*)

В «Науке звезд», «Астролябии» и «Гномонике» приведено также решение ряда геометрических задач на определение расстояний до неподвижных объектов.

Приведем две задачи такого рода из «Науки звезд».

«**Определение глубины колодца.** Стань на край колодца и возьми астролябию в левую руку так, чтобы квадрант высоты находился бы с твоей стороны, а квадрант тени — со стороны колодца. Затем поворачивай алидаду до тех пор, пока не увидишь через отверстия обоих диоптров поверхность воды или дно со стороны, противоположной

твоему положению. Узнай величину тени в пальцах в том положении, на котором конец алидады остановился, и запомни эту величину. Отними из нее один палец и, поставив указатель на этом месте, поднимись на такое расстояние, чтобы можно было бы увидеть через отверстие обоих диоптров поверхность воды, которую ты видел до изменения положения алидады, это — второе положение. Измерь в локтях [расстояние] между обоими положениями, то, что получится, умножь на пальцы конической тени. Произведение — глубина колодца в локтях. Если умножить расстояние между двумя положениями в локтях на двенадцать, получится ширина колодца, т. е. его диаметр» [1].

Глубина колодца определяется путем измерения двух углов α и β, получаемых прямолинейной образующей цилиндра, ограничивающего колодец, с линией, соединяющей точку поверхности воды, диаметрально противоположной прямолинейной образующей с ее точками на краю колодца и на высоте a над ней (рис. 39). Искомая глубина h выражается формулой

$$h = \frac{a \operatorname{ctg} \alpha}{\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg} \alpha},$$

но по условию Бируни разность $\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg} \alpha$ равна одному «пальцу», поэтому $h = a \cdot \operatorname{ctg} \alpha$, где $\operatorname{ctg} \alpha$ измеряется в «пальцах»; Бируни здесь называет $\operatorname{ctg} \alpha$ «конической тенью». Диаметр d колодца равен

$$d = h \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg} \alpha},$$

т. е. в силу условия Бируни $d = 12\ a$.

«**Определение высоты минарета или стены, основания которых недоступны.** Остановись на месте, установи алидаду и подними ее на [высоту] твоего [роста]. Смотри через отверстия обоих диоптров на искомую вершину до тех пор, пока не увидишь ее, как при определении высоты светил. Затем посмотри, на скольких пальцах тени находится конец алидады, это — первая тень. Затем двигайся вперед или назад до тех пор, пока не найдешь на Земле длину, равную высоте этой вершины. Если ты

[1] Там же, стр. 208—209.

перемещался в сторону горы или по ровной земле в направлении горы или минарета, уменьшишь тень на один палец, если ты подходишь к ним, или увеличишь ее на один палец, если ты отходишь от них, до тех пор пока не увидишь вершину через отверстия обоих диоптров. Затем измерь то, что между двумя положениями, и умножь это на двенадцать, произведение — искомая высота [рис. 40].

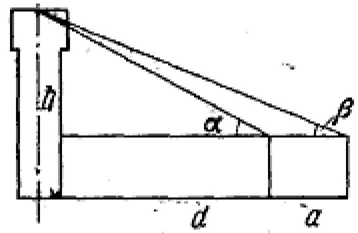


Рис. 40

Если умножить найденную длину на первую тень, получится то, что между первым положением и основанием той высоты, длину которой ты хотел найти» [1].

Правило Бируни для определения высоты h, равной разности высоты минарета и роста наблюдателя, совпадает с его правилом определения диаметра d колодца в предыдущей задаче, а правило для определения расстояния d от первого положения наблюдателя до минарета совпадает с его правилом определения глубины h колодца.

4. Моделирующие инструменты. Механический календарь

В 69—70-м разделах «Астролябий» Бируни описывает устройство изобретенного им механического календаря, который представлял собой «приставку» к астролябии и устанавливался на ее спинке, причем перед его установкой алидада снималась, а потом надевалась на этот инструмент. Инструмент состоит из кольца, диаметр которого равен диаметру спинки астролябии, восьми зубчатых колес с осями и крышки с отверстиями и шкалами, по которым могут двигаться указатели. Кольцо туго надевается на спинку астролябии.

Если внутренний радиус кольца принять за 90 l, то, как указывает Бируни, диаметры зубчатых колес

[1] «Наука звезд», стр. 210.

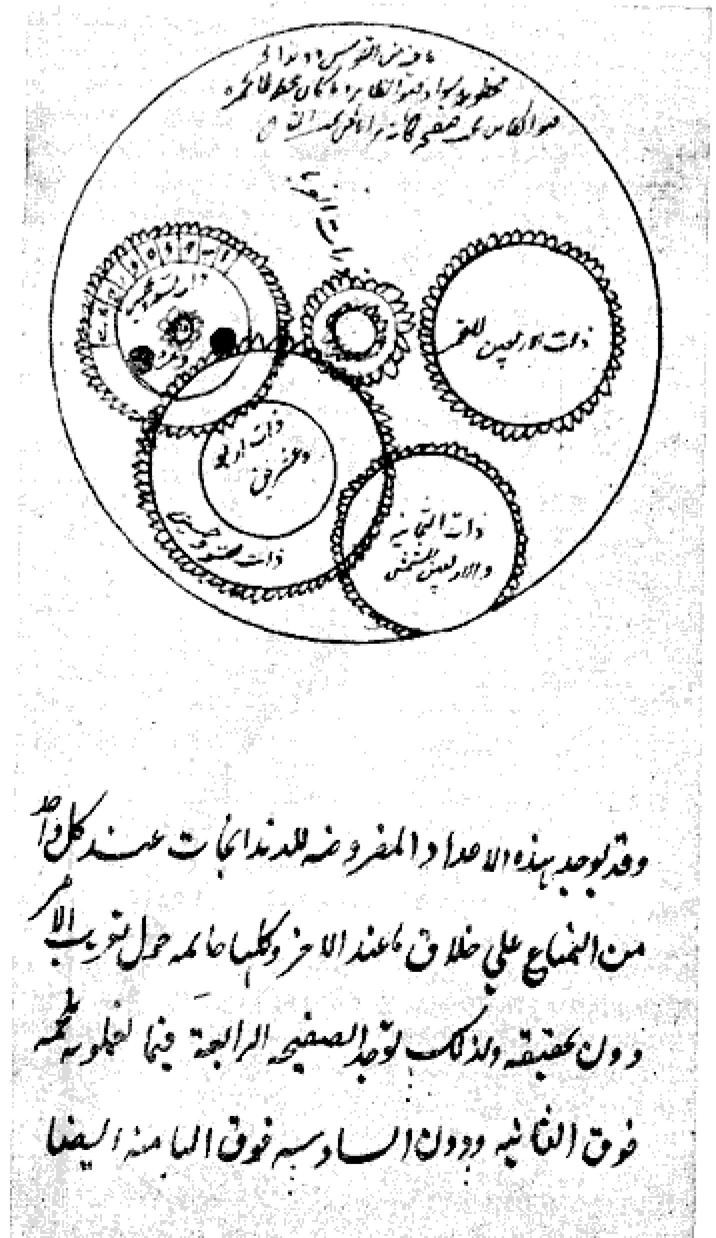


Рис. 41 Схема и описание механического календаря в «Астролябиях» (рукопись б. Прусской гос. библиотеки)

должны быть соответственно равны: I—7 l, II—10 l, III—19 l, IV—24 l, V—40 l, VI—48 l, VII и VIII—59 l. Коэффициенты при l равны числам зубцов этих колес.

На продолжение оси астролябии надевается сначала II, а затем I колеса и жестко закрепляются на этой оси. Таким же образом III колесо закрепляется вместе с VII, а IV колесо с VIII. VII колесо, предназначенное для демонстрации лунных фаз, несколько отлично от осталь-

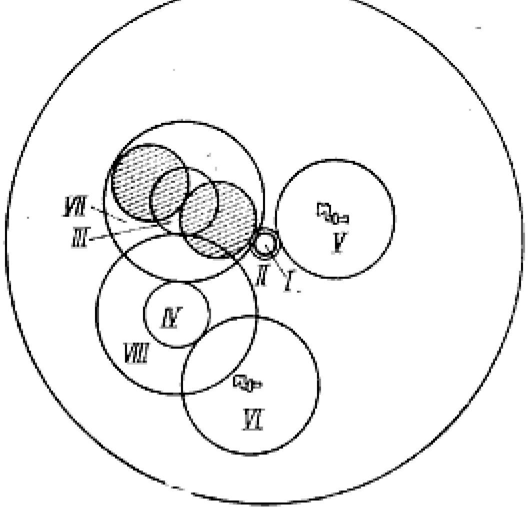


Рис. 42

ных: на нем проведена концентрическая с ним окружность радиуса 58 l, полученное кольцо шириной l делится на 59 равных частей, соответствующих зубцам, на этих делениях пишутся против часовой стрелки числа от 1 до 30, а затем от 1 до 29. В круг радиуса 58 l вписываются четыре касающихся друг друга круга с центрами на двух перпендикулярных диаметрах. Два круга с центрами на диаметре, проходящем через начало шкалы, окрашены черной краской, остальная поверхность VII колеса посеребрена. На рис. 41 воспроизведена страница описания этого инструмента из рукописи «Астролябий».

На поверхности спинки астролябии устанавливаются четыре штифта — оси VI, IV, VIII, III, VII и V колес, расположение которых обеспечивает указанное зацепление их зубцов (рис. 42). Оси V и VI колес — колес Луны и Солнца, так же как и удлиненная ось астролябии,

на которую надеваются колеса I и II, выходят за пределы крышки инструмента. На двух осях, несущих колеса VI и V, устанавливаются стрелки, указывающие на шкалах соответственно положения Луны и Солнца, а на ось астролябии надевается и закрепляется алидада. Колеса удерживаются в нужных положениях «коньками».

При вращении оси астролябии II колесо передает вращение V колесу — колесу Луны, а I колесо VII колесу, связанному с III, в свою очередь передающим движение VIII и IV, а IV колесо вращает VI колесо — колесо Солнца.

Крышка плотно надевается на внешнее кольцо и закрывает зубчатые колеса. Кроме трех отверстий, предназначенных для осей астролябии и колес Луны и Солнца, над VII колесом сделано еще одно круглое отверстие, диаметр которого равен диаметру зачерненных кругов на VII колесе. При вращении эти круги подходят под отверстие и видимая площадь зачерненного круга показывает, в какой фазе находится в данный момент Луна. В крышке между ее краем и круглым отверстием для наблюдения фаз Луны внутри проделано еще одно небольшое четырехугольное отверстие, позволяющее осуществлять контроль; установка этого диска правильна, если при полной видимости зачерненного круга через это отверстие видно деление с надписью 29.

Вокруг трех осей на крышке описаны окружности. Окружность, описанная вокруг оси астролябии, разделена на семь частей, каждая из которых надписана днем недели в направлении против часовой стрелки. Окружности, описанные вокруг осей Солнца и Луны, разделены на 12 частей, по числу знаков зодиака, каждая из которых в свою очередь разделена на 30 градусов; названия знаков зодиака написаны по часовой стрелке. Поэтому стрелки, связанные с осями V и VI колес, указывают положение Луны и Солнца на эклиптике в градусах. Указатель алидады, закрепленный штифтом на оси астролябии, отмечает дни недели. При указанных Бируни числах зубцов Солнце совершает полный оборот за 366 $^{8}/_{19}$ дня, а Луна — за 28 дней.

Как видим, механический календарь Бируни указывает положения на эклиптике Солнца во время его видимого годичного оборота и Луны во время ее месячного оборота, а также фазы Луны. Сравнение изображений движения Солнца и Луны по эклиптике позволяет найти места соединений и противостояний этих светил, т. е. места солнечных и лунных затмений. На основе этого механического календаря Бируни сконструировал «диск затмений», описанием которого заканчиваются «Астролябии».

Механический календарь Бируни приводится в движение вращением оси астролябии. Если заменить соотношения чисел зубцов, соответствующие году и месяцу, на соотношения, соответствующие суткам и часу, и приводить механизм в движение не рукой, а непрерывно действующим двигателем, мы получим механические часы. Однако под «инструментом с движением, с помощью которого можно измерять время», о котором Бируни говорит в «Науке звезд», судя по приведенному ниже месту из «Геодезии», где говорится о «непрерывном» движении, представляющемся одинаковым в равные отрезки времени», Бируни подразумевает инструмент типа водяных или песочных часов. Поэтому механический календарь Бируни следует считать одним из прототипов механических часов, которые появились тогда, когда механизм типа, описанного Бируни, был соединен с «непрерывным движением» медленно опускающейся гири или развертывающейся пружины. Заметим, что традиционное изображение знаков зодиака на циферблатах старинных часов указывает на то, что механические часы, весьма вероятно, произошли именно от механического календаря.

5. Водяные и песочные часы

Вопросы измерения времени нашли отражение во многих сочинениях Бируни. Этому посвящены две упомянутые в «Библиографии», но, к сожалению, не сохранившиеся работы: «Книга об указании проверки при измерении времени» и «О получении момента времени у индийцев».

Помимо описанных способов измерения времени по Солнцу и звездам в странах Ближнего и Среднего Востока широко использовались водяные и песочные часы, основанные на высыпании песка или выливании воды из сосуда в течение определенного времени.

По этому поводу Бируни говорит в «Геодезии»: «Некоторые определяют [времена затмения] по непрерывному

движению, представляющемуся одинаковым в равные отрезки времени. Прежде пользовались при этом водой. Однако воде свойственна неоднородность во многих видах, в частности мягкость или жесткость, свойственные ее источникам и даже относимые к ее собственной природе, поскольку они обязательны для нее. Эти мягкость или жесткость случаются у воды [также] из-за неоднородности качества воздуха, а вода склонна к восприятию влияния воздуха из-за непосредственного соприкосновения с ним. [Наблюдается] и увеличение давления воды на воздух при увеличении ее объема. Из-за всего этого человек перешел от [использования воды] к движению песка... Если время измерено водой или песком, то меры их объема и веса известны и не требуют [продолжения] речи о них» [1].

В астрологической части «Науки звезд» в связи с задачей составления астрологического предсказания при рождении ребенка, когда требуется точно установить момент рождения и его гороскоп, Бируни описывает определение момента рождения следующим образом: «Когда ребенок выходит из чрева матери, определи высоту Солнца, если это день, найди гороскоп и его градус — это и есть гороскоп этого рожденного. Если это ночь, то определи высоту одной из известных неподвижных звезд, имеющихся на [пауке] астролябии, и по ней определи гороскоп. Не рассматривай планеты, так как действия с ними трудны, а также Луну, если это не будет необходимо, так как действия с Луной приводят к ошибкам. Если облака, пыль или подобное этому мешает наблюдениям для определения высот небесных светил, то остается только определять прошедшие часы дня или ночи, по ним определи гороскоп. Определение прошедших часов производится двумя способами. [Один способ] — когда еще до рождения мы наблюдаем за ним, наполнив водяные часы водой или установив инструмент с движением, с помощью которого можно измерять время от известного времени — от восхода Солнца, или от его заката, или от подобного этому, и когда произойдет рождение, ты узнаешь по этим инструментам прошедшие часы. Другой способ — когда о рождении заранее не было известно, установи инструмент от момента рождения и наблюдай за ним до того времени, когда можно будет определить высоту Солнца или звезды

---

[1] «Геодезия», стр. 195.

и мы узнаем действительное время, а затем возвратимся от него на величину часов, определенных с помощью этого инструмента, и определим место рождения во времени»[1].

Далее Бируни описывает, как сделать самодельные водяные часы, когда готового инструмента под рукой нет: «Если инструмент не подготовлен, то возьми что-нибудь, в чем можно держать воду, из любого материала, например таз, чашку или подобное этому. Внизу этого сосуда проделай отверстие, какой величины сможешь, и когда ребенок родится, ты имеешь две возможности: первую — наливать в него (сосуд) воду и вторую — выпускать воду из него. Если ты хочешь наливать воду в сосуд, внизу которого проделано отверстие, наполняй его чистой водой и проследи, чтобы весь этот сосуд был заполнен водой, а когда он опорожнится, налей в него воду снова и так далее и подсчитай, сколько раз этот сосуд наполнялся водой до тех пор, пока ты смог определить высоту Солнца или звезды, и отметь оставшуюся его часть, т. е. место, которого достигла вода в это время. Затем узнай прошедшие часы дня и ночи в это время, а затем производи выливания воды снова до тех пор, пока их число не будет в точности равно первому числу выливаний и вода не достигнет той же отметки оставшейся части, определи высоту Солнца для этого времени и узнай время, прошедшее между этим временем и предыдущим временем. Если ты определил часы, возвратись на равное время от времени, когда ты наблюдал Солнце или звезду, тогда ты достигнешь времени рождения. Расположи кувшин с отверстием на чем-то, подобном треножнику, и наполни его водой так, чтобы вода вытекала или капала из отверстия, а когда она выльется, повтори это и подсчитай число вытеканий до того времени, когда ты сможешь наблюдать Солнце или звезду. Если в сосуде осталась вода, то отметь ее уровень. Далее произведи действие подобно тому, что мы разъяснили раньше»[2].

6. Изготовление инструментов

В инструментах, изготовленных и описанных Бируни, важное место занимают дуговые и прямолинейные шкалы для отсчетов результатов наблюдений при астрономических и геодезических работах. Мы уже говорили о том, что наблюдения Бируни отличались высокой по тому времени точностью, которая достигалась не только добросовестностью выполнения наблюдений, но и за счет использования тщательно изготовленных инструментов.

[1] «Наука звезд», стр. 327.
[2] Там же, стр. 327—328.

Точное нанесение делений на шкалы измерительных устройств всегда было связано с большими трудностями. Для повышения точности делений размеры инструментов непомерно увеличивали, как правило, разметку делали с помощью циркулей. Специальное приспособление, довольно простое по устройству, но дающее большой эффект, описал Бируни в первом и третьем разделах «Астролябий». Бируни назвал его «дастур»[1]. Два из многочисленных значений этого арабского слова — «шаблон» и «образец» по смыслу хорошо определяют суть устройства. Иногда «дастур» переводится как «транспортир», что тоже довольно близко по смыслу. Мы будем переводить этот термин как «делительное приспособление». Бируни отмечал, что принцип работы с таким делительным устройством приемлем для деления и кругов и диаметров при изготовлении всех видов астролябий.

Вот как Бируни описывает изготовление этого приспособления. «**Изготовление делительного приспособления.** Оно представляет собой кольцо из латуни, диаметр которого равен наибольшему диаметру тимпана астролябии, и применяется для деления ее лимба. Его ширина равна его толщине. Его изготовляют на токарном станке насколько возможно ровно и гладко. На делительном приспособлении основано все построение и применение астролябии. Его поверхность делится на четыре части, а каждая часть на девяносто, так что всего он содержит триста шестьдесят частей. Для того чтобы это осуществить, кольцо закрепляют на доске, а его середина для предотвращения сдвигов заливается быстро затвердевающим веществом, так чтобы поверхность его оставалась ровной и заполнила бы все пространство целиком. Далее следует найти центр делительного приспособления и провести остальные построения. Вначале на отдельных противолежащих квадрантах пишут «восток», «запад», «север» и «юг», это нужно

[1] Описание этого прибора (по Бируни) приведено в статье: *E. Wiedemann, J. Frank.* Vorrichtungen zur Teilung von Kreisen und Geraden usw. nach Biruni. Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1921, Bd. 41, N 8, S. 225—236.

для облегчения дальнейшего изложения. Каждый квадрант делят на три части для знаков зодиака, содержащих по тридцать частей, затем проводят диаметры кольца, которые, однако, не гравируют до тех пор, пока деления не будут в точности сооответствовать восхождениям в прямой сфере. На них надписывают названия знаков зодиака, начиная с Овна в точке востока по направлению к точке севера, пока не будут надписаны все знаки зодиака. Затем делят половину, прилегающую к востоку между точками юга и севера, по восхождениям в прямой сфере, их заимствуют из таблицы восхождений градусов в прямой сфере, отсчитывают соответствующие величины от точки востока к северу и делают так до конца знака зодиака, точно так же отсчитывают от точки востока к югу. Найденная точка в Овне — восхождение первого градуса этого знака зодиака, а такая же точка в Рыбах — восхождение их последнего градуса. Так же поступают со вторым и третьим градусами, пока вся указанная половина не будет разделена. Вторую половину можно не делить. Далее гравируют концы этих знаков. Все это делается с большой тщательностью, эта работа точно контролируется, чтобы не вкралась ошибка, от которой произошла бы неправильность. В этом основа всего дела, большая часть которого зависит от этого»[1].

Здесь Бируни приводит таблицу прямых восхождений градусов эклиптики, т. е. функции $\alpha = \alpha(\lambda)$, которая, как следует из формул, приведенных выше (стр. 99—100), может быть выражена формулой

$$\alpha = \arcsin \frac{\sin\lambda \cdot \cos\varepsilon}{\sqrt{1-\sin^2\lambda\cdot\sin^2\varepsilon}}.$$

Бируни продолжает: «Когда деление кольца закончено, берут пластинку из твердого дерева или лучше из меди, которая не рвется, не изгибается и не повреждается сыростью или влагой. Она должна превышать кольцо по длине и ширине. На эту пластинку кладут кольцо и прибивают его к ее поверхности в четырех или более местах. Центр кольца определяют, как указал Евклид в третьей книге своих „Начал". На пластинке проводят линии восток — запад и юг — север, и устанавливают в их точке пересечения перпендикулярно к пластинке штифт, однородный по толщине, немного более длинный, чем толщина пластинки. На его головке отмечают точку, в точности соответствующую найденному центру.

Для инструмента изготовляют алидаду. Для этого берут латунную пластинку, длина которой превосходит диаметр кольца на полтора пальца, а толщина настолько велика, что она не гнется и не искривляется. Алидада вырезается по форме, указанной на чертеже [рис. 43], причем ее края, проходящие через центр, заострены как мечи. В центре алидады проводят круг такой величины, что, когда он просверлен, отверстие в точности соответствует штифту на пластинке. Теперь делительное приспособление для кругов готово»[1].

Рис. 43

Такая конструкция делительного приспособления обеспечивает быстрое и точное деление дисков астролябий, которые устанавливаются на штифте и приклеиваются смолой внутри кольца приспособления и по поверхности которых или над поверхностью (в случае если толщина диска меньше высоты кольца) перемещается алидада. Если требуется нанести деления на эксцентричный диск, берется еще один вспомогательный диск равного диаметра и делится на делительном приспособлении, а с вспомогательного диска деления переносятся циркулем на основной. Бируни описывает также делительное приспособление для диаметра тимпана, на котором отмечаются точки его пересечения с альмукантаратами, соответствующими различным высотам. В данном случае эталоном служит не кольцо, а прямоугольная негнущаяся металлическая пластина, размер которой должен быть больше делимого диаметра. Кроме того, Бируни описывает изготовление синус-квадрантов и квадрантов теней.

Интересны и другие приспособления, описываемые Бируни в «Астролябиях», например «двойная линейка», позволяющая осуществлять одинаковое деление обеих сторон диска; циркуль с остриями дугообразной формы для проведения окружностей на шаровых поверхностях; на-

[1] «Астролябии», лл. 48—49.

[1] Там же, л. 52.

правляющие, обеспечивающие вращение колец и их фиксирование в процессе изготовления.

Особое внимание уделяет Бируни технике изготовления «пауков» астролябий. Исходя из большого личного опыта, он предостерегает граверов от поспешности при изготовлении этой ответственной детали, подчеркивает необходимость постоянного контроля за ним в процессе работы, рекомендует обращать внимание не только на точность, но и на красоту отделки инструмента.

На круге «паука», изображающем эклиптику, с помощью делительного приспособления наносится шкала эклиптических долгот, что дает возможность построить точки «паука», изображающие звезды с заданными эклиптическими координатами λ и β. При нанесении на лимбе шкалы эклиптических долгот значение λ приписывается такой точке L, для которой дуга OL от точки O пересечения лимба с вертикальным диаметром астролябии, изображающим меридиан, равна $\alpha(\lambda)$.

Делительное приспособление применяется следующим образом: для нанесения шкалы λ на круге «паука», изображающем эклиптику, «паук» закрепляется на диске делительного приспособления с помощью воска или смолы, алидада устанавливается на точке лимба со значением λ, тогда ее пересечение с кругом «паука», изображающим эклиптику, определит точку этого круга, изображающую точку с этим значением λ. Если нужно найти точку «паука», изображающую звезду с эклиптическими координатами λ и β, то по правилам сферической астрономии (приведенным выше, в III главе) находят ее склонение δ и градус прохождения λ_T, проводят концентричный с лимбом круг, изображающий в стереографической проекции параллель, соответствующую склонению δ, и соединяют центр лимба с точкой лимба со значением λ_T. Точка пересечения проведенного круга с диаметром, проходящим через эту точку лимба, и является точкой, изображающей звезду с эклиптическими координатами λ и β.

Глава пятая

География

Мы не имеем сведений о существовании в арабоязычной научной литературе до IX в. самостоятельных географических сочинений. К IX в., периоду активного перевода и комментирования античного научного наследия, можно отнести и начало знакомства ученых средневекового Востока с «Географией» Птолемея. С этого времени в арабской географической литературе существует непрерывная традиция научной географии.

В X в. появляются сочинения и другого типа — дорожники, составленные на основании официальных документов канцелярий и сведений путешественников, и географические словари, в которых главный упор делался на описание «путей и стран». Они породили своеобразный жанр средневековой арабоязычной географической литературы — «Книги о путях» или «Книги путей и государств». В основе сочинений, следующих традиции научной географии, была «География» Птолемея и античная традиция, согласно которой вся «обитаемая четверть Земли» — ойкумена — разделялась на «климаты». Арабские географы, принимая эту схему, не создавали, как правило, новых традиций; они были преимущественно собирателями фактических данных. Арабы имели представление о Европе, кроме Крайнего Севера, знали Северную Африку и Южную Азию, описали страны от Испании до устья Инда; хуже они знали области к востоку от Каспийского моря. Новые факты давали повод к уточнению географических знаний и к отказу от устаревших теорий.

«В период расцвета географической литературы в X в. мы часто встречаем еще, — отмечает И. Ю. Крачковский, — настоящих ученых исследователей, которые иногда возвышаются до высоких степеней критики своих источников, применяя нередко методы, сохраняющие значение в науке до настоящего времени»[1].

Эта характеристика в полной мере относится к Бируни. В том, что касается географической науки, он был представителем именно такого типа ученых. Бируни работал во всех областях географии своего времени: математической, физической, описательной, в составлении географических таблиц. Его географические сочинения и разделы, посвященные географии, в других трудах чрезвычайно глубоки, разносторонни, оригинальны и носят печать его своеобразного таланта. Как и в другие области науки, в географию он внес много нового, поставив и разработав ряд основных ее проблем в духе научной географической традиции.

1. Математическая география и геодезия

Вопросы математической географии изложены главным образом в «Геодезии» Бируни, целиком посвященной этой науке, и в его «Каноне Мас'уда», где математической географии посвящены вся V книга и отдельные главы IV и VI книг.

В «Каноне Мас'уда» Бируни сжато излагает основные методы определения географических координат населенных пунктов и расстояний между ними, опустив многие примеры и сведения об определении этих данных, изложение которых занимает значительное место в «Геодезии».

В 7-й главе IV книги «Канона Мас'уда» Бируни приводит способы определения широты места φ, при которых требуется знание только кульминационных высот звезд[2]. П. Г. Булгаков называет их способами «непосредственного определения», так как при этом не нужно знать склонение светила δ и «наибольшее склонение», т. е. наклон эклиптики ε[3].

Бируни рассматривает случаи незаходящих звезд с наибольшей и наименьшей высотами $h_{\max}$ и $h_{\min}$ и случай звезд, «касающихся горизонта», когда $h_{\min} = 0$.

---

[1] *И. Ю. Крачковский.* Указ. соч., стр. 23.

[2] Как указано выше (стр. 96), широта φ равна дополнению до 90° высоты полюса, т. е. угла между горизонтом и небесным экватором в данной местности.

[3] *П. Г. Булгаков.* Указ. соч., стр. 45.

В первом случае широта φ определяется по правилу, равносильному формуле $\varphi = {}^1/_2\,(h_{\max} + h_{\min})$, если $h_{\max}$ и $h_{\min}$ — одного знака, т. е. если обе высоты расположены по одну сторону от зенита, и $\varphi = 90° - {}^1/_2\,(h_{\max} - h_{\min})$, если они противоположны по знаку, т. е. расположены по разные стороны от зенита. В случае же если суточный круг светила касается горизонта ($h_{\min} = 0$), то формулируются правила, имеющие соответственно вид

$$\varphi = \frac{h_{\max}}{2} \quad \text{и} \quad \varphi = 90° - \frac{h_{\max}}{2}.$$

Далее Бируни излагает правило определения широты φ_2 некоторого населенного пункта по заданной широте φ_1 другого пункта и по одновременно измеренным в обоих пунктах высотам h_1 и h_2 одного и того же светила. При $h_2 > h_1$ это правило равносильно формуле

$$\varphi_2 = \varphi_1 + (h_2 - h_1).$$

В 1-й главе IV книги «Канона Мас'уда» Бируни приводит несколько способов определения широты места по высоте светила в меридиане и по склонению восходящих и заходящих светил, а для незаходящих светил — по их кульминационным высотам (высота Солнца в меридиане называлась «полуденной высотой»). В этом случае широта места вычислялась по правилу $\varphi = \delta \pm (90° - h_{\max})$ соответственно для $90° - \varphi + \delta \leqslant 90°$ и $90° - \varphi + \delta > 90°$. Там же Бируни приводит и обратное правило определения полуденной высоты Солнца или высоты звезды в меридиане $h_{\max}$ по склонению δ и широте φ места. Правило для определения полуденной высоты Солнца имеет вид $h_{\max} = 90° - (\varphi - \delta)$ для $\delta > 0$, т. е. северного склонения, и $h_{\max} = 90° - (\varphi + \delta)$ для южного склонения, т. е. $\delta < 0$.

Все правила Бируни сопровождает геометрическим доказательством, включая в рассмотрение и предельные случаи. На рис. 44 приведен чертеж Бируни, изображающий небесный меридиан и сечения его плоскости плоскостями горизонта DB небесного экватора CA и трех суточных кругов (GO, DN и LX). На этом чертеже $\smile{BA} = 90° - \varphi$, для первого светила $\overset{\frown}{AO} = \delta$, $\overset{\frown}{BO} = h_{\max}$, для второго светила $\overset{\frown}{AN} = \delta$, $\overset{\frown}{BN} = h_{\max}$, $h_{\min} = 0$, для третьего светила $\overset{\frown}{AX} = \delta$, $\overset{\frown}{BX} = h_{\max}$, $\overset{\frown}{DL} = h_{\min}$.

Пусть, например, светило обращается по своему суточному кругу KM. Тогда $DK = h_{\max}$, $DM = h_{\min}$. Для определения $DF = \varphi$ приведем доказательство Бируни: «Что касается диаметра KM, то обе его высоты направлены в одну сторону — северную, причем DK — его наибольшая [высота]. Мы получили три последовательных числа в арифметической пропорции, а именно DM, DF и DK с равными разностями [1]. Поэтому удвоенное среднее равно сумме крайних, и если мы сложим меньшее из них, т. е. DM, с большим, т. е. DK, то в сумме получится удвоенная широта местности. Она же получится, если мы разделим

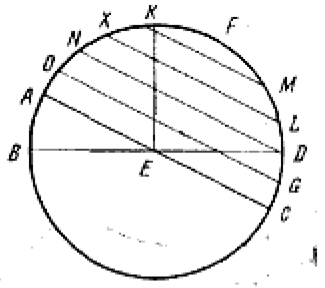


Рис. 44

пополам разность между ними, т. е. MK, и прибавим эту половину к наименьшей [из высот] DM и вычтем ее из наибольшей [из высот] DK. Получится искомая DF» [2].

Бируни показывает, что числа $DM = h_{\min}$, $DF = \varphi$ и $DK = h_{\max}$ составляют «арифметическую пропорцию», а «равные разности» $KF = DK - DF$ и $MF = DF - DM$ — «арифметическое отношение». Средний член DF этой пропорции есть среднее арифметическое крайних, откуда следует правило Бируни.

В 16-й главе той же книги Бируни предлагает метод определения широты местности по азимутам и высотам A_1, h_1 и A_2, h_2 одного светила, измеренным в разные часы одного и того же дня или ночи: «Вместе с каждой высотой измерим ее азимут и определим его сторону. Затем умножим для каждой из них синус азимута на косинус высоты; получится аргумент азимута. Если стороны обоих азимутов различны, то их аргументы складываются, а если сто-

[1] Это еще один пример применения арифметической терминологии к геометрическим величинам.

[2] «Канон Мас'уда», стр. 405—406.

рона одна и та же — вычитаются; это — первое. Далее найдем разность синусов обеих высот; это — второе. Умножим первое и второе на равное себе, извлечем корень из суммы произведений и разделим первое на корень. В частном получится синус широты местности» [1]. Это правило можно выразить формулой

$$\sin\varphi = \frac{\sin A_1 \cos h_1 \pm \sin A_2 \cos h_2}{\sqrt{(\sin A_1 \cos h_1 \pm \sin A_2 \cos h_2)^2 + (\sin h_1 - \sin h_2)^2}}.$$

Доказательство Бируни состоит в том, что он рассматривает прямоугольные проекции K и X двух положений

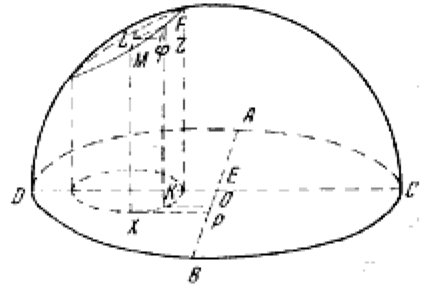


Рис. 45

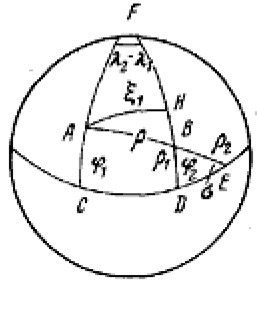


Рис. 46

F и M светила с данными азимутами и высотами на плоскости горизонта (рис. 45). Тогда расстояния проекций K и X от линии меридиана AB соответственно равны $KO = \sin A_1 \cos h_1$ и $XP = \sin A_2 \cos h_2$. Для определения широты местности φ проведем в плоскости суточного круга светила прямую ML, параллельную линии AE пересечения плоскостей небесного меридиана и горизонта, опустим на прямую ML перпендикуляр FL, а из точки L опустим перпендикуляр LZ на вертикальную прямую FK. Тогда угол φ определится из прямоугольного треугольника FZL, в котором угол F равен φ, катет ZL равен разности или сумме KO и XP, а катет FZ равен разности синусов высот. Приведенное выше правило вытекает из соотношения

$$\sin\varphi = \frac{ZL}{FL} = \frac{ZL}{\sqrt{ZL^2 + ZF^2}}.$$

[1] Там же, стр. 452.

В 18-й главе IV книги «Канона Мас'уда» Бируни приводит правило определения широты местности по «уравнению дня» $\Delta\alpha$ [1] и склонению Солнца δ, равносильное формулам

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sin \Delta\alpha}{\operatorname{tg}\delta}$$

и

$$\sin\varphi = \frac{\cos\delta\cos\Delta\alpha}{\sqrt{1-\cos^2\delta\cos^2\Delta\alpha}}.$$

Первая из этих формул — выражение второй сферической теоремы тангенсов [2] для прямоугольного сферического треугольника, вершинами которого являются полюс мира и точки пересечения горизонта с меридианом и суточным кругом Солнца.

Правила определения широт местностей излагаются и в «Геодезии».

Почти все методы, которые излагает Бируни, имеют в виду, собственно, определение не долготы места, а разности долгот двух населенных пунктов. Для определения требуемой долготы нужно было отправляться от обычно хорошо известного значения долготы какого-либо крупного города. Тогда, найдя разность долгот, путем сложения или вычитания получали искомую величину.

И в «Геодезии» и в «Каноне» (1-я глава V книги) Бируни подробно описывает метод определения разности долгот во время лунного затмения. Затмение наблюдается одновременно в двух городах, долгота одного из которых известна. Определив по возможности более точно момент середины затмения, оба наблюдателя устанавливают разницу местного времени в обоих городах, которая и представляет собой разность их географических долгот. Зная долготу одного из них, можно получить наиболее точное значение долготы другого.

Бируни подробно рассматривает все возможные варианты наблюдения: затмение происходит до или после полуночи или в одном из городов до, а в другом после, происходит ли оно в восточной или западной части горизонта и т. д. В каждом случае подробно разъясняет, как следует поступать, и поясняет правила с помощью чертежей.

[1] См. выше, стр. 102.
[2] См. стр. 73.

Бируни упоминает, что он проводил такое наблюдение для уточнения долготы Кята. «Я договорился с Абу-л-Вафой... — писал он, — в то время, когда он [был] в Багдаде, а я в столице Хорезма, о [совместном наблюдении] лунного затмения.

Мы наблюдали его вместе в триста восемьдесят седьмом году хиджры [1]. Сравнение [результатов] этих двух работ привело к тому, что между полуднями [этих городов] приблизительно один „прямой час"» [2].

Таким образом, разность долгот Багдада и Кята, полученная при этом наблюдении, получилась близкой к 1 часу, т. е. 15°. Время измерялось по часовому углу t и прямому восхождению α светила по правилу, равносильному формуле $s = \alpha + t$ (современные измерения с помощью несравненно более совершенных инструментов, чем у Бируни и Абу-л-Вафы, дают величину 1 час 0,5 мин.).

В «Геодезии» же Бируни приводит многочисленные и представляющие значительный исторический интерес данные о проведении подобных наблюдений в древности, а также своими предшественниками и современниками — астрономами средневекового Востока. «Я нашел в некоторых книгах, — писал он, — что древние [ученые] измеряли долготы городов путем наблюдения затмений, отправляясь от [меридиана] Александрии Египта» [3], и далее приводит данные о наблюдениях ал-Хашими (X в.) и ас-Серахси (IX—X вв.).

К задаче определения разности долгот двух местностей по широтам и расстоянию между ними сводится и нахождение разности долгот светил и расстояний между ними на небесной сфере, если географические координаты точек земной поверхности заменить эклиптическими координатами светил. Обе задачи сводятся к определению угла сферического треугольника по трем его сторонам, который в настоящее время легко находится с помощью теоремы косинусов сферической тригонометрии. Для полярного треугольника ABF (рис. 46) с вершинами в полюсе Земли F и данных географических пунктах A (φ_1, λ_1) и B (φ_2, λ_2), стороны которого AF и BF равны соответственно $90° - \varphi_1$ и $90° - \varphi_2$ (в дуговых градусах), сторона $AB = \rho/r$ (ρ — расстояние между пунктами, r — радиус

[1] Т. е. в 997 г.
[2] «Геодезия», стр. 234.
[3] Там же, стр. 205.

Земли), угол AFB равен $\lambda_2 - \lambda_1$,

$$\cos\frac{\rho}{r} = \sin\varphi_1 \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1),$$

откуда

$$\cos(\lambda_2 - \lambda_1) = \frac{\cos\frac{\rho}{r} - \sin\varphi_1 \sin\varphi_2}{\cos\varphi_1 \cos\varphi_2}.$$

Выше мы видели, что в некоторых случаях Бируни пользуется правилами, равносильными этой теореме. Здесь же, не поняв еще универсального характера этого соотношения, Бируни продолжает дуги FA, FB и AB до пересечения с экватором и вместо косоугольного треугольника AFB рассматривает два прямоугольных BED и AEC (рис. 46).

Если обозначить угол $AEC = BEC$ через σ, а дуги AE и BE через ρ_1 и ρ_2, то действия Бируни можно изложить следующим образом: по теореме синусов в сферических треугольниках AFE и BFE, углы AFE и BFE которых при полюсе F измеряются дугами EC и ED, он находит

$$\sin CE = \frac{\sin\rho_1 \cos\sigma}{\cos\varphi_1}, \ \sin ED = \frac{\sin\rho_2 \cos\sigma}{\cos\varphi_2}$$

и далее определяет разность $\lambda_2 - \lambda_1$, как дугу $CD = CE - ED$.

Таким образом, задача сводится к определению «первого» и «второго» синусов $\sin\rho_1$ и $\sin\rho_2$ и угла σ. Бируни рассматривает круг ABE (рис. 47), откладывает на нем дуги $AH = AB = \rho$ и $EG = BE = \rho_2$, проводит хорды BG, BH, GH и среднюю линию ZL в треугольнике BHG. Затем из точки B под углом $HBP = BGH$ к линии BH он проводит линию BP и опускает перпендикуляры LI и HM на BP. Так как LZ и BZ — соответственно половины хорд $GH = 2AE$ и $BG = 2BE$, то $LZ = \sin AE = \sin\rho_1$ и $BZ = \sin BE = \sin\rho_2$. Из подобия треугольников BKL и BLZ $\sin\rho_1 = LZ = \frac{LB^2}{KL}$; $\sin\rho_2 = ZB = \frac{KB^2 - LB}{KL}$. Угол $AEC = \sigma$ определяется по теореме синусов для сферического треугольника AEC: $\sin\sigma = \frac{\sin\varphi_1}{\sin\rho_1}$.

В VI книге «Канона Мас'уда» Бируни предлагает еще один способ определения разности долгот, изложенный

ранее в «Геодезии» [1], которым он пользуется для вычисления разности долгот Александрии и Газны. Для этой цели Бируни выбирал несколько промежуточных городов, в которых в свое время находились астрономические обсерватории, вследствие чего их широты и расстояния между ними были хорошо известны. Это Дамаск, Ракка, Самарра, Багдад, Рей, Шираз, Гурган, Ургенч, Нишапур и Балх. Искомая разность долгот является суммой разностей долгот промежуточных городов. Пусть на рис. 48 точки A и B — Багдад и Шираз. Дуга $AB = \rho$ —

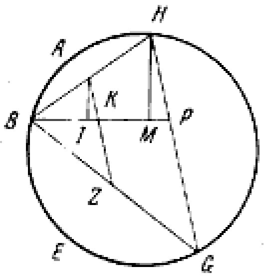


Рис. 47

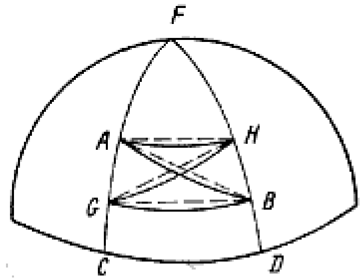


Рис. 48

известное расстояние между ними, $AC = HD = \varphi_1$, $BD = GC = \varphi_2$. Искомая разность долгот $\lambda_2 - \lambda_1$ — угол AFM, равный дуге экватора CD. Через точки A, G и B, лежащие в одной плоскости, проводятся хорды AH, GB, AG и HB. Хорда AH параллельна GB, хорды AG и HB равны. Поэтому трапеция $AHBG$ вписана в круг, и для нее имеет место теорема Птолемея: $AB \cdot GH = AH \cdot BG + AG \cdot HB$, которая в этом случае в силу равенств $AG = HB$ и $AB = GH$ принимает вид $AB^2 - AG^2 = AH \cdot GB$. С другой стороны, $\frac{AH}{GB} = \frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2}$. Поэтому

$$AH = \sqrt{(AB^2 - AG^2)\frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2}} = \sqrt{\left(\rho^2 - 4\sin^2\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right)\frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2}},$$

$$GB = \sqrt{(AB^2 - AG^2)\frac{\cos\varphi_2}{\cos\varphi_1}} = \sqrt{\left(\rho^2 - 4\sin^2\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right)\frac{\cos\varphi_2}{\cos\varphi_1}}$$

и дуга $CD = \lambda_2 - \lambda_1$ определяется из соотношения, рав-

[1] «Геодезия», стр. 228—229.

носильного формуле

$$\sin\frac{\lambda_2-\lambda_1}{2}=\frac{AH}{2\cos\varphi_1}=\frac{GB}{2\cos\varphi_2}=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\rho^2-4\sin^2\frac{\varphi_2-\varphi_1}{2}}{\cos\varphi_1\cos\varphi_2}}.$$

Разности долгот, которые Бируни вычислил по этому методу, достаточно близко совпадают с современными данными, хотя расстояния между указанными городами вычислены весьма грубо. Так, разность долгот Багдада и Шираза по Бируни — 8°33′, согласно современным данным — 8°16′; ошибка Бируни составляет всего 17′. Ошибка в вычислении разности долгот Амуля и Ургенча не превышает 20′ [1].

В V книге «Канона Мас'уда» Бируни излагает метод определения географических координат местности (φ, λ) по расстояниям ρ_1 и ρ_2 до пунктов с известными координатами (φ_1, λ_1) и (φ_2, λ_2) и известным расстоянием ρ между ними. Задача сводится к предыдущей.

Задачу определения расстояния между городами по их координатам, обратную предыдущей и подобную нахождению расстояния между светилами на небесной сфере, Бируни рассматривает в 3-й главе V книги «Канона Мас'уда». Она сводится к решению косоугольного сферического треугольника — определению его стороны по двум другим и углу между ними и обычно решается с помощью применения теоремы косинусов.

Бируни здесь разбивает треугольник ABF на два прямоугольных AFH и ABH (рис. 48) и находит искомую величину $AB=\rho$ по следующему правилу: «Умножим синус дополнения большей из широт на синус разности долгот. Получится синус первой дуги. Далее разделим синус большей из широт на синус дополнения первой дуги. В частном получится синус второй дуги. Затем возьмем разность между этой второй дугой и меньшей из широт и умножим на синус дополнения первой дуги. Получится синус дополнения расстояния. Перейдем от него к дуге и вычтем эту дугу из девяноста. В остатке получится искомое» [2].

Пусть на рис. 48 $CD=\lambda_2-\lambda_1$ — дуга экватора, $AC=\varphi_1$, $BD=\varphi_2$, $AB=\rho$ — искомое расстояние. Приведенное правило состоит в последовательном нахождении «первой дуги» $AH=\xi_1$ — сферического перпендикуляра, опущенного из вершины A треугольника ABF на сторону BF, который вычисляется по теореме синусов $\sin\xi_1=\sin(\lambda_2-\lambda_1)\cdot\cos\varphi_1$ для треугольника ABF, «второй дуги», $HD=\xi_2$ по «сферической теореме Пифагора» для того же треугольника $\sin\varphi_1=\cos\xi_1\cdot\sin\xi_2$ и, наконец, в определении $AB=\rho$ из треугольника ABH по той же теореме $\cos\rho=\cos(\xi_2-\varphi_2)\cos\xi_1$. Формула, равносильная этому правилу, имеет вид

$$\cos\rho=\frac{\cos\varphi_2\sqrt{\cos^2\xi_1-\sin^2\varphi_1}+\sin\varphi_1\sin\varphi_2}{\cos\xi_1}\times$$
$$\times\sqrt{1-\sin^2(\lambda_2-\lambda_1)\cos^2\varphi_1}.$$

И в «Геодезии» и в «Каноне Мас'уда» значительное место уделено весьма актуальной для того времени геодезической задаче — определению в данном пункте азимута другого географического пункта, если координаты обоих пунктов известны. Бируни называет эту задачу «определением азимута местности с известными долготой и широтой для горизонта нашей местности» [1].

Частный случай этой задачи — определение азимута кыблы, т. е. направления на Мекку.

В настоящее время эта задача также решается с помощью сферической теоремы косинусов. В обозначениях рис. 48 азимут города B в городе A — это угол A треугольника ABF, поэтому в силу указанной теоремы

$$\sin\varphi_2=\sin\varphi_1\cos\frac{\rho}{r}+\cos\varphi_1\sin\frac{\rho}{r}\cos A,$$

откуда

$$\cos A=\frac{\sin\varphi_2-\sin\varphi_1\cos\frac{\rho}{r}}{\cos\varphi_1\sin\frac{\rho}{r}}.$$

Но Бируни эту задачу сводит к решению прямоугольных треугольников. Для пунктов M и X Бируни обозначает теми же буквами зениты в этих городах и рассматривает их горизонты ABC и EGL (рис. 49). Тогда, если F — полюс мира, то $FC=\varphi_1$ — широта города X, в котором

[1] См. *П. Г. Булгаков.* Указ. соч., стр. 51.
[2] «Канон Мас'уда», стр. 516.

[1] Там же, стр. 522.

находится наблюдатель, $FH = \varphi_2$ — широта города M, азимут которого вычисляется, угол $MFX = \lambda_2 - \lambda_1$. Бируни вводит «широту местности X, приведенную к горизонту местности M» (т. е. сферический перпендикуляр FK, опущенный из полюса мира F на горизонт EGL города M), и «уравнение широты», т. е. разность $KC = FC - FK$ между широтой точки X и «приведенной широтой».

Искомый азимут — дуга CL. Вначале Бируни нахо-

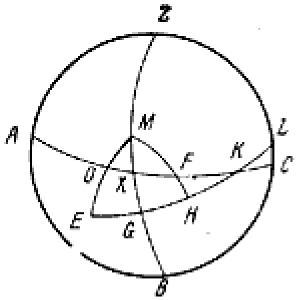


Рис. 49

дит по сферической теореме синусов для треугольника FOM дугу OM

$$\sin OM = \sin MF \ \sin MFO = \cos \varphi_2 \sin (\lambda_2 - \lambda_1).$$

Далее в треугольнике FHK по той же теореме он находит синус «уравненной широты» FK

$$\sin FK = \frac{\sin FH}{\sin K} = \frac{\sin \varphi_2}{\cos MO}.$$

Затем по той же теореме в треугольнике KXG определяется

$$\sin XG = \cos KC \ \sin K = \cos KC \ \cos MO,$$

и, наконец, искомый азимут, равный дуге CL, он находит по той же теореме в треугольнике KLC

$$\sin CL = \frac{\sin KC \sin K}{\cos XG} = \frac{\sin KC \cos MO}{\cos XG},$$

так как угол L треугольника KLC — дополнение дуги XG до 90°. Если обозначить «уравнение широты»

$$KC = FC - FK = \varphi_1 - \arcsin \frac{\sin \varphi_2}{\sin K} =$$
$$= \varphi_1 - \arcsin \frac{\sin \varphi_2}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi \sin^2 (\lambda_2 - \lambda_1)}}$$

через τ, то косинус XG равен

$$\sqrt{1 - \sin^2 K \cos^2 \tau}$$

и правило Бируни можно записать в виде

$$\sin A = \frac{\sin \tau \sin K}{\sqrt{1 - \cos^2 \tau \sin^2 K}}.$$

В «Геодезии» Бируни более подробно излагает методы определения азимута. Он приводит еще три способа, два из которых, по мнению П. Г. Булгакова, принадлежат ему. Все они являются модификациями рассмотренного. Большинство этих методов Бируни широко применял в своей астрономической практике, в частности правило определения азимута A по широте места φ_1, склонению Солнца δ и его высоте h в произвольное время дня $h \ A = f(\delta, \varphi, h)$ и обратные правила, сводящиеся к определению $\delta = f(\varphi, h, A)$ и $h = f(\varphi, \delta, A)$.

Получив несколько практических способов проведения линии, дающей направление на Мекку, Бируни применяет эти методы к нахождению азимута кыблы.

В 6-й главе V книги «Канона Мас'уда» он приводит приближенный метод определения азимута кыблы, по правилу, равносильному формуле

$$\sin A = \frac{\sin (\lambda_2 - \lambda_1)}{\sqrt{\sin^2 (\lambda_2 - \lambda_1) + \sin^2 (\varphi_2 - \varphi_1)}}.$$

Это правило, дающее вполне удовлетворительную точность при небольших разностях $\lambda_2 - \lambda_1$ и $\varphi_2 - \varphi_1$, применяли многие астрономы средневекового Востока, в частности ал-Баттани, Ибн Юнис и Улугбек.

По мнению П. Г. Булгакова, к которому он пришел на основании тщательного анализа текста «Геодезии», большинство излагаемых в ней методов математической географии принадлежит самому Бируни. Это подтверждается и при анализе текста «Канона». Столь щепетильный и добросовестный в указании источников, Бируни в этом случае почти не упоминает авторов тех или иных способов, в то время как в других случаях он тщательно документирует все заимствования. Еще один, хотя и не слишком убедительный, довод в пользу этого — то, что нам до сих пор неизвестно ни одного сочинения кого-нибудь из его предшественников, специально посвященного этим вопросам.

По-видимому, именно Бируни впервые попытался научно обоснованно выделить круг проблем геодезии и математической географии в самостоятельную область науки [1].

Одной из величин, необходимых для решения геодезических задач, является значение радиуса земного шара. Его можно вычислить, определив длину одного градуса земного меридиана. А зная радиус, можно найти и величину окружности Земли. Это хорошо понимал Бируни. И в «Геодезии», и в «Каноне Мас'уда» он обращается к истории измерения и методам вычисления градуса меридиана.

Бируни излагает историю этого вопроса начиная с Эратосфена, под руководством которого была измерена дуга меридиана между Александрией и Сиеной (Асуаном); в древности же была измерена и дуга меридиана между Пальмирой (Тадмором) и Раккой. Бируни приводит подробные сведения о подобном измерении, проведенном в IX в. по распоряжению халифа ал-Ма'муна двумя группами багдадских астрономов в пустыне Синджара близ современного Мосула. Результаты этих групп разошлись: по данным одной группы, длина градуса меридиана составляла 56 арабских миль, по данным другой — $56\frac{2}{3}$ мили [2].

Бируни не смог установить причину несовпадения результатов этих измерений. «Это расхождение явилось пунктом преткновения,— писал он, — побуждающим к возобновлению проверки и измерения. Но кто будет со мной [участвовать в] этом? Ведь он нуждается в силе, поскольку [ему необходимо покрывать] большие пространства в измеряемой местности, как нуждается он и в охране от зол, причиняемых рассеянными по ней [недругами]» [3]

Мы уже упоминали попытку такого измерения в пустыне близ Дихистана (современная Юго-Западная Туркмения), предпринятого Бируни, которая окончилась неудачей. Ему «не содействовали в этом превратности судьбы, как не помогли и старания получить помощь в этом» [4].

Бируни описывает и второй метод измерения окружности Земли — по понижению горизонта, наблюдаемого с вершины горы, высота которой известна. Такое измерение, как он указывает в «Геодезии», было проведено багдадским астрономом Синдом ибн Али во время похода халифа ал-Ма'муна на Византию.

[1] *П. Г. Булгаков.* Указ. соч., стр. 48—49.
[2] 1 арабская миля равна приблизительно 1973,2 м.
[3] «Геодезия», стр. 212.
[4] Там же.

Усовершенствованную модификацию такого метода Бируни применил в Индии, близ крепости Нандна (современный Пакистан, около 400 км к западу от Мультана), сопровождая Махмуда в одном из его индийских походов. Вот как описал Бируни свое измерение: «Для определения этого я последовал другому методу, найдя в земле Индии большую гору, возвышающуюся над широкой равниной, поверхность которой гладка, как поверхность моря.

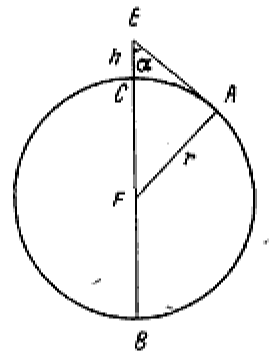


Рис. 50

Я искал на вершине горы видимое место встречи неба и земли, т. е. круг горизонта; я нашел его в инструменте ниже линии восток — запад менее чем на треть и четверть градуса, это — тридцать четыре минуты. Затем я определил высоту горы, определив высоту гребня в двух местах, которые вместе с основанием высоты лежат на одной прямой линии, и нашел, что она равна шестистам пятидесяти двум локтям и половине одной десятой локтя».

Далее следует геометрическое доказательство. «Пусть EC — высота горы, восставленная под прямым углом к сфере Земли ABC [рис. 50]. Продолжим ее в ее направлении в виде [линии] CFB. Она необходимо пройдет через центр, спускаясь к нему отвесно. Пусть центр — F, а касательная к Земле, проведенная из вершины горы, проходящая через горизонт, — EA. Соединим F и A. Получится треугольник EFA с прямым углом A и с двумя известными углами, так как угол AEF — по величине дополнения [угла] понижения горизонта, т. е. равен 89 26 минутам, синус его — 05959492 [кварт]. Угол EFA по величине самого понижения горизонта, т. е. 0 34 минуты, синус его [равен] 0 34 26 секундам, следовательно, известна та из сторон [треугольника], которая по величине EF. Если это — полный синус, то FA — косинус понижения [горизонта], CE — избыток полного синуса над косинусом понижения горизонта, т. е. 0 0 57 32 [секунд]. Этот избыток относится к FA, косинусу понижения, как локти высоты EC горы к локтям полудиаметра FA Земли»[1].

Если обозначить радиус Земли («полный синус») через r, высоту горы через h, а угол понижения через α, то найденная Бируни пропорция имеет вид

$$\frac{1-\cos\alpha}{\cos\alpha}=\frac{h}{r},$$

откуда

$$r=h\frac{\cos\alpha}{1-\cos\alpha}.$$

У Бируни угол понижения $\alpha=34'$, $h=652\ ^1/_{20}$ локтя; поэтому радиус земного шара равен $12851369^p\ 50'42''$ локтям, т. е. градус земного шара равен $55^p\ 53'\ 15''$ арабским милям или 110275 м. По современным данным длина градуса меридиана для широты 32°00′ (широта места измерения Бируни) — около 110895 м. Следовательно, его ошибка составляет всего 620 м.

Этой же проблеме посвящено не дошедшее до нас сочинение Бируни «Книга об определении размера Земли по наблюдению понижения горизонта с вершины горы».

2. Описательная и физическая география

Описательной и физической географии посвящен ряд вопросов и ответов «Науки звезд», введение и часть третьей главы «Геодезии» и несколько глав V книги «Канона Мас'уда».

Бируни предпринял успешную попытку применить научную географическую традицию к осмыслению и изложению колоссального фактического материала, который он извлек из разнообразных источников.

«Я упорно трудился в прошлом,— писал он, — над соединением метода Птолемея... с [методами] ал-Джейхани и других [ученых, которым они следуют] в «Книгах

[1] «Канон Мас'уда», стр. 530—531.

о путях»; я собрал рассеянное, разъясняя неясное и пополняя эту отрасль знаний. Я начал с уточнения расстояний и названий мест и городов, [основываясь] на слышанном о тех, кто по ним странствовал, и собранном из уст тех, кто их видел. Предварительно я проверил надежность [материала] и предпринял меры предосторожности путем сопоставления [сведений] одних [лиц] со [сведениями] других»[1].

Описание «обитаемой части Земли» Бируни начинает с изложения принятых у разных народов принципов деления ее на мелкие области, отдавая предпочтение античным представлениям. «Индийцы,— писал он,— не достигли в этом искусстве таких высот, как греки, и сами отдают им первенство. Мы также склоняемся к их точке зрения»[2].

Индийские географы, по словам Бируни, делили «обитаемую четверть» на девять частей по странам света: центр, восток, юго-восток, юг, юго-запад, запад, северо-запад, север, северо-восток — «по четырем странам света, по тому, что находится между двумя из них, и по тому, что находится в середине»[3].

Персы подразделяли ее на семь круглых зон — «кешваров» (рис. 51) — деление, восходящее к иранской традиции (само название «кешвар» — древнеиранского происхождения). Бируни подчеркивает, что в основе такого деления лежит не естественно-климатический, а политический принцип. «Причина такого деления в том,— писал он,— что могущественнейшие из царей избрали своим местожительством Ираншахр, а это — Иран, Фарс, Джибал и Хорасан... Цари неизбежно должны были селиться в среднем [круге], чтобы были одинаково [близкими для них] цели их устремлений и стало легким взимание того, что они намеревались [захватить] в тех местах, куда устремлялись... Они стремились к тому, чтобы были одинаковы от них расстояния до государств других царей, дабы они могли делать с ними все, что хотели, а все окружающие их цари были объяты состоянием страха перед ними и желали сохранять добрые отношения...

Нет никакой связи,— замечал он далее,— между этим делением и какими-нибудь режимами естественных

[1] «Геодезия», стр. 91. Ал-Джейхани — среднеазиатский географ X в., автор не дошедшей до нас «Книги путей и государств».
[2] «Канон Мас'уда», стр. 536.
[3] Там же, стр. 539.

условий или законами астрономии. Оно [произошло] либо в соответствии с различиями между государствами... либо в силу насильственного покорения [народов]»[1].

Более научно обоснованной является, по его мнению, античная традиция деления ойкумены на широтно-климатические зоны—«климаты» по астрономо-географическому принципу: в соответствии с продолжительностью дня летнего солнцестояния или величиной склонения Солнца [2]. Ширина «климата» выбиралась так, чтобы при переходе от одного «климата» к другому продолжительность самого

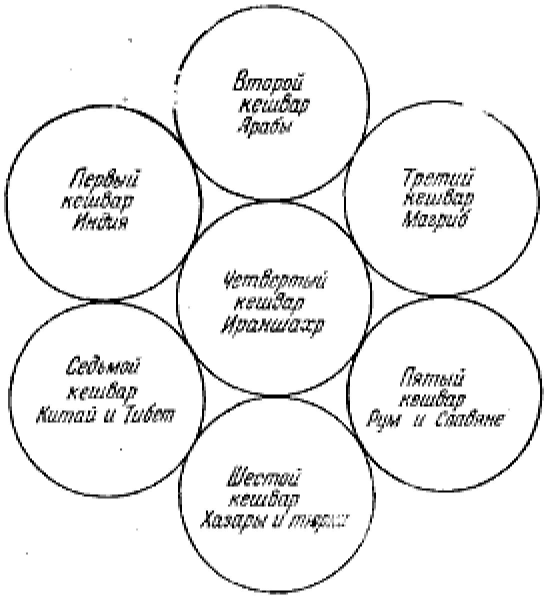


Рис. 51

длинного дня в году отличалась на полчаса. Теория «климатов» была общепринята в средние века как на Востоке, так и на Западе. Однако единства в делении на «климаты» у средневековых географов не было. Расхождения появлялись главным образом за счет того, что границы «климатов» часто весьма произвольно привязывались к градусам

---

[1] «Геодезия», стр. 154

[2] Понятие «климат» (греческое — κλίμα, арабское — «иклим»), по-видимому, ввел в науку Эратосфен. Число «климатов» (семь), очевидно, результат синтеза античной и иранской (семь кешваров) традиций. Впервые деление ойкумены на семь «климатов» по широтному принципу встречается у Хорезми (см. *И. Ю. Крачковский*. Указ. соч., стр. 95).

широты населенных пунктов, представляющих для того или иного автора особый интерес.

Бируни приводит следующие границы «климатов» по продолжительности самого длинного дня:
1) от $12^3/_4$ до $13^1/_4$ часа, 2) от $13^1/_4$ до $13^3/_4$ часа, 3) от $13^3/_4$ до $14^1/_4$ часа, 4) от $14^1/_4$ до $14^3/_4$ часа, 5) от $14^3/_4$ до $15^1/_4$ часа, 6) от $15^1/_4$ до $15^3/_4$ часа, 7) от $15^3/_4$ до $16^1/_4$ часа.

В V книге «Канона Мас'уда» Бируни приводит также и другое деление северного полушария на семь областей по широте, более близкое к современному: 1) земной экватор ($\varphi = 0$), 2) от экватора до северного тропика ($0 < \varphi < \varepsilon$) — «тропическая область», 3) северный тропик ($\varphi = \varepsilon$), 4) от северного тропика до северного полярного круга ($\varepsilon < \varphi < 90° - \varepsilon$), 5) северный полярный круг ($\varphi = 90° - \varepsilon$), 6) от северного полярного круга до полюса ($90° - \varepsilon < \varphi$) — полярная область, 7) Северный полюс ($\varphi = 90°$).

На экваторе суточные круги светил перпендикулярны горизонту. В тропической области эклиптика проходит через зенит в двух своих точках. На тропике эти две точки сливаются в точке летнего солнцестояния. Между тропиком и полярным кругом эклиптика ни разу не проходит через зенит, но суточные круги Солнца всегда пересекают горизонт. На полярном круге одни из суточных кругов касаются горизонта, в полярной области появляются суточные круги Солнца, не имеющие общих точек с горизонтом, на полюсе суточные круги светил параллельны горизонту. В V книге «Канона Мас'уда» приведены также две таблицы, в одной из которых указаны продолжительность самого длинного дня в начале, середине и конце «климата», высота Солнца и полуденные тени в дни летнего и зимнего солнцестояния, в другой — размеры «климатов» по широте и долготе в арабских милях и фарсахах и их площади в квадратных милях и фарсахах.

Приступая к описанию распределения стран по климатам, Бируни, чрезвычайно щепетильный во всем, что касается научной строгости, считает необходимым сделать оговорку: «Если известна широта местности, то, так как мы привели широты начал и концов климатов, положение местности в климате становится известным. Но данные о широтах в большинстве случаев далеки от истины; до сих пор мы можем только примерно установить правильные широты, так что, когда мы описываем страны в климатах, мы поступаем приблизительно и не строго, хотя, конечно, то, что мы сообщаем здесь, ближе к истине, чем то, что обычно пишут в книгах»[1].

Первый «климат» простирается от юго-восточной части Китая (Бируни считал, что Китай простирается на юг до самого экватора) до Западного Судана и кончается в Океане. Бируни упоминает два китайских города — Хандҗу и Ханку — «его порты на реках, в которые входят корабли из морей» (возможно, Ханчжоу и Ханькоу), острова Забадж и Сариру (Яву и Суматру). Сюда же Бируни относит остров Шри-Ланка, Южный Йемен, Софалу зинджей (часть восточного побережья Африки с Занзибаром).

Ко второму «климату» он относит центральный Китай, южную часть Индостана, Синд и города на побережье Индийского океана, Оман, центральную часть Аравийского полуострова, в том числе города Мекку и Медину, на Африканском материке Эфиопию, Верхний Египет, «Южную часть страны Магриб».

Третий «климат» начинается от восточного Китая, включает центральную часть Индостана, южную часть современного Афганистана, южный и центральный Иран, Месопотамию, Сирию и Палестину, Нижний Египет с Александрией, Северо-Западную Африку (Тунис, Танжер).

Четвертый «климат», начинаясь в Китае, проходит через Тибет, Кашмир, Гиндукуш, Бадахшан, центральный Афганистан, Иран, Азербайджан. В Средиземном море в него попадают Кипр, Родос, Сицилия, Гибралтарский пролив.

Пятый «климат» простирается от «страны восточных тюрок» и «земли тюркских племен» через Кашгар и Баласагун, включает основную часть современной Средней Азии с Ферганой, Исфиджабом, Шашем (Ташкентом), Усрушаной, Самаркандом и Бухарой, Хорезм, Хазарское (Каспийское) море, Северный Азербайджан, Армению, «Рум (Византию) и его проливы» (Босфор и Дарданеллы), Андалус (Испанию) и «заканчивается в Океане».

Шестой «климат» идет от кочевий восточных тюрок, проходит через кочевья туркмен, «через город хазар и северную часть их моря, через страну алан и асов» (осетин), «Константинополь, страну Бурджан (дунайских болгар) и земли франков, север Андалуса и заканчивается в Океане ...

Что касается седьмого климата, то в нем мало обработанных земель. В его восточной части находятся только лесные чащи и горы башкир, область печенегов, он идет через города Сувар и Булгар и земли русов, славян, болгар и мадьяр и заканчивается в окружающем море»[1].

Традиции античной географии для большинства средневековых авторов были каноном, отойти от которого они не решались, даже если их данные вступали в противоречие с этой схемой. Так, почти все они считали населенной только «обитаемую четверть» и предполагали, что жить за пределами семи климатов, в жарких и холодных странах невозможно.

Бируни выдвигает по этому поводу собственную точку зрения. «Обитаемые [земли], — писал он,— не оканчиваются сразу же за пределами седьмого климата или перед началом первого, но они сокращаются и идут отдельными обособленными пятнами. Дело в том, что жара южнее первого климата выжигает [все живое], если только не воспрепятствует этому [благоприятное] положение местности относительно морей и гор. Таковы пустыни Судана, находящиеся [южнее первого климата], выжигаемые [зноем], который не дает возможности произрастать растениям, от которых зависит появление [жизни] животных; они лишены [также] умеренной температуры воздуха, вдыхание которого является основой этой жизни. Однако на островах, параллельных этим пустыням, есть обитаемость, хотя возможно, что жители их и не причисляются к людям.

Так же и холод. Он губителен севернее седьмого климата и препятствует произрастанию растений, являющихся основой для [жизни] животных, своей суровостью, неистовостью и долговременностью, [как препятствует жизни растений] нагроможденность снегов, которые либо вовсе не сходят с земли, либо сходят на короткое время. Однако и там местоположение какого-нибудь обособленного участка может вызвать некоторое смягчение [этих условий]. Так, мы видим северные местности лишенными оби-

[1] «Наука звезд», стр. 143.

[1] «Наука звезд», стр. 145. Сувар и Булгар — города страны волжских булгар, расположенной на среднем течении Волги и ее притоках.

таемости из-за холода и снегов. Однако мы находим обитателей [берегов] моря, известного под названием море Варангов, отходящего от Окружающего моря к северу от [земель] славян.

Этот [народ] живет на его берегу в местностях, параллельных [областям], объятым холодом и снегами, но сами эти местности обладают не столь суровыми холодами, хотя и они довольно сильные»[1].

Таким образом, Бируни считал безусловно обитаемыми острова у берегов Африки и побережье Варяжского (Балтийского), а возможно, и Белого морей.

И данные «Науки звезд» и «Геодезии», и географические таблицы «Канона Мас'уда» убеждают нас, что Бируни имел сведения об обитателях областей севернее седьмого «климата». Он называет русов, варангов (варягов), саклабов (славян), волжских булгар за седьмым «климатом», жителей страны Иcу, с которыми торгуют булгары (очевидно, народ весь русских летописей), народ Йура (югра?), живущий в дремучих лесах.

Приведем описание Бируни.

«... Жители, находящиеся за [серединой седьмого климата], немногочисленны и подобны дикарям. Крайний пункт, где они сообща [живут],—страна Йура. К ней идут [из страны] Иcу в течение двенадцати дней, а к Иcу из Булгара — в течение двадцати дней. [Они передвигаются] на деревянных санях, в которые погружают припасы и которые тащат либо сами, либо их собаки, а также на других [скользящих приспособлениях], сделанных из кости, которые они привязывают к ногам и с их помощью покрывают большие расстояния в короткие сроки»[2].

Важные для исторической географии сведения приводит Бируни об «обитателях [берегов] моря Варангов»: «... Мы находим среди этих [людей] тех, кто далеко уходит в это море в летние дни с целью промысла или набегов и достигает по азимуту Северного полюса до таких мест, где Солнце при летнем солнцестоянии вращается над горизонтом; они наблюдают это воочию и [затем] похваляются между собой, что достигли таких мест, где совсем нет ночи»[3]. По мнению Бируни, изложенному в «Науке звезд», море Варангов — залив Океана, расположенный между

[1] «Геодезия», стр. 159—160.
[2] Там же, стр. 156.
[3] Там же, стр. 160.

землями славян и булгар. В «Геодезии» он пишет, что оно отходит от Океана к северу от земель славян. Весьма вероятно, что здесь речь идет о разных морях: в одном случае о Балтийском, а в другом — о Белом; с этим предположением вполне согласуется характеристика «обитателей берегов моря Варангов», которую трудно отнести к жителям Балтийского побережья.

Ко времени Бируни арабские географы располагали данными о восточном побережье Африки, примерно до 20° ю. ш. О странах к югу существовали только предположения, материалом для которых служили косвенные сведения. Поэтому весьма ценны его попытки восполнить этот пробел.

Бируни возражает против соображений Птолемея о форме Африканского материка. Согласно Птолемею Африка сильно вытянута на восток и восточное ее побережье представляет собой южное побережье Индийского океана, который считался закрытым бассейном, т. е. на юге Африканский и Азиатский материки смыкаются. Бируни излагает другую точку зрения:

«Полагают, что оба эти моря[1] на западе и на востоке обитаемой [части земли] разъединены. Однако рассказывают со слов плававших по ним и потерпевших кораблекрушение из-за бурь такое, что позволяет предполагать их соединение. Кроме того, в наше время появились [доказательства], которые подкрепляют это предположение и даже делают его истиной. Дело в том, что в Окружающем море напротив слияния с ним Сирийского моря были найдены прошитые доски от кораблей. Но [они могли быть прошиты] только в Индийском море в силу множества там магнитных камней, [которые опасны для кораблей], а не в Западном, ибо в последнем корабли скрепляются железными гвоздями, а не сшиваются. Наличие этих [досок] в этом [море] — доказательство того, что они попали в него через соединение между ними. Оно не может иметь место со стороны [моря] Кулзума, ибо между ним [и Сирийским морем] есть перешеек. Далее, трудно предполагать соединение со стороны моря, [находящегося] на севере. Тогда должны были бы эти доски, изломанные в Индийском море, выйти из него через восточный, соединяющий [моря]

[1] Бируни имеет в виду Индийский океан и Средиземное («Сирийское») море.

пролив, а затем обогнуть место, находящееся на севере под зенитом Полярной звезды, или же [пройти] через [другую] северную четверть [Земли], противолежащую обитаемой и относящуюся вместе с нею к нижней [половине земного шара]» [1].

«Восточный пролив», о котором говорит здесь Бируни, по-видимому, Берингов пролив, известный Бируни, несомненно, только по косвенным соображениям. В «Геодезии» он указывает также, что при продолжении обитаемой части Земли на восток и запад «нет там помех для жизни со стороны чрезмерной жары или холода» [2] и объясняет необитаемость земель на восток и запад от «обитаемой четверти» только «божественным умыслом». Открытие Америки впоследствии блестяще подтвердило мысль Бируни об отсутствии причин необитаемости этих земель.

Признавая акт сотворения вселенной, Бируни считал, что дальше она развивалась по собственным законам, постоянно находясь в состоянии движения и изменения. Он был хорошо знаком с взглядами греческих философов, утверждавших, что поверхность Земли непрерывно изменяется, и полностью воспринял их точку зрения. С этих позиций он подходил к изучению геологического прошлого Земли.

По этому поводу он высказал чрезвычайно интересные соображения. Так, в «Минералогии» Бируни размышляет о происхождении плодородной почвы долины Нила в Египте. «... Вся земля Египта,— писал он,— была когда-то морем, а затем вода спала с нее благодаря наносам, и на этой земле осталось семь заливов, а все это известно из книг древних авторов» [3]. Переходя к Судану, он писал: «Что касается тех земель и пустынь всего ас-Судана, то они образованы наносами потоков, низвергавшихся с Лунных и Южных гор; они постепенно приподнялись, подобно земле Египта, после того как она была морем» [4]. В предисловии к «Геодезии» Бируни излагает весьма близкие к современным представлениям соображения об изменении поверхности Земли как результате геологических процессов и о перемещении в связи с этим материков и морей. «Мы [ничего] не знаем об обстоятельствах [сотворения мира],— говорит он,— кроме наблюдаемых результатов древних [процессов], для образования которых потребовались большие сроки». И далее: «... Булыжники и галька — камни, отколовшиеся от гор при образовании трещин и при столкновении [скал]. Затем они длительно подвергались [воздействиям] течения воды и дуновения ветров ... Отделившиеся от [камней] крупицы — это песок, а затем пыль.

Галька скапливалась в руслах рек ... Сквозь нее проникли песок и пыль, которые смешались с нею ... И если мы встретим гору, состоящую из гладких камешков,— а среди [гор] часто бывают такие,— то будем знать, что она возникла так, как мы описали ...

Все эти обстоятельства безусловно требовали долгих сроков, количественно не установленных, и [сокрыты] под качественно неизвестными процессами изменений. Благодаря им передвигается обитаемая часть суши по [различным] областям Земли. Когда части суши перемещались из одного места на другое, перемещалась вместе с ними их тяжесть, которая становилась различной на краях [Земли]...

Удаление частей [суши] от центра [Земли] не было постоянным по своей величине в течение времени. Когда они поднимались или когда сильно заносилось [песком] все, что вокруг них, то иссякали [текучие] воды, высыхали источники, образовывались овраги, земля переставала возделываться, и население переселялось в другие [места]. И восходят запустевшие [места] к глубокой древности, а культура их — к [былому] подъему и молодости. ... Так суша перемещалась на место моря и море на место суши в [древние] времена: если до существования человека в мире, то в неизвестные, а если после, то в незапамятные, поскольку сведения обрываются по прошествии долгого времени, особенно если они касаются явлений, существующих в [виде постепенных изменений], части за частью, так что вникнуть в эти [явления] могут лишь избранные.

Вот, [например], Аравийская пустыня. Раньше она была морем, которое занесло [песком]. Следы этого в виде слоев земли, песка и гальки обнаруживаются при рытье в этой пустыне колодцев и бассейнов» [1].

---

[1] «Геодезия», стр. 161—162.
[2] Там же, стр. 160.
[3] «Минералогия», стр. 125.
[4] Там же, стр. 225.

[1] «Геодезия», стр. 93—94.

Совершенно исключительный интерес для истории геологического прошлого Средней Азии представляют рассуждения Бируни о древних течениях Амударьи, процессе сложения ее аллювиальной дельты и образования Аральского моря. Речь идет о пустыне «между Джурджаном (Гурганом) и Хорезмом», т. е. частью Каракумов между низовьями Амударьи и Каспийским морем. «В прошлом,— писал Бируни,— она походила на озеро вследствие того, что русло Джейхуна ...[проходило] по ней к Хазарскому морю через город, известный под названием Балхан [1]. Так, Птолемей упоминает в книге „География" место впадения [этой реки, говоря], что [она впадает] в Гирканское, то есть Джурджанское, море. ... В те времена Джейхун проходил через эту местность, являющуюся ныне пустыней ... Он орошал бывшие в ней города и селения вплоть до Балхана и впадал в море между Джурджаном и Хазаром.

Затем оказались у [Джейхуна] преграды, отчего вода его уклонилась к окраинам земли грузов, но преградила ему [путь] гора, известная ныне под названием Фам ал-Асад, а у жителей Хорезма — Сикр аш-Шайтан. Вода скопилась и вышла из берегов, так что следы ударов волн сохранились на верхней части [этой горы]. Когда же [вода] превзошла пределы тяжести и напора, [выдерживаемого] этими расшатавшимися скалами, она прорвала и прорезала их приблизительно на расстояние одного перехода. Затем [Джейхун] свернул вправо, в сторону Фараба, по руслу, именуемому сейчас ал-Фахми. Люди построили по обоим его берегам свыше трехсот городов и сел, развалины которых сохранились доныне.

Вскоре воспрепятствовало этому течению то же, что воспрепятствовало и первому. Оно оказалось прегражденным, и вода отклонилась влево к земле печенегов по руслу, известному под названием Вади Маздубаст, [проходящему] по пустыне, которая находится между Хорезмом и Джурджаном. Это русло вызвало процветание многочисленных участков в течение продолжительного времени, но опять опустело ...

[1] Джейхун — Амударья, Хазарское море — Каспийское, Балхан — согласно средневековым географическим сочинениям — древний город на Каспийском побережье у отрогов Балханских гор. Бируни приводит в своих географических таблицах его координаты.

Затем вода потекла в сторону Хорезма, тогда как ранее протекали к нему лишь ее остатки, просачиваясь через место, запруженное скалами, которое ныне находится в начале Хорезмийской равнины. Вода прорвалась [сквозь скалы] и затопила эту местность, превратив ее начиная оттуда в озеро. Вследствие обилия и быстроты течения вода [Джейхуна] стала мутной из-за несомого ею ила. При расширении [русла] она стала осаждать содержащуюся в ней почву; постепенно в устье стала нарастать земля, и стало оно сушей. Озеро стало отступать, пока не показался [из воды] Хорезм целиком. Удаляясь, озеро достигло горы, преградившей ему [путь]. Оно не смогло сдвинуть ее и отклонилось к северу, к земле, которую сейчас населяют туркмены. Между этим озером и тем, которое образовалось у Вади Маздубаста, небольшое расстояние. Последнее же [озеро] стало грязевым непроходимым солончаком, называемым по-тюркски „Хиз танкизи", то есть „Море девицы"»[1].

Почти все географические названия, которые Бируни привел в этом отрывке, благодаря геологическим и археологическим исследованиям на территории древнего Хорезма идентифицированы с современными. Под одним из упоминаемых озер Бируни имел в виду Аральское море, под другим — Сарыкамышское озеро, Хиз танкизи («Море девицы») — очевидно, Сарыкамышская котловина, Вади Маздубаст — западная, присарыкамышская дельта, ал-Фахми—Акча-дарья—старая восточная дельта Амударьи. Фам ал-Асад («Пасть льва») соответствует теснине Дульдуль-атлаган, через которую сейчас проходит река. Близ нее до сих пор сохранились развалины Данишер (по-персидски «Дахан-и-шир» — «Пасть льва»).

Согласно теории Бируни в древности Амударья текла на запад и впадала в Каспийское море у Балханских гор. Затем она повернула на север, прорвалась через теснину «Фам ал-Асад» и, отклонившись к востоку, потекла по руслу ал-Фахми. Следующий поворот реки — на запад, в Сарыкамышскую впадину, ставшую озером, и наконец по современному руслу в Аральское море. Очевидно, первоначальное течение Амударьи Бируни связывал не с четко прослеживаемым сухим руслом Узбоя, а с более южными руслами, которые достаточно трудно проследить (воз-

[1] «Геодезия», стр. 95—96.

можно, это Келифский Узбой, проходящий вдоль юго-восточной границы Каракумов). Второй прорыв реки, по-видимому, связан с тесниной Тюя-муюн, самой узкой и извилистой ее частью, где теперь сооружаются плотина и водохранилище. Развалины селений вдоль сухого русла — очевидно, остатки расположенного там оазиса.

Геолого-географическое исследование Хорезма показало, что Амударья действительно впадала в Каспийское море в нижнечетвертичный период, когда не существовало еще ни Аральского моря, ни Сарыкамышской впадины. Поворот ее русла произошел во второй половине четвертичного периода. Бируни ошибочно относил эти события к историческим временам и связывал с существованием на берегах древних русел культурных оазисов.

Уровень развития исторической науки в эпоху Бируни не давал возможности судить об истории развития материальной культуры и отличать памятники исторических периодов от следов доисторических эпох. Однако его соображения о причине поворота Амударьи, ее прорыва в теснинах через древние породы, о происхождении аллювиальной поймы среднего течения и характере ее плодородной дельты сближают эту гипотезу с точкой зрения современной геологии и географии.

3. Географические таблицы

В V книге «Канона Мас'уда» помещены таблицы широт и долгот 602 городов и других населенных пунктов, распределенных по семи «климатам». Наличие таких таблиц было традиционным в средневековых зиджах.

Таблицам предшествует рассуждение о выборе начала географических координат, точнее, начального меридиана ($\lambda = 0$), так как широту места всегда отсчитывали от экватора. Бируни приводит по этому поводу разные точки зрения.

«Середина обитаемой земли в своем [долготном] протяжении по экватору известна у астрономов как „купол Земли"»[1], —писал Бируни. Считалось, что концы обитаемой части равноудалены от этого купола, расположенного на острове Шри-Ланка на широте экватора. За начальный индийцы принимали меридиан, проходящий через

[1] «Индия», стр. 280.

«купол» на Шр-Ланке, г. Уджайн и мифическую гору Меру («индийский Олимп») к северу от Гималаев.

Концы обитаемой части («Ромака» на западе и «Ямакоти» — Джамкут на востоке), таким образом, оказывались на расстоянии 90° от меридиана Уджайна. В Китае, отчасти в Индии и Иране нулевым считался меридиан, проходящий через самую восточную точку ойкумены.

Согласно греческой традиции начальный меридиан находился на крайнем западе.

«Греки, — сообщал Бируни, — начинали измерение долгот сначала от своей границы, а затем они изменили начало и стали принимать за него берег Окружающего моря — океана, так что долгота Вавилона близ Багдада стала у них равна семидесяти градусам. Птолемей принимал за начало острова Блаженных [1], находящиеся в море на расстоянии десяти градусов, так что долгота Вавилона близ Багдада стала у них равна восьмидесяти градусам»[2].

В зиджах астрономов стран ислама встречаются оба начальных меридиана, и разница в определении долготы у сторонников обеих точек зрения составляет 10°. Сам Бируни принимал за начало отсчета долгот «берег Окружающего моря», т. е. побережье Атлантики у Пиренейского полуострова; его начальный меридиан проходит на 24°30′ западнее Гринвича. За 90° он принимал расстояние между ним и начальным меридианом индийцев.

По форме таблицы Бируни несколько отличаются от таблиц предшественников и больше всего напоминают таблицы ал-Баттани.

В чем же именно в таком случае состоит ценность таблиц Бируни?

Большинство авторов зиджей, в особенности представители греческой школы, весьма строго придерживались «Географии» Птолемея и тогда, когда знали заведомо больше, чем он, и их сведения вступали в противоречие с птолемеевскими. Даже у такого большого ученого, как ал-Баттани, координаты большинства городов заимствованы у Птолемея. Бируни же кроме данных Птолемея включил в таблицы все известные ему сведения, полученные самыми различными путями: из зиджей, из дорожников, из устных расспросов, и сведения, полученные во время

[1] Канарские острова.
[2] «Канон Мас'уда», стр. 504.

пребывания в Индии и в других почти всегда вынужденных путешествиях. Многие данные он получил в результате собственных наблюдений и вычислений.

Выше мы упоминали об определении координат городов Хорезма и широт в Индии.

Значительную часть материала таблиц Бируни получил с помощью сконструированного им глобуса, описание которого он привел в «Геодезии». «Я не жалел ни сил, ни денег, желанных для меня, на пути к достижению этой цели и изготовил для мест и городов полушарие диаметром в десять локтей, чтобы определять на нем долготы и широты из расстояний, так как время не позволяло применять [математические] расчеты для их [вычисления] из-за множества [расстояний] и длительности [расчетов].

Полученные результаты я закреплял в записях и не запоминал наизусть, надеясь на спокойствие и безопасность от бедствий. Когда же беда застигла меня врасплох, она погубила все упомянутое так же, как и [плоды] всех других моих стараний» [1].

П. Г. Булгаков убедительно доказал, что Бируни построил этот глобус на родине, в Кяте, когда ему было не более двадцати двух лет от роду[2]. Только в начале своей научной деятельности он мог письменно фиксировать данные, не пытаясь запоминать наизусть. В течение всей своей дальнейшей жизни, полной скитаний, тревог и опасностей, он не мог рассчитывать на сохранность записей.

На поверхности глобуса можно было непосредственно вычислять дуги параллелей и меридианов, строить сферические треугольники для определения координат населенных пунктов и расстояний между ними, заменив этим в некоторых случаях громоздкие вычисления.

С помощью глобуса Бируни удачно сочетал данные практической астрономии («метод Птолемея») с данными дорожников и описаний путешествий («метод Джейхани и других»). Это позволило ему получить самые исчерпывающие для своего (и не только своего) времени материалы, которые потом вошли в состав его таблиц. (Таблицы ал-Баттани содержат координаты 273 городов, у Бируни—602). И хотя в таблицах Бируни отсутствуют некоторые города Европы, имеющиеся у Птолемея, зато содержатся

[1] «Геодезия», стр. 91.
[2] *П. Г. Булгаков.* Указ. соч., стр. 59—60.

Рис. 52 Карта мира Бируни в «Науке звезд» (рукопись Британского музея)

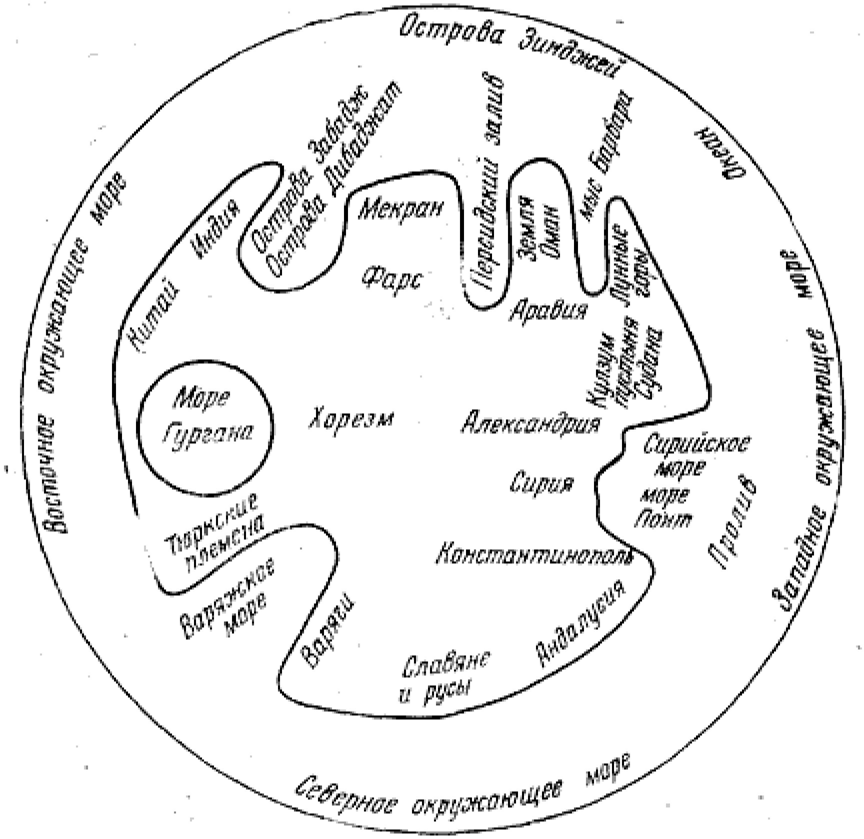


Рис. 53

обширные сведения о координатах городов и поселений Средней Азии, Ирана, Афганистана, Индии, Китая (в основном по данным индийских источников), неизвестные древним географам.

В «Науке звезд» Бируни поместил схематическую карту мира — первую, сохранившуюся до наших дней. На рис. 52 она воспроизведена по рукописи, хранящейся в Британском музее. На рис. 53 — та же карта, но географические пункты даны в русском переводе. Возможно, что при черчении карт Бируни пользовался глобулярной проекцией, предложенной им в его «Картографии».

Приведем начало таблиц Бируни.

Южнее экватора Бируни располагал «Софалу зинджей», Канбалу, «место пребывания царей зинджей на острове (Занзибар)» и Сариру (Суматру).

Таблица долгот местностей от берега западного Окружающего моря и их широт от линии экватора *

Название местностей, находящихся в климатах	Долгота: времена	Долгота: минуты	Широта: части	Широта: минуты	Области и страны
Из того, что по широте за линией экватора					
Софала зинджей-мусульман, находящаяся против Александрии и Египта	50	0	2	0	Зинджи
Канбала — место пребывания царей зинджей на острове	52	0	3	0	Зинджи
Ру'ауа из их местностей	56	0	1	0	Зинджи
Сарира — большой остров на Востоке Зеленого моря	140	0	1	0	Индия
Из того, что по широте на линии экватора					
Остров Ланка, известный в книгах как Купол Земли	100	60	0	0	Неизвестные
Тара, о которой упоминают ал-Фазари и Я'куб ибн Тарик	190	50	0	0	Неизвестные
Джамкут на восточном краю, у персов — Джамакурд. Согласно индийцам, за ним нет поселений	190	0	0	0	Неизвестные

* «Канон Мас'уда», стр. 547.

Между экватором и первым «климатом» он помещал Мероэ (Судан), Барбару и Зайлу (современное Сомали), Аден и Хадрамаут, остров Сокотру в Аденском заливе, один из Никобарских островов, некоторые места Кореи.

В числе пунктов первого «климата» Бируни приводил данные о Донголе (Судан), городах Йемена (в том числе Сане), городах Индии и портах Южного Китая.

Во втором «климате» указаны Сус Дальний (Марокко), семь городов Южного Египта, 13 городов на Аравийском полуострове (в том числе Мекка и Медина), Уджайн, Канаудж, Гвалиор и некоторые другие города Индии.

В третьем «климате» указаны города Марокко, в том числе Басира против Гибралтара и Сиджильмаса на краю пустыни, города «страны берберов», нынешнего Алжира, в том числе Сатиф, города в «Африке», нынешнем Тунисе, в том числе Тунис и Кайруан, города «Александрии» — Средиземноморского побережья Ливии и Египта, в том числе Триполи, Барка и Александрия, Каир, Мемфис, Файюм и другие, Палестины — Аскалон, Иерусалим, Кулзум, Тиверия на берегу Тивериадского озера, Сирии — Кесария, Акка, Дамаск, Месопотамии и Ирака, в том числе Багдад, древние Вавилон и Ктесифон, Ирана — Шуштер, Гундишапур, Шираз, Хурмуз, Афганистана — Газна и другие, Индии, в том числе Мультан, и т. д. В четвертом «климате» перечислены 17 городов Испании, в том числе Севилья, Кордова, Сеговия, Гибралтар, Мерида, Малага, Толедо, Сарагоса, Мурсия, Валенсия и Лерида, города Марокко (в их числе Фес), острова Средиземного моря, города Малой Азии, Сирии и Ливана (Тарсус, Латакия, Триполи, Сур—Тир, Сайда—Сидон, Бейрут, Искандерун — Александретта, Хомс, Антиохия и Халеб—Алеппо), Месопотамии и Ирака (Харран, Эдессу, Нисибин, Ракка, Тадмор—Пальмира, Синджар), Азербайджана, Армении, 45 городов Ирана, в том числе Хамадан, Зинджан, Казвин, Саве, Кум, Кашан, Рей, Астрабад и Гурган, Сабзавар, Нишапур, Тус, современной Туркмении (Неса, Абиверд, Серахс, Мерв, Земм), 26 городов Афганистана, в том числе Балх, Кабул, и южных областей современных Узбекистана и Таджикистана.

В пятом «климате» Бируни называет Рим, Афины, «Македонию — город Александра», т. е. Пеллу, Никею, четыре города в Малой Азии, в том числе Пергам и Трапезонд, восемь городов Армении и Азербайджана, в том числе Бардаа, Хилат, Дербент, Ардшиш, Баку и Варсан, города Хазарии, Хорезма, Сюткенд на Сырдарье, Амуй (нынешний Чарджоу) и Барабр на Амударье, города Мавераннахра, в том числе Бухару, Кермине, Кушанию, Несеф, Кеш, Самарканд, Ходжент, города Ферганы и «страны тюрок».

В шестом «климате» перечислены города Малой Азии, Константинополь, поселения Северного Кавказа и Хазарии, нынешних Казахстана и Киргизии.

Об областях в седьмом и севернее седьмого «климата» речь шла выше.

Сравним координаты некоторых известных городов по таблице Бируни и современным данным. В последнем случае наряду с долготой λ от Гринвича приведем значения долготы λ' от начального меридиана Бируни.

Координаты городов по таблице Бируни и по современным данным

Название городов	По Бируни		По современным данным			Разности	
	λ	φ	λ	λ'	φ	$\Delta\lambda$	$\Delta\varphi$
Александрия	52°00′	30°13′	29°15′	53°45′	31°12′	1°45′	59′
Каир	54°40′	29°15′	31°21′	53°51′	30°03′	1°11′	48′
Дамаск	60°00′	33°30′	36°18′	60°48′	33°30′	48′	—
Багдад	70°00′	33°25′	44°24′	68°54′	33°20′	—1°06′	—5′
Казвин	75°00′	37°30′	50°00′	74°30′	36°15′	—30′	—45′
Исфахан	77°20′	33°10′	51°40′	76°10′	32°39′	—1°10′	—31′
Шираз	78°35′	29°35′	52°40′	77°10′	29°38′	—1°25′	3′
Нишапур	84°00′	36°10′	58°40′	83°10′	36°12′	—50′	2′
Герат	88°40′	34°30′	62°06′	86°36′	34°20′	2°04′	—10′
Газна	94°20′	33°35′	68°18′	92°48′	33°44′	—1°32′	9′
Кабул	95°40′	33°45′	69°00′	93°30′	34°30′	—2°10′	45′

Для городов Средней Азии, Ирана, Афганистана и даже Индии, во многих из которых Бируни бывал, в одних проводил измерения, а для других пользовался большим количеством доступных ему источников (результатов измерений и описаний в дорожниках), таблица дает достаточно точное совпадение с современными значениями, особенно там, где это касается собственных данных Бируни. Наибольшие расхождения с современными данными дают координаты пунктов, находящихся на краях ойкумены, сведения о которых дошли до Бируни в сильно искаженном виде, однако и они являются заслуживающим внимания источником в области исторической географии.

Существенное значение имеют таблицы Бируни для исторической географии Средней Азии. Они содержат координаты не только многих средневековых поселений и пунктов на караванных путях, но и древних городов, которые в его эпоху уже лежали в развалинах, например

«Балхан — развалины после ухода Джейхуна от моря Гургана» [1].

Таблицы Бируни ждут исследования в качестве вспомогательного материала для археологии Средней Азии.

Фактические сведения, сообщаемые Бируни в географических разделах его сочинений, были, конечно, хорошо известны арабским географам последующего периода.

Широко пользовался его данными Якут, который два века спустя правел раздел о морях из «Науки звезд». Хорошо знали его сочинения такие известные арабские географы, как ал-Макризи и Абу-л-Фида, который в своих сочинениях неоднократно ссылается на «Канон Мас'уда».

Однако все это относится главным образом к изложению фактического материала. Оригинальные же идеи Бируни не нашли продолжателей и не получили дальнейшего развития. Так произошло, например, с его теорией картографической проекции.

В то время как большинство крупных произведений ученых стран ислама XI—XIII вв. стали известны в Испании и оттуда, переведенные на латинский язык, проникли в Европу, труды Бируни были открыты для Европы лишь в XIX—XX вв.

[1] «Канон Мас'уда», стр. 575.

Глава шестая

Натурфилософия

В числе разносторонних интересов Бируни особое место занимают философские проблемы естествознания. Среди натурфилософских проблем науки средневекового Востока были вопросы непрерывности и дискретности в природе, сущности и передачи движения, строения и превращения материи и некоторые проблемы физики и химии того времени.

Разработка натурфилософии на средневековом Востоке началась с перевода и комментирования сочинений античных авторов, прежде всего Аристотеля. Существовал даже определенный стандарт: комментирование сочинений Аристотеля было начальным этапом всякого изучения явлений природы. Комментаторами Аристотеля были такие известные ученые, как ал-Битруджи (Алпетрагий), Ибн Баджжа (Авемпаце), Ибн Рошд (Аверроэс), Ибн Сина.

До нас дошла переписка Бируни с Ибн Синой по поводу сочинений Аристотеля [1]. Она состоит из двух серий вопросов Бируни и ответов Ибн Сины. Десять из них связаны с трактатом Аристотеля «О небе», восемь — с «Физикой». Переписка относится к хорезмийскому периоду творчества Бируни и была, очевидно, предпринята по его инициативе.

В переписке затронуты философские проблемы основ математики, вопросы о сущности движения, о существова-

[1] Десять вопросов Бируни относительно «Книги о небе» Аристотеля и ответы Ибн Сины. Восемь вопросов Бируни относительно «Физики» Аристотеля и ответы Ибн Сины. Перевод Ю. Н. Завадовского.— В кн.: Материалы по истории прогрессивной общественно-политической мысли в Узбекистане. Под ред. И. М. Муминова. Ташкент, 1957 (далее — «Переписка»).

нии пустоты, о распространении тепла и тепловом расширении тел, об отражении и преломлении света. Высказывания Бируни резко направлены против умозрительных положений Аристотеля, которых догматически придерживались многие его комментаторы. И здесь, как и в своих естественнонаучных сочинениях, Бируни противопоставляет опытные науки отвлеченным умозаключениям. Ибн Сина же выступает в роли интерпретатора и защитника Аристотеля.

Характерно, что общественное мнение было на стороне Ибн Сины. Вот что писал один из их современников по поводу этой переписки: Бируни «дискутировал с Абу Али. Но не его дело было углубляться в пучину умозрения. Каждый человек успевает лишь в том, к чему он предназначен создателем» [1].

Известно, что Бируни не был удовлетворен ответами Ибн Сины и послал ему свои возражения. По мнению Д. Буало, автор их — не сам Бируни, а некий Саид Ахмед ибн Али, который написал их «на его имя» [2].

Помимо переписки Бируни обращается к вопросам натурфилософии в «Геодезии», «Каноне Мас'уда», «Науке звезд», «Минералогии», а отдельные высказывания, касающиеся этих проблем, встречаются во всех без исключения его сочинениях.

1. «Геометрический атомизм» Бируни

Несколько вопросов «Переписки» затрагивают основные понятия геометрии и связанные с ними вопросы дискретности и непрерывности пространства.

В третьем вопросе по поводу книги Аристотеля «О небе» Бируни спрашивает Ибн Сину: «Почему Аристотель и другие [философы] учили, что сторон шесть? Возьмем для примера куб, ибо в нем шесть сторон противостоят граням. Если к нему прибавить со стороны граней шесть подобных же кубов таким образом, чтобы они касались вышеназванных граней, а затем дополнить недостающие кубы этой фигуры так, чтобы получилось тело, которое в итоге

[1] Цит. по: *А. М. Беленицкий.* Указ. соч., стр. 278.
[2] См. *А. Д. Шарипов.* Малоизвестные страницы переписки между Бируни и Ибн Синой.— «Общественные науки в Узбекистане», 1965, № 2.

состояло бы из 27 кубов, то все они будут касаться первого куба ребрами и углами. Но если [предположить] иное число сторон, то с какой стороны [прибавляемые] кубы коснутся первого тела? Ведь у шарообразного тела, [например], нет сторон» [1].

Ибн Сина отвечает, что во всех случаях следует считать, что сторон шесть, так как у каждого тела независимо от его формы три измерения — длина, глубина и ширина.

Позже, в «Науке звезд» Бируни уже определял шесть «направлений измерений».

В четвертом вопросе по поводу той же книги Бируни спрашивает: «Почему Аристотель считает порочным учение о неделимой частице, когда утверждение о делимости чисел до бесконечности еще более порочно? Приверженцы этого последнего учения утверждают, что никакое движущееся тело не достигнет другого, если они движутся в одну сторону ... Атомистам присуще также немало (спорных) утверждений, хорошо известных среди геометров, но слова тех, кто возражает атомистам, еще менее приемлемы. Как же избавиться от этих противоречий? [2]».

Вопрос о том, является ли пространство неограниченно делимым или состоит из неделимых атомов пространства,— предмет известной дискуссии греческих философов.

Атомистических взглядов придерживался Демокрит, распространивший их и на математику. Идею неограниченно делимого непрерывного пространства защищал Аристотель и развил впоследствии Евклид.

Зенон пытался опровергнуть реальность движения в известном парадоксе об Ахиллесе и черепахе, исходя из допущения о неограниченно делимом пространстве, а в парадоксе «стрела» — исходя из атомистического представления о пространстве.

Ибн Сина здесь, как и в других случаях, защищал идеи Аристотеля. Бируни же, как мы видим, считал, что вопрос этот еще не решен.

В пятом вопросе по поводу «Физики» Аристотеля Бируни рассматривал параллелограммы (он называет их плоскостями), построенные в четырех углах, образован-

[1] «Переписка», стр. 138.
[2] Там же, стр. 138, 140.

ных пересечением двух прямых. «Линии между ними существуют только в воображении и не обладают шириной; плоскости же касаются ребрами и не имеют измерений, кроме длины и ширины. Если плоскость A касается плоскости B своей длиной, а плоскости C своей шириной, то чем она будет касаться плоскости D? Очевидно, что между касающимися предметами [в данном случае] не будет ничего. Если плоскости A и D касаются [одна другой], то как касается плоскость C плоскости B?».

В своем ответе Ибн Сина, исходя из аристотелевского определения непрерывности как «соединения воедино двух смежных концов», доказывает, что параллелограммы, находящиеся в вертикальных углах, имеют общую точку [1]. Ответ Ибн Сины, очевидно, направлен против «атомистов», не допускавших возможности существования общих точек фигур, из чего, по-видимому, исходил в своем вопросе Бируни. Аналогичное высказывание мы встречаем в «Каноне Мас'уда»: «Если говорить о движущихся [телах], для строгости нет предела, которым бы можно было ограничиться... Для приближения к истине необходимо повторить уточнение. Окончательное решение этого возможно только после разрешения спора между сторонниками частицы[2] и сторонниками ее отрицания» [3].

Излагая в «Каноне Мас'уда» учение индийских астрономов о «стоянках Луны», Бируни писал: «Если рассечь стоянки [Луны] на эклиптике на мельчайшие частицы знаков зодиака, это будет подобно их равенству» [4].

Очевидно, это представление о делении эклиптики на «мельчайшие частицы» (буквально — «мельчайшая пыль») также отражает атомистическую позицию Бируни.

Там же, в «Каноне Мас'уда», Бируни замечает, что индийские астрологи «прибегают к расширению времени и преобразованию его из „теперь" в определенные промежутки времени, обладающие началом и концом» [5]. Вероятно, Бируни имел в виду известное выражение Аристотеля, в котором тот сформулировал точку зрения античных атомистов: «Время слагается из отдельных „теперь"» [6].

[1] «Переписка», стр. 157—158.
[2] Т. е. атомистами.
[3] «Канон Мас'уда», стр. 937.
[4] Там же, стр. 1140.
[5] Там же, стр. 1417.
[6] *Аристотель.* Физика. Перевод В. П. Карпова. М., 1937, стр. 144.

По-видимому, этим же вопросам была посвящена и не дошедшая до нас «Книга о том, что необходимо вытекает из бесконечного деления величин, подобного случаю двух приближающихся, но не встречающихся линий».

2. Проблема сущности движения

Аристотель рассматривал два вида механического движения — «естественное», совершающееся само собой, без вмешательства извне, и «насильственное», для которого такое вмешательство необходимо. Объясняя причины «естественного» движения, он ввел понятие «естественного места», стремление к которому заложено в каждом теле, совершающем «естественное движение». Каждому роду тел свойственно свое «естественное место». Для тяжелых тел это — Земля, для легких — огонь. Перемещенное из своего «естественного места» тело стремится занять прежнее положение. Небесным же телам свойственно стремление к «совершенному» круговому движению.

«Кто из двух прав — спрашивал Бируни во втором вопросе по поводу „Физики" — тот ли, кто утверждает, что вода и земля движутся к центру [вселенной], а воздух и огонь от центра, или тот, кто говорит, что все [эти элементы] стремятся к центру, но что более тяжелые из них опережают легкие?» [1].

Бируни подвергает также сомнению тезис Аристотеля, что тело, совершающее круговое движение, не может обладать ни «тяжестью», ни «легкостью», и в связи с этим берет под сомнение всю его космологическую систему. Ибн Сина же, следуя Аристотелю, доказывает, что такое тело, а именно небесная сфера, не может стремиться вниз или вверх и, находясь в своем «естественном месте», не обладает ни «легкостью», свойственной элементам, стремящимся вверх, ни «тяжестью», свойственной элементам, стремящимся к центру вселенной. Ибн Сина, как и Аристотель, считал, что тяжелые элементы стремятся к центру Земли, а легкие удаляются от него. Бируни же считал, что все без исключения тела стремятся к центру Земли. Об этом рассуждает он впоследствии и в «Геодезии». «... Тяжестям, — писал Бируни, — свойственно стремление со всех сторон к центру. Этим объясняется округлость поверхности

[1] «Переписка», стр. 155.

воды, нарушаемая только в масштабах волн вследствие отсутствия [достаточного] взаимосцепления между ее частицами»[1].

В «Каноне Мас'уда» мы встречаемся с высказыванием, которое можно расценить как соображение об относительном характере механического движения: «Разве один из двух наблюдателей, находящихся в диаметрально противоположных местах, который как бы поселяется на дне, а другой, который как бы силой привязан к потолку, сознает сам, что он перевернут? — спрашивал Бируни.— Если один из них переходит на место другого, он не находит ничего отличного от того, что находит другой, и люди во всех местах Земли находятся в одном и том же положении»[2].

К проблеме «тяжести» и «легкости» Бируни возвращался еще раз в «Каноне Мас'уда». В связи с обоснованием принципов Птолемея он приводил различные соображения для объяснения того, что «Земля, несмотря на свою тяжесть, плавает в воздухе и не тонет». «Птолемей говорил,— формулировал он свой вывод,— что тяжелые тела падают перпендикулярно к плоскости горизонта и что каждый перпендикуляр к плоскости, касающейся сферы, восставленный в месте касания, проходит через центр, если продолжить его в его направлении. Поскольку это имеет место во всех местах поверхности Земли, то не скрыто, что точка встречи всех перпендикуляров есть центр, откуда следует, что все тяжелые тела стремятся к центру. Но все тяжелые тела не могут при своем падении пройти через него, так как другое тело падает по той же прямой, но с противоположной стороны, и, таким образом, утверждается существование двух тяжелых тел, одно из которых поднимается, а другое опускается, причем оба эти движения — естественные. Действительность опровергает существование таких движений, за исключением тех, одно из которых — насильственное, а другое — естественное»[3].

Согласно Аристотелю передача движения от двигателя к движимому телу в пустоте, которую он считал физическим абсурдом, невозможна. Единственное тело, движение которого может происходить в пустоте, — движение (вращение) небесной сферы, имеющей «совершенную» форму

[1] «Геодезия», стр. 98.
[2] «Канон Мас'уда», стр. 44.
[3] Там же, стр. 45—46.

шара. Бируни считал, что движение небесной сферы может происходить не только в пустоте, он высказывает мысль, что она не шарообразна, а имеет форму яйца или чечевицы (вытянутого или сплюснутого эллипсоида вращения).

К проблеме вакуума Бируни обращался еще раз вне связи с вопросами сущности движения: «Если мы твердо установили, что нет пустоты ни внутри вселенной, ни вне ее, то почему если пососать [горлышко] стеклянного сосуда и затем перевернуть его в воду, то вода будет входить в него, постепенно подымаясь?»[1] Возражая Ибн Сине, который вслед за Аристотелем отвергал возможность существования пустоты, Бируни писал: «Если мы верим в отсутствие возможности пустоты, то, когда посредством высасывания из колбы воздух становится рассеянным, а часть его оказывается вне объема колбы, становится внешней по отношению к нему, куда девается этот излишек, кроме того, как говорится, что в той же мере воздух охлаждается и сжимается таким образом, что его сжимание уравновешивается разрежением воздуха колбы? Притязание на опыт в этом вопросе относительно того, что если подуем в колбу, создается то же положение, что при высасывании, находится в противоречии с моим опытом, поскольку я наблюдал, как из моей бутылки, которая разбилась в водах Джейхуна, воздух со звуком выходил из бутылки, а вода вовсе не шла внутрь ее»[2].

3. Некоторые вопросы физики

Бируни не ограничивался чисто умозрительным методом в изучении явлений природы. Как тонкий наблюдатель и экспериментатор подходил он к рассмотрению физических явлений.

Говоря о распространении тепла, Бируни рассуждал о путях этого распространения, задавался вопросом о том, что представляют собой несущие это тепло солнечные лучи, «тела, акциденты или нечто иное»[3].

К вопросу о природе теплоты Бируни обращался и в «Хронологии». «Что касается лучей Солнца,— писал он,— то о них высказано множество различных мнений. Не-

[1] «Переписка», стр. 161.
[2] Цит. по: *А. Д. Шарипов*. Указ. соч., стр. 41.
[3] «Переписка», стр. 151.

которые говорят, что это огненные частицы, сходные с существом Солнца и исходящие из его тела, другие утверждают, что воздух нагревается от соседства Солнца, как он нагревается, когда вблизи от него [горит] огонь; так думают те, что считают, что Солнце — горячее огненное [тело].

По мнению других, воздух разогревается вследствие быстрого прохождения через него лучей, которое совершается как бы вне времени. Так думают те, кто считает, что естество Солнца стоит вне естества четырех элементов.

Разногласия существуют и относительно движения лучей. Некоторые говорят, что оно происходит вне времени, ибо [лучи] не являются телом, другие считают, что оно совершается в короткое время, но что нет ничего движущегося быстрее, так что [их] скорость нельзя почувствовать»[1]. По мнению Бируни, «тепло существует в самих солнечных лучах»[2]. Его внимание привлекала в связи с этим проблема фазовых состояний вещества и сущности перехода из одного состояния в другое.

В десятом вопросе по поводу книги «О небе» Бируни спрашивал у Ибн Сины: «Как изменяются вещи и переходят из одного [состояния] в другое: путем сближения и взаимопроникновения или путем самоизменения? Возьмем для примера воздух и воду. Вода, когда она превращается в воздушное состояние, становится ли на самом деле воздухом или ее частицы настолько рассеиваются в воздухе, что ускользают от [наших] чувств так, что мы перестаем их видеть?»[3]. Говоря о тепловом расширении тел, Бируни обращал внимание и на то, что вода при замерзании расширяется: «Если тела расширяются от жара и сжимаются от холода, то почему лопаются и разбиваются сосуды, вода в которых замерзла?»[4]; «Почему лед всплывает над водой, когда по своей сущности он ближе к земляной субстанции, сочетая [качество] холода и [форму] камней?»[5] — и предлагал объяснение этих явлений: «Если тело из-за теплоты увеличивается в размерах, то в противовес ему другое тело в той же мере постепенно уменьшается с тем, чтобы место не оказалось лишенным того, что обладает местом, ибо в противном случае куда бы мог деваться тот излишек»[1].

[1] «Хронология», стр. 281.
[2] Там же.
[3] «Переписка», стр. 152.
[4] Там же, стр. 161.
[5] Там же, стр. 162.

В переписке Бируни обращался и к вопросам оптики. Касаясь явлений отражения и преломления света, он спрашивал Ибн Сину: «Каким образом и почему можно видеть то, что находится под водой, когда поверхность воды гладкая, а зрительные лучи отражаются от гладких тел?»[2]

К оптике же относится первый вопрос относительно «Физики» Аристотеля. «Если взять круглый, чистый и прозрачный стеклянный сосуд и наполнить его чистой водой, — писал Бируни,— то им можно пользоваться для зажигания. Если же этот сосуд вместо чистой воды будет наполнен воздухом, то он не будет ни зажигать, ни собирать лучи. Почему вода производит такое действие и почему бывает зажигание и собирание лучей только в случае [ее присутствия]?»[3].

Возражая на ответ Ибн Сины по этому вопросу, Бируни писал: «Рассуждение относительно отражения луча от тел нуждается для своего понимания в представлении в виде чертежа, в обратном случае этот ответ не имеет какой-либо пользы, кроме утверждения сказанного посредством повторения»[4].

Таким образом, Бируни считал, что объяснить явления отражения и преломления света можно только с помощью геометрической оптики, как это делал его современник Ибн ал-Хайсам.

В связи с вопросами оптики он вновь обращался к вопросу о природе пустоты и солнечных лучей.

Бируни писал: «Тот, кто говорит, что луч есть тело, считает существование пустоты либо возможным, либо невозможным. Если он считает возможным, то в этом случае это не есть [утверждение] совместного нахождения двух тел в одном и том же месте, поскольку в пустоте, кроме лучей, нет какого-либо другого тела. Если же он признает пустоту невозможной, то также допустимо считать свет телом, которое способно к смешению с воздухом, подобно земле и воде в глине, ибо приверженец такого убеждения не мог бы отрицать телесный характер воды.

[1] Цит. по: *А. Д. Шарипов.* Указ. соч., стр. 41.
[2] «Переписка», стр. 156.
[3] Там же, стр. 154.
[4] Цит. по: *А. Д. Шарипов.* Указ. соч., стр. 41.

Ты говоришь, что свет есть некий цвет, а воздух и прозрачные тела способны воспринимать его. Я же не придерживаюсь этого убеждения. Таким образом, я считаю, что свет в непрозрачном теле есть нечто зримое, а в прозрачном теле он не является видимым. Свет, который падает через отверстия и является видимым, есть свет, который падал в воздухе, поскольку если воздух чистый, то совершенно не будет возможной видимость света, а между воздухом и не воздухом разницы нет» [1].

Вопросы оптики Бируни затрагивал и в «Гномонике». Он полемизировал, например, с Сабитом ибн Коррой: «Сабит ибн Корра в своем интересном трактате ошибается, говоря, что свет, проникая через небольшие отверстия в дом, имеет цилиндрическую форму и что он пересекается стеной в виде эллипса, как будто только цилиндр связан с этим сечением, а конус не связан. Но упомянутый луч имеет не цилиндрическую форму, а коническую» [2].

Там же он рассуждает о различных видах теней: «Если предмет не прозрачен и отбрасывает тень на другой подобный ему предмет от источника света, большего их обоих, находящегося вблизи другого предмета, то тень будет чистой, так как мало отраженных лучей рассеется в виде пыли: или они слабые, или они потеряются полностью вследствие преград на пути. В этом случае край тени четкий ... Если же расстояние от затененного предмета большое, то тень и освещенная часть смешиваются, их граница — нечеткая и нет ни полной тени, ни полного освещения» [3]. Бируни пытался дать объяснение тому факту, что при прохождении света через малое отверстие любой формы освещенная часть всегда круглая, однако, так как он не владел теорией камеры-обскуры, развитой Ибн ал-Хайсамом, Бируни не смог дать правильное объяснение этого явления.

Замечательную мысль высказал Бируни в пятом вопросе относительно книги Аристотеля «О небе», где признает возможность существования других миров.

«Почему,—писал он,— Аристотель находит порочными слова тех, кто утверждает, что есть иной мир вне того, в котором мы живем, мир, существующий согласно иной

---

[1] Цит. по: *А. Д. Шарипов.* Указ. соч., стр. 40.
[2] «Гномоника», стр. 10—11.
[3] Там же, стр. 12.

природе?»[1]. Бируни считал это вполне допустимым, но окончательное суждение, по его мнению, могут дать только опыт и практика, которые служат основным критерием в этой дискуссии, как, впрочем, и в других проблемах естествознания. «Слепой от рождения,— писал Бируни,— пока не услышит от других о зрении, сам не в состоянии представить себе мысленно, что такое зрение, и не может вообразить, что существует пятое чувство, способное воспринимать цвета ...» [2] Возражая на ответ Ибн Сины по этому вопросу, Бируни уточнял свою мысль: «Не считаю несомненным, что каких-либо чувств, помимо тех, которые мы имеем, не может быть, и что по этой причине ничего другого, кроме воспринимаемого этими наличными чувствами, не существует» [3].

---

[1] «Переписка», стр. 141.
[2] Там же.
[3] Цит. по: *А. Д. Шарипов.* Указ. соч., стр. 411.

Глава седьмая

Минералогия и фармакогнозия

Проблемы минералогии и фармакогнозии, а также связанные с ними вопросы физики, химии и биологии наиболее полно рассмотрены Бируни в двух ранее упомянутых специальных трактатах. Поэтому наше изложение сведется главным образом к рассмотрению содержания этих двух трактатов Бируни.

1. Минералогия

IX и X века, т. е. период, когда создавалась основная масса научной литературы на арабском языке, характеризуются повышенным интересом к свойствам минералов. Причин этому несколько. Во-первых, IX—X века — время интенсивного развития на средневековом Востоке горнорудного дела и ремесел, связанных с обработкой металлов. Во-вторых, минералы изучались как лечебные препараты и описывали их в сочинениях по медицине и фармакогнозии. Наконец, в-третьих, значительную роль в формировании минералогии на средневековом Востоке сыграли представления о магических свойствах минералов, а это в свою очередь было связано с изучением их химических и целебных свойств.

Структура «Минералогии», а также систематичность изложения позволяют назвать большую часть использованных Бируни литературных источников.

Истории восточной минералогии посвящено немало исследований. В наиболее полных из них, а именно в работах М. Штейншнейдера, Ю. Рушки, Э. Видемана и М. Хашми [1] перечислены имена авторов, оставивших сочинения по минералогии на арабском языке и издания наиболее ранних из них. Известно не менее десяти сочинений по минералогии, авторы которых жили как в восточной, так и в западной части халифата. Некоторые из них упоминаются и цитируются в «Минералогии» [2]. Наиболее известна из них приписываемая Аристотелю «Книга о камнях», написанная, по-видимому, в Сирии в IX в.,— первое полностью дошедшее до нас сочинение по минералогии на арабском языке, в XII—XIII вв. переведенное на древнееврейский и латынь. Другие трактаты известны только по библиографическим сводам и отрывкам из сочинений позднейших авторов.

Значительное влияние на Бируни оказали труды знаменитого ученого и философа ал-Кинди (IX в.), автора нескольких сочинений о металлах и минералах, в том числе трактата, посвященного обработке железа. Бируни упоминает и своего знаменитого современника и друга Ибн Сину. Его «Канон медицины» и «Книга исцеления» содержат разделы о минералах, их применении и классификации. Цитирует Бируни и своего предшественника, знаменитого врача и философа Абу Бакра Рази. Многое взял он из сочинений таких известных географов, как Ибн Хордадбех, ал-Истахри, ал-Макдиси.

Нам почти ничего неизвестно о домусульманских сочинениях по минералогии, хотя они, несомненно, существовали и значительно отличались от античных. В одной из глав «Минералогии» Бируни приводит отрывки из согдийской книги «Тубуста» (согдийское «Тау пуста» — «Книга о силе») [3]. Речь идет о «магической силе», т. е. о «магических свойствах» камней.

О другой группе источников, использованных Бируни, говорят многочисленные ссылки на греческих и сирийских

[1] См. статью Г. Г. Леммлейна «Минералогические сведения, сообщаемые в трактате Бируни».— В кн.: Минералогия, стр. 403; *M. J. Haschmi*. Die Quellen des Steinbuches des Biruni (Dissertation). Bonn, 1935.

[2] Заметим, однако, что наиболее полный свод минералогических знаний античности—«Естественная история» Плиния, которая оказала впоследствии существенное влияние на развитие естествознания в средневековой Европе, в странах ислама была, по-видимому, неизвестна.

[3] «Минералогия», стр. 204; см. также упомянутую статью Г. Г. Леммлейна, стр. 408.

авторов и индийскую научную литературу. Термины на этих языках, которые применяет Бируни, показывают, что он имел дело непосредственно с подлинниками.

Одним из существенных источников следует считать беседы Бируни с людьми, практически связанными с обработкой металлов и минералов и торговлей ими, — ювелирами, мастерами-оружейниками, торговцами драгоценностями. Чаще всего он упоминает двух братьев-ювелиров из Рея — Хасана и Хусейна.

Как следует из самого названия «Минералогии», Бируни дает в ней описание драгоценностей в широком смысле слова, включив в это понятие и вещества неминерального происхождения, и вещества, получаемые искусственным путем, такие, как фарфор и стекло, которые, как и драгоценности, хранились в сокровищницах феодальных владык. По этой же причине содержание «Минералогии» ограничивается в основном описанием драгоценных камней и металлов. Такова была традиция и таким был круг интересов минералогии вплоть до нового времени.

Первая часть книги содержит описание яхонта, граната, алмаза, изумруда, сердолика, аметиста, лазурита, малахита, нефрита, алебастрита, «магнитного камня», камней, «притягивающих дождь» и «вызывающих град», стекла, эмали, фарфора, асфальта, паст. Описание каждого из веществ включает подробную характеристику его физических и химических свойств. Особенно тщательно описаны горные богатства Средней Азии. Значительное место занимают «рассказы» об отдельных драгоценных камнях, помещенные в качестве приложений к соответствующим главам, а также экскурсы исторического, этнографического, лингвистического и географического характера.

Во второй части книги рассматриваются свойства металлов и сплавов и приводятся результаты измерения удельных весов различных веществ.

Для многих камней помимо арабских названий Бируни приводит соответствующие греческие, сирийские, персидские, индийские и часто дает этимологию названий, что представляет большую ценность для истории науки. В отличие от большинства подобных сочинений в книге Бируни мало фантастических сведений о «мужских» и «женских» камнях, о сухости и влажности, зрелости и старости камней, их магических медицинских свойствах. Весьма скептически он относится к суевериям, связанным с ношением камней, и решительно выступает против представления о связи между минералами и небесными телами, считая его псевдонаучным.

Бируни применяет разнообразные методы исследования минералов: учитывает цвет и форму кристаллов, химический состав, удельный вес, яркость, прозрачность, твердость и другие свойства драгоценных камней.

В средневековой минералогии камни по цвету делились на две большие группы: «подобные яхонту» (красные) и «подобные изумруду» (зеленые). Бируни привел подробную шкалу оттенков каждого цвета, но отметил, что цвет — не единственный и абсолютный признак данного минерала; необходимо учитывать его твердость, а в некоторых случаях и вкус. В «Минералогии» имеется описание формы кристаллов некоторых минералов, в частности горного хрусталя и алмаза. Вот как, например, описывается форма кристаллов алмаза: «Его [алмаза] природные формы до обработки представляют собой конусы, многогранники, [а также фигуры, состоящие] из трехгранников, подобные фигурам, известным под именем нарийа [огненные], в которых треугольники соединены основаниями. Среди них имеются такие, которые напоминают по виду фигуру, именуемую хава'и [воздушный], и называются они «ячменными» из-за острых концов и утолщенной середины» [1].

Говоря о химическом составе минералов, Бируни рассмотрел способы выплавки золота из медных руд, метод получения меди осаждением на железе. Бируни знал, что зеленый цвет малахита определяется содержанием в нем меди, но справедливо сомневался в том, является ли примесь меди также причиной зеленого цвета изумруда. Обращаясь к методам испытания металлов прокаливанием, Бируни писал о различной плавкости минералов, в частности о том, что стекло легкоплавко, а хрусталь тугоплавок, и описывал собственный эксперимент для определения плавкости разных зерен песка.

«Я предполагаю... — писал он, — что среди зерен песка имеются различные частицы; когда я всматривался внимательно, то видел среди них черные, красные, белые и прозрачные хрустальные; среди них эти [последние] и расплавляются при помощи поташа [прежде всего],

---

[1] «Минералогия», стр. 83. О терминах «огненное тело», «воздушное тело» и т. д. см. выше стр. 55.

и лишь затем [от песка] начинают отделяться другие [частички] и исчезать [т. е. расплавляться] в результате длительности плавки, и [тем самым] очищается [расплав]» [1]. Этот отрывок свидетельствует о необычайной наблюдательности Бируни и его высоком мастерстве экспериментатора. Бируни можно считать первым исследователем минералогического состава песка.

Особое значение имеют предпринятые Бируни определения удельных весов металлов, минералов и жидкостей, первые в истории физики и минералогии. Этому посвящен его трактат «Удельные веса» («Книга об отношениях между металлами и драгоценностями по объему»), почти полностью включенный в книгу «Весы мудрости» Абд ар-Рахмана Хазини, написанную в 1121 г., один из разделов которой посвящен определению удельных весов [2].

Перевод части этого трактата, сделанный А. М. Беленицким, включен в качестве приложения в русское издание «Минералогии».

Исследуя удельные веса веществ, Бируни отталкивался от античных сочинений по статике, и прежде всего от трактата Архимеда «О плавающих телах».

У нас нет никаких сведений об определении удельных весов в античности, лишь Плиний в своей «Естественной истории» отмечал, что разные камни отличаются по весу. Правда, попытки исследования металлов с помощью принципа Архимеда были и до Бируни. Он называет, например, александрийского ученого Менелая (I в. н. э.) и своих современников — представителей багдадской школы Синда ибн Али (IX в.), Юханну ибн Юсуфа (X в.) и Рази. Своим непосредственным предшественником в определении удельных весов Бируни считает Ахмада ибн Фазла Бухари (X в.), метод которого основан на сравнении весов равных объемов чистых металлов и сплавов.

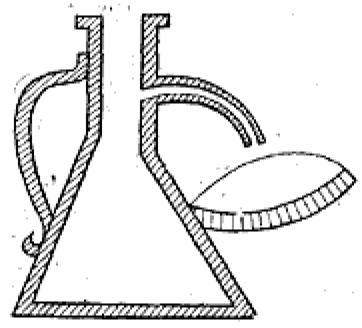
Уяснив для себя, что определение удельного веса — самый надежный способ различать минералы, Бируни видел основную проблему именно в «установлении отношений между металлами и минералами в объеме и весе». Поэтому он провел серию опытов по улучшению методики точного взвешивания, в итоге которых был скон-

[1] «Минералогия», стр. 208.

[2] *Абд ар-Рахман ал-Хазини.* Китаб мизан ал-хикма. Хайдарабад, 1359х (1941).

струирован специальный сосуд для возможно более точного определения объема воды, вытесненного погруженным в нее образцом (рис. 54). Вот как описывал его сам Бируни: «И не переставал я изготовлять один прибор за другим, и в последующем я устранял то, что мешало мне в первом, пока не изготовил сосуд конической формы — широкий у основания с узким отверстием, которое находилось на конце шейки такой же ширины, как и отверстие, идущей от тулова сосуда. И посредине шейки, ближе к ее основанию, я проделал круглое небольшое

Рис. 54



отверстие и припаял соответствующую ему по размерам изогнутую трубку с концом, обращенным к земле; ниже этого конца я приделал нечто вроде кольца для установки чаши весов во время работы... Шейку я сделал узкой потому, что уровень воды в узком пространстве поднимается выше при малейшем прибавлении чего-либо... Поскольку же мы сделали шейку шириной в мизинец, то подъем воды заметен и при опускании того, что по объему равно зерну проса» [1].

Бируни брал образец весом 100 мискалей (1 мискаль — 4,424 г) и определял вес вытесненного объема воды. Для сравнения весов в качестве эталона он брал не воду, как принято в современной минералогии, а самый тяжелый минерал — сапфир («синий яхонт») для минералов и самый тяжелый металл — золото для металлов. Подбирая минерал для исследования, Бируни всегда обращал внимание на то, чтобы образец был достаточно чист и не содержал посторонних включений и трещин, которые могли сказаться на результатах измерений. Это, помимо прочих

[1] «Минералогия», стр. 252—254.

причин, было серьезным аргументом в пользу сапфира и золота как эталонов: сапфир — считался наиболее «постоянным» минералом, а золото наилучшим образом поддавалось очистке.

Кроме определения удельного веса металлов и минералов Бируни предпринял, опять-таки с помощью сконструированного им прибора, измерение удельных весов различных жидкостей. В частности, он установил различие удельного веса холодной и горячей, пресной и соленой воды и указал на связь плотности воды с ее удельным весом. На рис. 55 воспроизведен чертеж «карасту-

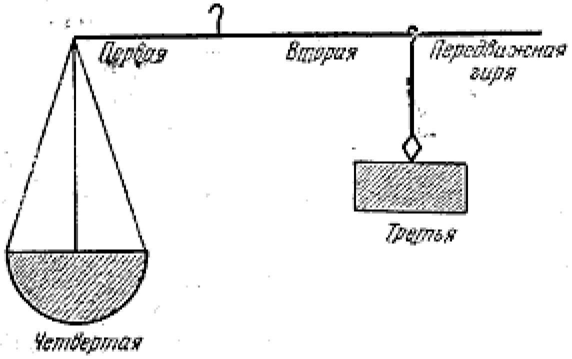


Рис. 55

на» — рычажных весов с передвижной гирей из «Науки звезд», взвешивание с помощью которых основано на том, что «длина стрелки (первой величины пропорции) относится к длине коромысла до передвижной гири (второй величине), как вес гири (третья величина) к взвешиваемому грузу в чаше (четвертой величине)» [1].

Ниже мы приводим таблицу удельных весов металлов и минералов, составленную Г. Г. Леммлейном по данным «Минералогии» и трактата об удельных весах, пересчитанных по отношению к воде при 20° С, как это принято теперь [2]. Для пересчета достаточно умножить цифру, полученную Бируни, на удельный вес эталона, отнесенный к воде (3,96 для сапфира и 19,05 для золота), и разделить на 100 (100 мискалей — вес испытываемого образца).

Как видно из этой таблицы, данные Бируни весьма близки к современным. Отклонения можно объяснить не-

[1] «Наука звезд», стр. 17.

[2] *Г. Г. Леммлейн.* Указ. соч., стр. 312.

достаточной чистотой образца, а также разницей температур в момент определения (Бируни не указывает, при какой температуре воды он проводил свои измерения).

Особый интерес представляют соображения Бируни о классификации минералов. Ведь его метод, основанный на необходимости проверки теоретических построений экспериментальными данными, требовал рационального подхода и к классификации минералов.

Первые попытки классификации восходят еще к ассиро-вавилонской и египетской минералогии, в которых драгоценным камням приписывались определенные магические и целебные свойства. Все это было тесно связано с астральным культом: каждому из светил (Солнце, Луна и планеты) был посвящен определенный камень. Под влиянием дуалистических представлений, свойственных древневосточным религиям и религиозным учениям средневекового Востока и оказавших столь сильное влияние на мировоззрение средневекового мира вообще, сложилось и представление о двух началах в природе минералов. Камни подразделяли на «мужские» и «женские» и на две четкие группы в соответствии с их цветом и яркостью.

Для средневековой науки о камнях характерно резкое разобщение восточной и западной традиций. В Европе в эпоху раннего средневековья античные представления

Минералы и металлы	По Бируни	По современным данным	Минералы и металлы	По Бируни	По современным данным
Гематит	4,11	4,9—5,3	Соль (галит)	2,19	2,17
Сапфир	3,96	3,97—4,12	Глина	1,99	1,8—2,6
Рубин	3,85	3,94—4,08	Гагат	1,11	1,10—1,40
Лал (шпинель)	3,58	3,5—4,1	Асфальт	1,04	1,00—1,10
Лал (турмалин)	2,90	2,98—3,20	Янтарь	0,85	1,05—1,10
Изумруд	2,75	2,67—2,77	Золото	19,05	19,25
Лазурит	2,69	2,4—2,9	Ртуть	13,58	13,55
Горный хрусталь	2,56	2,59—2,66	Свинец	11,33	11,34
Сердолик	2,56	2,55—2,63	Серебро	10,43	10,50
Оникс	2,50	2,55—2,63	Медь	8,70	8,93
			Железо	7,87	7,86
			Олово	7,31	7,28

о природе минералов (как и вообще античная наука) подвергались гонениям как противоречащие догматам христианской церкви. Верующим полагалось иметь понятие лишь о двенадцати камнях, упоминаемых в Библии и толковавшихся в духе астральных представлений ассиро-вавилонской традиции.

Минералогические сочинения Средней Азии и Переднего Востока содержат больше сведений и, как правило, не связаны с религиозными представлениями. Обычно это — описания минералов для практического приложения и медицинских целей, хотя в таких описаниях немалое место занимают сведения о магических и вообще фантастических свойствах камней. Все описания содержат попытки классификации минералов. Нас, естественно, интересуют классификации, принятые теми авторами, которых чаще всего цитирует Бируни.

Ал-Кинди классифицирует камни по дихотомическому принципу: каждая группа разбивается на две, которые в свою очередь делятся на две и т. д. Ал-Кинди особо выделяет камни, «подобные яхонту» и «подобные изумруду». Ибн Сина делит все минералы на четыре группы: камни, руды, горючие вещества и соли. Это деление было впоследствии воспринято европейской минералогией и легло в основу всех геологических классификаций вплоть до XIX в.

Бируни в «Минералогии» не дает своей классификации в общем виде. Восстановить ее помогают как план самой книги, так и замечания о принципах классификации, разбросанные по всему сочинению. В основном он придерживается классификации ал-Кинди и Ибн Сины, традиционной для науки его времени, объединяющей минералы в группу по цвету и степени «совершенства». Поэтому в группе драгоценных камней на первом месте стоит «красный яхонт» (рубин), а в группе металлов — золото (стоящую перед золотом ртуть Бируни считает не металлом, а «матерью металлов»).

«Минералогия» состоит из двух частей: «О драгоценных камнях» и «О металлах». Минералы первой части Бируни объединяет в следующие группы: 1) «красные камни» — яхонт и «подобные ему» — лал и гранат; 2) самые твердые камни — алмаз и наждак; 3) произведения моря: жемчуг, коралл, перламутр; 4) группа «зеленых камней» — изумруд и подобные ему; 5) группа кремнезема: сердолик, оникс, горный хрусталь; 6) опять синие и зеленые камни: лазурит, малахит, нефрит; 7) вещества органического происхождения: гагат, асфальт, янтарь и др.; 8) не драгоценные камни: гематит, пемза и др.; 9) искусственные вещества: стекло, эмаль, фарфор, глазурь.

Во второй части описываются металлы и сплавы.

Как видим, распределение материала внутри книги в основном подчинено традиции, однако наибольший интерес для нас представляют как раз те места, где Бируни от нее отходит, и те соображения, которыми он при этом руководствуется.

Согласно традиции вначале следовало описывать камни одного цвета, т. е. красный яхонт и «подобные ему», затем следующий за ними по шкале «совершенства» жемчуг, а потом перейти к яхонтам других цветов. Бируни же рассматривал всю группу яхонтов, а затем уже «подобные им», исходя из того, что яхонты всех цветов одинаково тверды, близки по удельному весу, встречаются в одних и тех же месторождениях и могут быть различно окрашенными на разных участках, т. е. распределял материал, учитывая совокупность различных свойств минералов.

За яхонтами рассматривается не жемчуг — вещество органического происхождения, а алмаз. «Связь между ним [алмазом] и яхонтом, — писал Бируни, — наиболее тесная в отношении крепости, твердости, нахождения по соседству в своих месторождениях и свойства побеждать другие камни своей способностью сверлить и резать» [1].

За алмазом описывается наждак, который «помогает алмазу при шлифовке и полировке, а в некоторых случаях и заменяет его» [2]. И хотя мы не встречаем в трактате прямых указаний, можно считать, что одним из поводов к такому новому подходу были работы Бируни по определению удельных весов, на основании которых устанавливалась близость внешне непохожих друг на друга минералов и различие внешне сходных.

Замечательно его объединение всех минералов группы кремнезема, также, вероятно, сделанное из соображений близости удельных весов и совместного нахождения в месторождениях. И хотя попытки Бируни усовершенство-

[1] «Минералогия», стр. 81.
[2] Там же, стр. 91.

вать традиционную классификацию весьма несовершенны, они были порождены стремлением к установлению внутренней связи явлений и их можно рассматривать как зачатки естественной классификации минералов.

Не ограничиваясь критическими замечаниями по поводу суеверий, мистических и алхимических представлений, Бируни, опираясь на данные наблюдений и эксперимента, хотя и весьма кратко, изложил свои довольно определенные взгляды на происхождение минералов. Он был сторонником водного их происхождения, т. е. считал, что минералы образуются путем выделения кристаллов из водных растворов и затвердевания глины и других веществ. Эти представления зародились еще в древности, например греки считали горный хрусталь сильно замерзшим, окаменевшим льдом. Бируни был знаком с этими представлениями, однако понимал их не столь примитивно и не считал холод основной причиной отвердевания. Особое внимание он обращал на факты выделения минеральных веществ из источников, и под «окаменением» воды понимал выделение растворенных в ней веществ, т. е., говоря современным языком, кристаллизацию солей. Доказательством водного образования минералов Бируни считал включения капель жидкостей в кристаллах. «Все прозрачные минералы, — писал он, — в основе своей — текучие жидкости, которые окаменели. На это тебе указывает наличие в них инородных примесей вроде пузырьков воздуха, капель воды, листьев растений, кусочков дерева... Всякая жидкость, поскольку она в текучем состоянии, нуждается в сосуде, который задерживал бы ее и не давал бы ей растекаться до тех пор, пока она не затвердеет и не потеряет способности течь» [1].

Под «окаменением» Бируни понимал и затвердевание *первоначально пластического вещества* (например, *глины*). «И так же как существует каменеющая вода, бывают и глины, которые окаменевают от ветра и воздуха» [2]. Такой отвердевшей глиной Бируни считал бирюзу. Свои рассуждения он подкреплял многочисленными ссылками на сведения, полученные от практиков горного дела.

Средневековые минералогические трактаты обязательно включают сведения о месторождениях минералов и металлов. Но сведения Бируни представляют особую ценность для историков, так как содержат и литературные данные не дошедших до нас источников, и рассказы старателей, купцов, ювелиров, а по обилию и географической точности значительно превосходят все, что было известно до него. Бируни называет не только страну или область, но приводит точные сведения о местонахождении рудников, названия близлежащих селений как лично ему известных, так и полученных из литературных источников. Он описывает старые, широко известные области добычи камней в Индии, на Шри-Ланке и в Африке и, что особенно ценно для истории горного дела в нашей стране, дает точные и подробные сведения о месторождениях и добыче полезных ископаемых на территории Средней Азии и Кавказа. Бируни приводит данные о месторождениях лазурита, горного хрусталя, бирюзы, нефрита, гагата, нефти, асбеста, ртути, железа, меди, золота, серебра и ряда других минералов, упоминает о добыче горного хрусталя в Армении и янтаря на Балтийском море.

В отличие от известных средневековых минералогических трактатов, которые, как правило, не сообщали о способах добывания и обработки металлов и минералов, Бируни приводит подробные сведения о геологических условиях залегания минералов и руд и способах их добычи. Например, он подробно описывает два способа добычи балахшанского лала: проходкой шахт и поисками на поверхности среди щебня в ущельях гор и в селевых наносах, сообщает об амальгамизации золота ртутью из песка и шлака, о применении мельниц и толчей для дробления руд.

Бируни был хорошо знаком с технологией обработки камней и со знанием дела писал о шлифовальных материалах, об огранке, механической и химической обработке, окраске. Его сведения, можно сказать, из первых рук. Известно, что он не только наблюдал процесс обработки минералов в мастерских ремесленников-ювелиров, но часто сам принимал участие в этой работе.

Особого внимания заслуживают сведения Бируни об обработке железа, об изготовлении мечей у русов. Эти сведения позволяют по-новому подойти к истории «дамасской» стали [1]. Важное значение для историков имеют

---

[1] «Минералогия», стр. 39.
[2] Там же, стр. 180.

[1] См. *Б. Колчин.* Несколько замечаний к главе «О железе» минералогического трактата Бируни. — «Краткие сообщения Ин-та

сведения о применении камней в технике и медицине и особенно данные о торговле ими (тарифы и правила оценки камней, по которым можно судить о ценообразовании в средние века).

В «Минералогии» приведены таблицы цен на изумруды и жемчуг и правило оценки яхонта: «При удвоении веса камня стоимость его увеличивается в четыре раза» [1]. Данные Бируни — единственный источник сведений о ценах на камни в его эпоху. После него этот вопрос в восточной литературе никогда не освещался с такой полнотой.

Изложенное позволяет сделать вывод, что «Минералогия» — произведение исключительное и по обилию фактического материала, и по критической оценке источников, и по методическим установкам автора. Бируни в известной степени подвел итог состоянию этой науки и указал пути ее дальнейшего развития. Естественно, что этот трактат оказал значительное влияние на развитие средневековой восточной минералогии. Пути этого влияния проследил А. М. Беленицкий. Оно сказалось на творчестве таких крупнейших ученых восточного средневековья, как Омар Хайям (XI в.), Хазини (XII в.), Насир ад-Дин Туси (XIII в.). Трактат Хайяма об удельных весах представляет собой дальнейший существенный шаг в развитии методов, выработанных Бируни. Хазини, в книге которого подробно разработана теория взвешивания (в частности с помощью определения центров тяжести и равновесия плавающих тел), пользовался для определения объемов коническим сосудом Бируни. В «Книгу весов мудрости» включены описания восьми основных драгоценных камней, взятые из «Минералогии». В минералогическом трактате Туси в качестве основного источника использована «Минералогия» Бируни, о чем можно судить и по ссылкам и по самому характеру текста. Так, раздел, посвященный определению удельных весов, содержит многочисленные ссылки на Бируни. Данные Бируни, полученные из трактата Туси, использовал известный ученый XIV в. Хамдаллах Казвини, включив их в минералогический раздел своей космографии, который содержит также заметку об удельных весах с непосредственной ссылкой на Бируни. В XV в. прямое влияние Бируни можно видеть в

истории материальной культуры», т. 33. М.— Л., 1950, стр. 139—152.

[1] «Минералогия», стр. 48.

сочинении Мухаммеда ибн Мансура «Джавахир-наме», который широко использовал «Минералогию» и трактат об удельных весах. Ссылка на Бируни в экскурсе об удельном весе драгоценных камней содержится в книге историка Абу-л-Фадла Аллами (рубеж XVI—XVII вв.), посвященной империи индийского шаха Акбара; эта книга в Европе стала известна в начале XIX в.

Однако группа авторов (ат-Тайфаши, ад-Димишки и другие) полностью игнорировала труд Бируни, несмотря на то что он несомненно был им хорошо известен. (Характерно, что в их сочинениях вообще нет раздела об удельных весах.) Экспериментальный метод Бируни и его научные принципы противоречили основам шариата и были весьма опасны для ислама. В этом следует искать причину враждебного отношения к минералогическим сочинениям Бируни. Именно поэтому более популярной была содержащая множество фантастических сведений книга псевдо-Аристотеля, которая оказалась более приемлемой и для средневековой Европы, находившейся тогда еще в плену суеверных представлений. К тому же не следует забывать, насколько непререкаемым был в ту эпоху авторитет Аристотеля. Этим можно объяснить, почему «Минералогия», как и другие сочинения Бируни, оставалась неизвестной в Западной Европе.

2. Фармакогнозия

Науку о лекарствах Бируни определяет как знание простых лекарственных средств по их родам, видам и формам, а также как составление сложных лекарств по известным рецептам или согласно предписанию заслуживающего доверия и правильно действующего исследователя.

На средневековом Востоке фармакогнозия считалась первой ступенью медицины, которую обязан изучить будущий врач. Бируни выделяет две стадии в изучении этой науки: «восприятие понаслышке... с помощью обучения и знатоков» и «длительная практика, чтобы формы лекарств, их вид и качество запечатлелись в природе (фармакогноста)... Врачам же подобает совершенствовать это искусство» [1].

[1] Цит. по: *У. И. Каримов.* Китаб ас-Сайдана («Фармакогнозия») Бируни. Автореферат докторской диссертации. Ташкент, 1971, стр. 4.

Создавая «Фармакогнозию», Бируни изучил огромную литературу, написанную в течение почти полутора тысячелетий учеными Греции, Рима, Индии, Передней и Средней Азии. Он упоминает около 250 авторов, не только врачей и естествоиспытателей, но и географов, историков, филологов и поэтов. Произведения многих из них не сохранились, поэтому сведения Бируни представляют особый интерес для истории науки.

Бируни приводит обширные извлечения из труда «О лекарственных средствах» грека Диоскорида (I в. н. э.), перечисляет восемь сочинений знаменитого римского врача, анатома и фармаколога Галена (II в.), известных ему в переводах на сирийский и арабский языки, цитирует одного из наиболее крупных после Галена врачей Орибазия (IV в.), труды которого были хорошо известны в странах ислама, Аэция Амидийского (VI в.), Павла (VI в.) и комментарий к его книге известного врача и философа, современника Бируни Абу-л-Хайра ибн ал-Хаммара.

Из арабоязычных авторов упоминаются сочинения известного персидского врача Джибрила ибн Бухтъешу (VIII—IX вв.), пять работ врача из Джундишапура ибн Масавейха (IX в.), одного из инициаторов перевода греческих научных сочинений на сирийский и арабский языки, три трактата его ученика, врача и известного переводчика Хунейна ибн Исхака (IX в.), «Книга о химии благовоний» знаменитого философа ал-Кинди (IX в.) и «Книга о растениях» Абу Ханифы ад-Динавари (IX в.) — один из основных источников «Фармакогнозии».

Самым надежным и авторитетным источником Бируни считает труды крупнейшего врача и химика средневекового Востока Мухаммеда ибн Закарии Рази («Царская медицина», «Двенадцать книг» по алхимии и др.) и своего коллеги и современника, врача и естествоиспытателя Абу Сахла Масихи.

Так же как в «Минералогии», Бируни приводит названия описываемых веществ на многих языках. Точную передачу иноязычных научных терминов он считал одной из основных задач, руководствуясь не только лингвистическими соображениями, но главным образом тем, чтобы облегчить практическое применение достижений науки. Особое значение это имело для медицинской литературы: в ней бытовало огромное количество названий лекарств

на разных языках, и часто одно и то же название относилось к совершенно разным веществам.

Большое внимание Бируни уделил характеристике лекарственных растений Средней Азии. «...Если бы в наших странах оказался Диоскорид и потратил бы свои усилия на познание того, что имеется в наших горах и в наших степях, — писал Бируни, — то все травы их стали бы лекарственными, [а не только] те, которые собираются на основе [лишь] опыта в качестве исцеляющего зелия. А то, что западные страны превосходят [наши страны] подобными веществами и идут впереди нас [в их изучении], то это происходит из-за заслуживающего благодарность усилия их (ученых) как в теории, так и на практике»[1]. Определив в предисловии к введению книги задачи и место фармакогнозии в ряду других научных дисциплин, Бируни останавливается на происхождении самого термина «фармакогнозия» (сайдана), который возводит к индийскому термину «чандан» (сандаловое дерево).

Во II главе введения приведено подразделение лекарств на простые и сложные и рассматривается вопрос о взаимодействии человеческого организма с пищей, лекарствами и ядами. Все лекарственные вещества он делит далее на растительные, животные и минеральные. Всего в «Фармакогнозии» упоминается около 750 видов растений, 101 лекарство животного происхождения, 107 минеральных веществ и 30 названий сложных лекарств, главным образом противоядий.

В III главе введения Бируни обсуждает вопрос о замене одних лекарств другими, говорит о роли разных народов в развитии фармакогнозии и науки вообще, подчеркивая особо влияние греческой науки и значение индийских эмпирических методов. В IV и V главах он формулирует свое отношение к арабскому и персидскому языкам как языкам науки.

Параграфы — описания лекарственных средств — расположены в алфавитном порядке и различны по объему: от нескольких слов до нескольких страниц в зависимости от значения лекарства. Иногда описание сопровождается экскурсами в различные области знаний того времени и стихотворными вставками. То, что многие параграфы состоят всего из нескольких строк, объясняется, по-ви-

[1] Цит. по: *А. М. Беленицкий*. Указ. соч., стр. 290.

димому, тем, что Бируни не успел отредактировать все параграфы книги, ко многим из них он, вероятно, предполагал обратиться вновь и пополнить их новым материалом.

Большинство параграфов построено по общему плану. Заглавие представляет собой общеупотребительное в арабской медицинской литературе название данного вещества. Затем идут его греческое, сирийское, персидское, индийское и другие названия и объяснение арабского термина. Далее следуют внешнее описание вещества и его разновидностей, мест его добывания и сведения о его заменителях. По мнению Бируни, важно не только назвать заменитель, но и указать способ его применения (питье, втирания, компрессы, окуривание и т. д.), а также при каких болезнях он применяется: заменитель приносит пользу только против определенных болезней и при определенном способе применения. «Мало людей,— писал Бируни,— обращает внимание на это искусство, и поэтому [замена] остается безрезультатной и незавершенной» [1]. Бируни описывает и районы распространения лекарственных веществ: в «Фармакогнозии» указаны географические пункты, где возделываются или растут в диком виде те или иные растения, обитают животные, добываются минералы. Кроме Средней Азии, Ирана, Афганистана и Индии упоминаются Аравия, Африка, Китай, Тибет, Бирма, Камбоджа, Малайский архипелаг, Кавказ, Малая Азия, Греция, Италия, Испания, острова Средиземного моря — в общей сложности около 400 географических названий. На основании этих сведений можно судить о районах возделывания культурных растений в ту эпоху.

В отличие от большинства аналогичных восточных трактатов «Фармакогнозия» не содержит сведений о свойствах рассматриваемых веществ, что, возможно, объясняется незавершенностью трактата. Основное внимание уделяется определению описываемого вещества, установлению, из какого растения, животного или минерала оно получено, а также его чистоте и доброкачественности. Письменные и устные источники Бируни всегда дополняет данными собственных наблюдений. Исходя из них, он критикует и исправляет других авторов.

---

[1] Цит. по: *У. И. Каримов.* Указ. соч., стр. 28.

Некоторые наблюдения Бируни представляют значительный интерес для истории науки. Например, он хорошо знал, что кермес, который греки считали болезненным наростом кошенильного дуба, на самом деле — насекомое. Экскурсы Бируни содержат многочисленные сведения этнографического характера и являются ценным источником при изучении истории культуры народов Востока.

Биологии и медицине посвящены также несколько не дошедших до нас отдельных сочинений Бируни: «Книга о чудесах природы и искусственных диковинах», «Перевод индийской книги «Капаяры» о болезнях, проходящих с гниением» и др. Однако «Фармакогнозию» можно считать одним из крупнейших памятников науки Востока: это наиболее полное на средневековом Востоке описание лекарственных средств, и вместе с тем в этом труде поставлены и решаются многие теоретические проблемы медицины.

«Фармакогнозия» разделила судьбу многих сочинений Бируни: медики и фармакологи XI—XIII вв. на нее не ссылаются. Даже большой почитатель Бируни, известный врач, историк и философ XIII в. Абу-л-Фарадж (Бар Эбрей), который перевел на сирийский язык некоторые медицинские сочинения Ибн Сины, очевидно, ничего не знал об этом сочинении. Только в библиографическом трактате врача и историка XIII в. Ибн Аби Усайби'и впервые встречается упоминание о «Фармакогнозии» Бируни и кратко изложено ее содержание. В XIV в. ее широко использует комментатор Ибн Сины ас-Садиди, дополняя отрывками из сочинения Бируни некоторые места «Канона медицины». В XVII в. «Фармакогнозию» упоминает в своем библиографическом словаре Хаджжи Халифы, в XVIII—XIX вв. упоминания о ней встречаются в персидских сочинениях о лекарствах. В Европе же вплоть до начала XX в. не знали об этом выдающемся труде Бируни.

Глава восьмая

Гуманитарное наследие

О Бируни больше известно как о математике и естествоиспытателе, однако исключительная научная любознательность, добросовестность в сборе и изложении материалов, огромная эрудиция позволили ему охватить широкий круг научных проблем, в том числе проблемы истории, философии и филологии, каждой из которых он посвятил специальные сочинения. Кроме того, во всех его фундаментальных сочинениях естественнонаучная проблематика тесно переплетается с гуманитарной как в постановке вопросов, так и в изложении конкретных материалов (результаты опытов и наблюдений, с одной стороны, и данные письменных и устных источников — с другой).

Исторические сведения Бируни касаются вопросов древней истории, истории народов средневекового Востока, в особенности Средней Азии, этнографии и истории религии, истории науки и культуры.

Как филолог Бируни известен исследованием индийского стихосложения и арабской поэзии, переводами, анализом естественнонаучной терминологии на разных языках и разработкой принципов ее перевода. О его интересах в области философии свидетельствуют исследование и интерпретация индийских религиозно-философских систем, переписка с Ибн Синой, многие разделы «Хронологии», «Геодезии», «Канона».

Проблематика и широта гуманитарного наследия Бируни позволяют считать его не только одним из величайших естествоиспытателей средневекового Востока, но и выдающимся исследователем в области гуманитарных наук.

Учитывая, что в первой главе настоящей книги изложено мировоззрение Бируни — наиболее полно изученная часть гуманитарного наследия ученого, мы сочли целесообразным остановиться главным образом на той стороне его творчества, которая касается вопросов истории и хронологии, этнографии и истории религии, а также некоторых связанных с ними вопросов, для решения которых в силу скудости источников сведения Бируни представляют особый интерес.

1. *Хронология*

Проблемы хронологии и календаря были предметом особого внимания Бируни в течение почти всей его жизни. Им посвящены его раннее сочинение «Хронология» и значительная часть (половина первой книги и вся вторая книга) одного из главных произведений — «Канона Мас'уда».

Одна из глав «Канона Мас'уда» посвящена общим принципам составления календарей. В ней рассматриваются основы солнечного и отдельно лунного календарей. Бируни подробно описывает календари разных народов, указывает, какие у них приняты годы (солнечный или лунный), приводит названия месяцев в мусульманском, еврейском, индийском, греко-сирийском, коптском, персидском, согдийском, хорезмийском календарях, а для персидского и частично согдийского и хорезмийского календарей — названия дней месяцев. Для каждого календаря указаны продолжительность года и время его начала. Характерные для Бируни объективность и непредвзятость в изложении и анализе материала проявляются и здесь. Он, мусульманин, подробно описывает разновидности христианских календарей, дает первое систематическое описание еврейского, рассказывает об индийском календаре и календарях, бытовавших в Иране и Средней Азии до арабского завоевания. В «Каноне Мас'уда» мы находим одно из первых упоминаний о китайском и тюркском календарях: «Китайцы и тюрки располагают свои годы циклами по двенадцать, давая им названия животных в определенном порядке» [1].

Наиболее детально Бируни описывает три основных календаря, применявшиеся в странах ислама: солнечный зороастрийский календарь, годы которого отсчитываются от восшествия на престол сасанида Иездигерда III (16 июня

[1] «Канон Мас'уда», стр. 93.

632 г. н. э.), называемый эрой Иездигерда, солнечный греко-сирийский календарь, годы которого отсчитываются от 1 октября 312 г. до н. э., связанный с именем Александра Македонского и называемый эрой Александра (селевкидская эра), и лунный мусульманский календарь (эра хиджры), годы которого отсчитываются от «хиджры пророка» (бегства Мухамеда из Мекки в Медину 16 июля 622 г.). Бируни рассматривает и другие разновидности солнечного календаря, применявшиеся вавилонянами, греками и римлянами: эру Набонассара (с 26 февраля 747 г. до н. э.), эру Филиппа (с 12 ноября 324 г. до н. э.), эру Августа (с 14 февраля 27 г. до н. э.), эру Антонина (с 25 февраля 138 г. н. э.) и эру Диоклетиана (с 29 августа 284 г. н. э.). Описания календарей сопровождаются правилами и таблицами перехода от одной эры к другой. В каждом календаре приводятся правила определения високосов.

Существенный интерес для истории Хорезма представляют сведения Бируни о хорезмийском летосчислении. Бируни упоминает несколько хорезмийских эр. Древнейшая из них — «от начала заселения [своей страны], которое произошло за девятьсот восемьдесят лет до Александра» [1]. Таким образом, начало ее — 1292 г. до н. э. Начало второй эры на 92 года позже (т. е. 1200 г. до н. э.) — «от прихода в Хорезм Сиявуша, сына Кейкауса и воцарения там Кейхусрау и его потомков» [2].

По мнению С. П. Толстова, эра колонизации и эра Сиявуша могут в какой-то мере отражать реальные события — две волны заселения Хорезма: северную, вдоль восточного побережья Арала, и южную, через Северо-Восточный Иран, Южную Туркмению, вдоль Узбоя, Мургаба и Амударьи [3].

Особый интерес представляют сведения Бируни о праздниках и знаменательных днях разных народов, связанных с сельскохозяйственным циклом. Изложение Бируни этих вопросов представляет собой по существу этнографическое описание хозяйственной жизни, нравов, обычаев

---

[1] «Хронология», стр. 47.

[2] Там же. Сиявуш — мифический герой, бог-всадник, культ которого был широко распространен в древнем Хорезме. Кейхусрау согласно легендам — сын Сиявуша.

[3] *С. П. Толстов.* Бируни и его «Памятники минувших поколений». — «Хронология», стр. XX.

и верований народов Ближнего и Среднего Востока, прежде всего Средней Азии (особенно Согда и Хорезма), и содержит ценнейшие данные, которые, как правило, отсутствуют в исторических сочинениях этого периода.

В «Хронологии» и II книге «Канона Мас'уда» Бируни касается одной из самых злободневных тем своего времени: на широком общеисторическом фоне всего Ближнего и Среднего Востока он рассматривает генеалогию и хронологию иранских династий и династий, связывавших себя с иранским миром. Бируни приводит хронологические таблицы от «сотворения мира». В них даны имена и годы жизни или царствования легендарных библейских патриархов начиная от Адама, «допотопных» и «попотопных» вавилонских царей, мифических ассирийских царей начиная с Бэла, Нина и Семирамиды, исторических царей Вавилона и Ассирии от Пула и Тиглатпаласара до Балташасара (библейского Валтасара), персидских царей от Кира до Дария III, Александра Македонского, Птолемеев от Птолемея Сотера до Клеопатры, римских императоров от Августа до Диоклетиана, византийских императоров от Константина до Ираклия, пророка Мухаммеда, «праведных халифов» от Абу Бакра до Али и его сына, омейядских халифов («царей») от Муавии до Мервана и аббасидских халифов («имамов») от ас-Саффаха до ал-Каима би-Амраллаха.

Имена вавилонских и ассирийских царей Бируни приводит в эллинизированной форме, восходящей, по-видимому, к сочинениям эллинизированного вавилонянина Беросса. Параллельно приводятся легенды об Аврааме, Иакове, Иосифе, Моисее, исходе евреев из Египта и завоевании ими Палестины, о Самсоне и др., античный миф о похищении прекрасной Елены и взятии Трои, персидская легенда о царе-драконе Заххаке и его убийстве Афридуном. Бируни рассказывает о римском царе Нуме Помпилии и его реформе календаря, о завоевании Египта Августом, о разрушении Иерусалима римским императором Титом, о деятельности астронома Клавдия Птолемея, излагает евангельскую легенду о распятии Христа, рассказывает о Никейском соборе, основании династии Сасанидов и т. д.

В основе хронологических таблиц лежит так называемый «Канон» Птолемея, содержащий имена и годы царствования царей от вавилонского царя Набонассара (747—

733 г. до н. э.) до современника Птолемея — римского императора Адриана. Астрономы средневекового Востока обычно в своих зиджах продолжали таблицу Птолемея до своего времени, но начальную ее часть ревизии не подвергали. Такой была, например, хронологическая таблица в «Сабейском зидже» ал-Баттани. Бируни не только продолжил таблицу Птолемея, но и дополнил ее сведениями из всех доступных ему источников. Соответствующие главы «Хронологии» и «Канона Мас'уда» содержат обширную сводку исторических сведений, известных арабоязычной науке эпохи Бируни.

2. История Хорезма

Хотя мы хорошо знаем о существовании письменности в древнем Хорезме и о наличии там определенной литературной и научной традиции, однако письменные источники, относящиеся к его древней и раннесредневековой истории, весьма скудны. От Бируни мы узнаем о судьбе древнехорезмийской письменности и культуры, постигшей их при арабском завоевании Средней Азии во время походов на Хорезм Кутейбы ибн Муслима.

«И уничтожил Кутейба людей, которые хорошо знали хорезмийскую письменность, ведали их предания и обучали [наукам], существовавшим у хорезмийцев, и подверг их всяким терзаниям, и стали [эти предания] столь сокрытыми, что нельзя уже узнать в точности, что [было с хорезмийцами даже] после возникновения ислама» [1]. Тем большую ценность представляют для нас краткие сведения об истории Хорезма, которые рассыпаны в трудах Бируни.

Весьма важен для истории Хорезма приводимый Бируни в «Хронологии» список царей династии Афригидов от легендарного Африга, вступившего на престол в 304 г., до свержения династии в 995 г. Список Бируни неточен и представляет не фактическую, а официальную генеалогию хорезмшахов. Например, упоминаемый Бируни Азкаджавар, очевидно эфталитский завоеватель Азкацвар, которого хорезмшахи впоследствии стали считать Афригидом.

Однако, несмотря на некоторые неточности, список Бируни сыграл исключительную роль в исследованиях

[1] «Хронология», стр. 48.

истории Хорезма. Так, он послужил отправной точкой для изучения сохранившихся хорезмийских документов и монет, в результате чего были поставлены и частично разрешены существенные проблемы истории этой страны [1].

Для истории Хорезма времен Бируни чрезвычайно ценны отрывки из его не дошедшей до нас «Истории Хорезма», включенные в «Историю Мас'уда» Абу-л-Фазла Байхаки, работавшего вместе с Бируни при дворе султана Мас'уда. Байхаки при работе над своей книгой не располагал текстом книги Бируни, а пересказывал отдельные места ее по памяти. «За долгое время до этого,—писал Байхаки,— я видел книгу, написанную рукой устада Абу Райхана» [2]. Уцелевшие отрывки из «Истории Хорезма» Бируни дают яркую картину событий в Хорезме перед его захватом султаном Махмудом, написанную активным участником этих событий.

3. Сведения по истории народных движений

Большой интерес для историков представляет глава «Хронологии» — «Слово об эрах лжепророков и обманутых ими народов», содержащая чрезвычайно ценные сведения о народных движениях на средневековом Востоке. Как известно, в средние века как на Востоке, так и на Западе «все революционные — социальные и политические — доктрины должны были по преимуществу представлять из себя одновременно и богословские ереси» [3].

Такой ересью было учение карматов, которое, зародившись в Южной Аравии, широко распространилось в странах ислама и в течение долгого времени было идеологией локальных антифеодальных движений.

Бируни в этой главе упоминает о не дошедших до нас сочинениях — «Книга об известиях об „одетых в белое“ и карматах» и «Перевод известий об ал-Муканне», которые, даже судя по небольшим отрывкам, приведенным в «Хронологии», содержали материал по истории народных движений в Средней Азии, главным образом об ан-

[1] *С. П. Толстов, В. А. Лившиц.* Датированные надписи на хорезмских оссуариях с городища Ток-кала.—«Советская этнография», 1964, № 2.

[2] *Абу-л-Фадл ал-Байхаки.* История Мас'уда (1030—1041). М., 1969, стр. 807.

[3] *Ф. Энгельс.* Крестьянская война в Германии.— *К. Маркс и Ф. Энгельс.* Соч., т. 7, стр. 361.

тифеодальном восстании в 70-х годах VIII в. под руководством Муканны. (Сторонники его носили белую одежду, отсюда «люди, одетые в белое».)

Характерно, что Бируни определенно связывает учение Муканны с маздакизмом. Говоря о Маздаке, Бируни писал: «Он объявил, что люди должны сообща владеть [всем] имуществом... и за ним пошли несметные толпы» [1]. Маздакитские традиции Бируни видит и в движении карматов. Он считает карматов последователями маздакитов.

Сведения о восстании Муканны весьма кратки. Бируни рассказывает, что Муканна «перешел реку Джейхун [дошел] до Кеша и Несефа, вступил в переписку с хаканом и попросил у него помощи, и сошлись к нему „носящие белое" и тюрки. Муканна дозволял им [брать чужое] имущество... установил все те законы, которые принес Маздак» [2].

Таким образом, текст Бируни подтверждает, что маздакитские традиции сохранились еще в движении Муканны и их носителями были те самые «одетые в белое» из Средней Азии, из которых сформировался затем основной состав его войска. Хотя движение Муканны было разгромлено, а сам он убит, его учение еще долго сохранялось в народных массах, а сторонники этого учения вплоть до XII в. возглавляли народные движения, вспыхивавшие в разных районах Средней Азии. У «ал-Муканны,— писал Бируни,— есть приверженцы в Мавераннахре, которые проповедуют его учение, [но] скрывают это, придерживаясь внешне ислама. Я перевел рассказы о нем с персидского на арабский. Они полностью изложены в моей книге» [3].

С тем большим основанием приходится сожалеть об утере этого сочинения, что в нем, очевидно, содержались подробные сведения об учении и движении Муканны, полученные из достоверных источников.

4. Этнографические сведения

Особую ценность сочинения Бируни представляют как этнографический источник. Многочисленные сведения о народах и племенах древнего и средневекового мира, их

[1] «Хронология», стр. 213.
[2] Там же, стр. 217.
[3] Там же

нравах и обычаях содержат почти все крупные сочинения Бируни: хронологические и географические главы «Канона» и «Науки звезд», «Геодезии», «Минералогии» и «Фармакогнозии». Что же касается «Хронологии» и «Индии», то их можно с полным основанием считать историко-этнографическими сочинениями. Это в особенности относится к «Индии» — блестящему образцу историко-этнографической монографии, не имеющему равных себе в средневековой литературе.

Источниками для Бируни служили как литературные данные, так и устная народная традиция, устная информация и личные наблюдения.

Бируни упоминает более ста народов и племен. Его сведения касаются сельскохозяйственного цикла, земледельческого календаря, нравов и обычаев, постов и праздников и т. д.

Рассказав о египтянах-коптах и румах, персах, евреях, арабах — жителях Африки, индийцах, жителях пограничных с Индией областей, Бируни подробно описывает народы Средней Азии: хорезмийцев, согдийцев, тюрков (гузов) и др., упоминает об эфталитах, хазарах. Далее он приводит данные о карлуках, печенегах. Бируни встречается, по-видимому, впервые этноним «туркмен». Большую роль Бируни сыграл в ознакомлении мусульманского Востока со славянами и другими восточноевропейскими народами. Он был одним их тех ученых, благодаря которым мусульманский мир узнал о варягах и народах «страны мрака» — жителях европейской и частично азиатской арктических зон.

«Хронология» содержит описание сельскохозяйственного календаря разных народов, в частности согдийского и хорезмийского, и, что особенно важно, отмечает сходство обычаев и обрядов, относящихся к связанным с ним праздникам у жителей Согда и Хорезма — этих древнейших центров земледелия в Средней Азии [1]. Одна из глав посвящена праздникам и обрядам «древних магов» и сабиев.

Чрезвычайно ценны для этнографа сведения Бируни о верованиях согдийцев и хорезмийцев, связанных своим происхождением с домусульманским пластом религиозных представлений народов Средней Азии и в значительной степени восходящих к древнейшим формам культа.

[1] Там же, стр. 256.

Из-за крайней скудости письменных источников эта область истории Средней Азии была до недавнего времени одной из наименее исследованных. Сведения Бируни в сочетании с этнографическим изучением реликтов доисламских верований на территории Средней Азии, где они в силу особенностей ее исторического развития бытовали до недавнего времени, помогают пролить свет на религиозные культы древнего населения Хорезма и Согда. Весьма важны в этом отношении его сведения о представлениях, связанных с зороастризмом, так как археологические исследования позволяют предположить, что именно в Хорезме и Согде формировался один из древнейших очагов зороастрийской религии, складывавшейся в значительной степени на основе первобытных религиозных верований.

Сам Бируни отмечал глубокую древность обрядов и обычаев, которые он описывает. «У хорезмийцев,— писал он,— есть в их месяцах праздники, которые они почитали до ислама, и утверждают, будто бог — велик он и славен — повелел хорезмийцам почитать эти праздники. [Жители Хорезма] справляют и другие дни, заимствованные из преданий их предков. Теперь из хорезмийских магов осталась лишь горсточка людей, которые не углубляются в свою веру и ограничиваются знанием ее внешних сторон, не исследуя ее истин и идей» [1]. Бируни приводит сведения о зороастрийском празднике Рамуш-Агам «у магов Бухары», когда они собираются в храме огня, и о согдийском празднике М-н-и-д-Хвара, отмечаемом в середине года. «В этот день,— писал Бируни,— [согдийцы] собираются в храмах огня и едят некое [кушанье], изготовленное из просяной муки, масла и сахара» [2]. Этот обряд в почти неизменном виде сохранялся у узбеков до недавнего времени.

5. Филология и поэзия

Бируни был тонким знатоком поэзии и чрезвычайно эрудированным ученым-филологом. Мы уже говорили о его анализе индийской грамматики и метрики. «Эти две отрасли науки [3],— писал он,— служат орудием для

[1] «Хронология», стр. 256. Хорезмийские маги—зороастрийцы.
[2] Там же, стр. 254.
[3] Т. е. грамматика и поэзия.

других наук. Из них двух индийцы выдвигают на первое место науку о языке... Она состоит из грамматических правил, которые делают речь их правильной, и (правил) этимологии, которые ведут их к красноречию в письме и чистоте выражения в устной речи» [1].

Интерес Бируни к вопросам филологии проявился даже в таких далеких от этой области науки сочинениях, как «Минералогия» и «Фармакогнозия». Исследование «Фармакогнозии» позволяет считать его замечательным филологом своего времени. Бируни владел не только арабским, персидским, хорезмийским, греческим, сирийским и санскритом, но был знаком и со многими другими языками и диалектами. В «Фармакогнозии» собрано и объяснено свыше 4500 названий растений, животных и минералов на разных языках и диалектах и дана их арабская транскрипция. Большая часть этих терминов представляет значительный интерес для истории и лексикографии народов Средней Азии и сопредельных с ней стран. Текстологические замечания Бируни во многих отношениях стоят на уровне современных требований науки.

Бируни был прекрасным знатоком арабской и персидской поэзии. В «Минералогии» он цитирует стихи 84 поэтов, из которых исследователь источников этого произведения Хашми семнадцать не смог идентифицировать, хотя пользовался наиболее полными справочниками. В «Фармакогнозии» Бируни приводит отрывки из произведений 65 поэтов. Более половины из них не упомянуты в «Минералогии». Бируни цитирует поэтов различных эпох, от представителей классической арабской поэзии домусульманского периода до своих современников в Газне. Поэтические отрывки встречаются также в «Хронологии» и «Гномонике». Поэзии посвящено несколько малых трактатов Бируни, кроме того, он перевел с персидского ряд рассказов.

Бируни и сам был автором поэтических произведений. Якут приводит несколько его небольших стихотворений, извлеченных из не дошедшего до нас труда Бируни «Книга избранных стихов и преданий». Одно из них, в котором Бируни говорит о своем происхождении, нами цитировалось в первой главе. Другое, состоящее из 17 строк, в котором перечислены все его знатные покровители, очевидно, написано в Газне.

[1] «Индия», стр. 149.

Заключение

Трудно назвать область научной деятельности, которой бы не занимался Бируни. Математик и астроном, конструктор инструментов и географ, минералог и фармаколог, физик и философ, политический деятель и историк, знаток календарей и этнограф, поэт и филолог — Бируни внес свой непреходящий вклад в развитие всех этих областей науки.

Многие из научных достижений Бируни были тотчас же подхвачены его последователями и получили быстрое развитие. Это относится прежде всего к его трудам по вычислительной математике, расширению понятия о числе, геометрическим построениям, сферической тригонометрии, измерению астрономических констант, движений Солнца, Луны и планет, звезд, географических координат населенных пунктов, конструированию инструментов, определению удельных весов. Другие научные идеи Бируни, опередившие его время, получили развитие значительно позже. Это соображения об общих свойствах функциональных зависимостей, о математическом атомизме, о движении Земли, о возможности жизни человека вне «обитаемой четверти» земного шара, о геологических изменениях земной коры и перемещениях материков и морей, об иных мирах, информация о которых не может быть получена с помощью наших пяти чувств. Исключительно важны для истории и этнографии сведения Бируни по истории, о нравах и обычаях, религиозных представлениях различных народов и племен как современных ему, так и уже исчезнувших в его время.

Для Бируни было характерно развитие методов, необходимых для решения конкретных вычислительных, измерительных или конструктивных задач на основе применения высших теоретических достижений своего времени, в результате чего получали новое развитие теоретические вопросы математики и естествознания. Он считал необходимой тщательную экспериментальную проверку всех высказываемых утверждений, соединение эксперимента с теоретическим анализом, широкое применение сравнительного метода.

Труды Бируни были хорошо известны Насир ад-Дину Туси и самаркандским астрономам школы Улугбека. Через математиков и астрономов школ Туси и Улугбека многие математические и астрономические идеи Бируни попали в Европу и оказали существенное влияние на развитие математики и астрономии. Однако естественнонаучное и гуманитарное наследие Бируни в Европе было неизвестно до конца XIX в., как и само имя великого хорезмийца. Только начиная с 70—80-х годов прошлого века, когда Э. Захау издал перевод «Хронологии» и «Индии», труды Бируни систематически переводятся и издаются в подлиннике и на европейских языках. Дальнейшее изучение его сочинений несомненно приведет нас к открытию новых сторон научного творчества этого замечательного ученого.

Список трудов Бируни[1]

1. История и хронология

а) История

1. Книга об известиях об «одетых в белое» и карматах. Упоминается в «Хронологии» [1, стр. 217 и 219].
2. Перевод известий об ал-Мукание. Упоминается там же [1, стр. 217].
3. *История Хорезма.* Беседа об известиях о Хорезме. Упоминается Якутом [31], цитируется в «Истории Мас'уда» Байхаки [32].
4. История дней султана Махмуда и известия о его отце. Упоминается Якутом [31].

б) Хронология

5. *Хронология.* Памятники минувших поколений [1].
6. Памятка о наставлении на верный путь по христианским постам и праздникам. Упоминается в «Библиографии» [21].
7. Об оправдании того, что я недавно говорил об эре Александра. Упоминается там же.
8. О дополнении рассказов врача из Буста Абд ал-Малика о начале и конце мира. Упоминается там же.
9. Книга об исправлении [хронологических] дат и примерах этого. Упоминается там же.

в) Этнография

10. *Индия.* Книга, содержащая разъяснение принадлежащих индийцам учений, приемлемых разумом или отвергаемых [2].

г) История науки

11. *Библиография.* Библиография сочинений Мухаммеда ибн Закарии Рази. Комментированный список сочинений Рази и самого Бируни до 1036 г. [21].

---

[1] Цифры в квадратных скобках означают номер данного труда в списке литературы. Курсивом набраны условные названия важнейших сочинений Бируни, общепринятые в литературе о Бируни, и в частности применяемые в этой книге.

2. Математика

а) Арифметика

12. *Рашики.* Книга об индийских рашиках [9].
13. Памятка об арифметике и счете с помощью синдских и индийских цифр. Упоминается в «Библиографии» [21], цитируется в «Хронологии» под названием «Книга цифр» [1, стр. 154].
14. Об извлечении кубических корней и оснований того, что за ними из арифметических разрядов. Упоминается в «Библиографии» [21].
15. Сущность метода индийцев изучения арифметики. Упоминается там же.
16. О превосходстве мнения арабов над мнением индийцев по вопросу о разрядах чисел. Упоминается там же и в «Индии» [2, стр. 177].
17. Об индийской санкалите. Упоминается в «Библиографии» [21].
18. Перевод того, что в «Брахмасиддханте» из методов арифметики. Обработка арифметических разделов труда индийского ученого VI в. Брахмагупты. Упоминается там же.
19. Основы умножения. Упоминается там же.

б) Геометрия

20. *Хорды.* Трактат об определении хорд в круге с помощью ломаной, вписанной в него [18].
21. *Картография.* Трактат о проектировании созвездий и изображении стран на плоскости [9].
22. Памятка об измерении для путника, не обеспеченного провиантом. Упоминается в «Библиографии» [21].
23. Книга о том, что свойство величин делиться до бесконечности подобно положению двух линий, приближающихся, но не встречающихся при удалении. Упоминается там же.
24. Свод употребительных методов об определении хорд круга. Упоминается там же.
25. Дополнение к искусству проектирования на плоскость. Упоминается там же.
26. Перевод «Получения отдыха с помощью уточнения измерения». Упоминается там же.

Сочинения, написанные «на имя» Бируни

А. Трактат о разрешении сомнений, имеющих место в тринадцатой книге «Начал» Евклида. Ибн Ирак [26, ч. 7].
Б. Книга об основаниях геометрии. Масихи. Упоминается в «Библиографии» [21].
В. Трактат об ответе на вопросы по геометрии. Ибн Ирак [26, ч. 10].

в) Тригонометрия

27. *Сферика.* Книга ключей науки астрономии о том, что происходит на поверхности сферы [8].

28. Книга жемчужин о поверхности сфер. Рукопись Бодлеянской библиотеки в Оксфорде.
29. Письмо к Абу Саиду. Рукопись Университетской библиотеки в Лейдене.
30. Книга о переносе свойств фигуры секущих на то, что освобождает от нее. Упоминается в «Библиографии» [21].

Сочинения, написанные «на имя» Бируни

Г. Книга азимутов. Ибн Ирак. Упоминается в «Библиографии» [21], цитируется в «Сферике» [8].
Д. Трактат об определении небесных дуг друг через друга способом, отличным от способа фигуры секущих и составного отношения. Ибн Ирак [26, ч. 8].

3. Астрономия

а) Руководство по астрономии

31. *Канон Мас'уда*. Канон Мас'уда по астрономии и звездам [5].
32. *Наука звезд*. Книга вразумления начаткам науки звезд [6].
33. Ключ науки астрономии. Упоминается в «Библиограии» [21] и «Индии» [2 стр. 255].
34. Исправление «Разделов» Фергани. Обработка «Элементов астрономии» («Тридцать разделов») Фергани (IX в.). Упоминается в «Библиографии» [21].

б) Зиджи (астрономические таблицы)

35. Блеск зиджей. Обработка «Каранатилаки» индийского астронома Виджаянандина [22].
36. Поучительные вопросы и точные ответы о недостатках зиджа Хорезми. Комментарии к «Ма'мунову зиджу» Хорезми (IX в.). Упоминаются в «Библиографии» [21], цитируются в «Хордах» [18, стр. 125].
37. Опровержение лжи по поводу доказательства действий Хорезми в его зидже. Упоминается в «Библиографии» [21].
38. Книга посредничества между двумя. Защита зиджа Хорезми от критики некоего Абу-л-Хасана. Упоминается там же.
39. Дополнение зиджа Хабаша. Обработка зиджа Хабаша ал-Хасиба Мервези (IX в.). Упоминается там же.
40. Свод существующих теорий индийцев об астрологических расчетах. Комментарии к «Синдхинду». Обработка Фазари (VIII в.) индийских зиджей — «сиддхант». Упоминается там же.
41. Исправление зиджа Арканд. Обработка перевода «Кхандакхадьяки» Брахмагупты (VI в.). Упоминается там же.
42. По поводу «Проверенного [зиджа]» и разъяснения Ибн Кайсума Муфтатана. Комментарии к обработке зиджа Хорезми. Упоминается там же.
43. Освещение пути анализа зиджей. Упоминается там же.

44. Прояснение ума о зидже ал-Баттани. Комментарии к «Сабейскому зиджу» ал-Баттани (IX—X вв.). Упоминается там же.
45. Обоснования зиджа Джа'фара, именуемого Абу Ма'шаром. Комментарии к «Зиджу тысяч» Абу Ма'шара (IX в.). Упоминается там же.
46. Книга о причине обозначения знаков зодиака в зиджах буквенной нумерацией. Упоминается там же.

в) Сферическая астрономия

47. Трактат о восхождениях на куполе Земли и о положениях неподвижных звезд. Упоминается там же.
48. Малая книга о значении величины ночи и дня в сутках на всей Земле для доказательства того, что под полюсом год является сутками. Упоминается там же.
49. Книга об определении величины ночи и дня методом, далеким от построений астрономов и их терминов. Упоминается Якутом [31].

Сочинения, написанные «на имя» Бируни

Е. Трактат о таблицах минут. Ибн Ирак [26, ч. 5].
Ж. Трактат о доказательствах действий Хабаша [при] определении восхождений азимута в его зидже. Ибн Ирак [26, ч. 11].
З. Трактат об исправлении упущений, допущенных Абу Джа'фаром Хазином в его «Зидже тимпанов». Ибн Ирак [26, ч. 3].
И. Раздел из книги Абу Насра о сферичности неба. Ибн Ирак [26, ч. 9].

г) Гномоника

50. *Гномоника*. Выделение сказанного о действиях с тенями [7].

д) Расстояния между светилами

51. Руководство к тому, что постижимо и непостижимо из расстояний. Упоминается в «Библиографии» [21].

е) Движение Солнца и планет

52. Об уравнении Солнца [12]. По-видимому, совпадает с указанной в «Библиографии» Книгой об анализе и детализации уравнения.
53. Воображение индийцами обоих затмений. Упоминается в «Библиографии» [21] и «Индии» [2, стр. 510].
54. Практика исследования движения Солнца. Упоминается в «Библиографии» и цитируется в «Хордах» [18, стр. 122—123].
55. Книга свидетельств о расхождениях в [астрономических] наблюдениях. Упоминается в «Хронологии» [1, стр. 19, 36, 183].
56. Книга о необходимом о двух движениях. Упоминается Якутом [31].

Сочинения, написанные «на имя» Бируни

К. Трактат о доказательствах действий Мухаммеда ибн Саббаха о проверке [движения] Солнца. Ибн Ирак [26, ч. 9].

Л. Трактат о доказательствах действий Хабаша с таблицей эфемерид. Ибн Ирак [26, ч. 4].

М. Книга о причине раздвоения уравнения [Солнца] у авторов «Синдхинда». Ибн Ирак. Упоминается в «Библиографии» [21].

Н. Книга об исправлении книги Ибрахима ибн Синана об уточнении различия верхних планет. Ибн Синан. Упоминается там же.

О. Книга о том, неподвижна ли Земля или движется. Масихи. Упоминается там же.

ж) Звезды и кометы

57. Книга об уточнении стоянок Луны. Упоминается там же.
58. Книга об указании влияния небесных [явлений] на земные события. Упоминается там же.
59. Об опровержении пустых мнений, пришедших на ум некоторым врачам, по вопросу о звездах, появляющихся в воздухе. Упоминается там же.
60. Речь о светилах, обладающих хвостами и локонами. Упоминается там же.
61. Книга о [телах], сияющих в воздухе и появляющихся с высоты. Упоминается там же.
62. Книга о рассмотрении того, что говорил Абу Сахл Кухи о падающих звездах. Упоминается там же.
63. Книга об обсуждении известного метода, упомянутого в «Книге о небесных явлениях». Упоминается там же.

з) Астрология

64. *Прохождение.* Подготовка обоснования для исследования понятия прохождения [13].
65. Книга о ходе жребиев счастья и сокровенного. Рукопись Бодлеянской библиотеки в Оксфорде.
66. Различие речей об определении перемен [годов]. Упоминается в «Библиографии» [21].
67. Об исправлении методов, в которых нуждаются при определении формы небесной сферы при [вычислениях] рождений, перемен годов и других времен. Упоминается там же.
68. Книга об использовании кругов азимутов для определения центров домов. Упоминается там же.
69. Освобождение лучей и света от глупостей, записанных в книгах. Упоминается там же.
70. Книга о получении лучей с помощью метода, самого далекого от [метода определения] часов. Упоминается там же.
71. О проектировании постоянного луча на переменные места. Упоминается там же.
72. О проверке новшеств Абу Хафса Омара ибн Фаррухана. Комментарии к астрологу IX в. Упоминается там же.

73. Вопросы [астрологов] из Балха о понятиях, относящихся к сокращению искусства [астрологии]. Упоминается там же.
74. Ответы на вопросы, заданные индийскими астрологами. Упоминается там же.
75. Ответы на десять вопросов кашмирцев. Упоминается там же.
76. Книга о разделении сил и указаний между градусами двенадцати домов. Упоминается там же.
77. Книга об изложении метода индийцев определения [времени] жизни. Упоминается там же.
78. О руководстве по уточнению принципов, относящихся к намударам. Упоминается там же.
79. Книга о разъяснении мнения Птолемея о «владыке года». Упоминается там же.
80. Перевод «Малой книги рождений» Варахамихиры. Обработка сочинения индийского ученого V в. Варахамихиры. Упоминается там же.
81. Предостережение против искусства обмана, т. е. приговоров звезд. Упоминается там же и в «Хронологии» [1, стр. 95].
82. Блестящее доказательство, относящееся к действиям «дирекции». Упоминается в «Библиографии» [21].
83. Книга Солнц, исцеляющих души. Упоминается в «Хронологии» [1, стр. 95].
84. Введение в науку о звездах и о пределах бедствий и пресекающих мест по опыту. Упоминается в «Астролябиях» [10, л. 92].
85. О тимпане «дирекции». Упоминается там же [л. 88].

Сочинения, написанные «на имя» Бируни

П. Трактат о законах искусства [астрологии]. Масихи. Упоминается в «Библиографии» [21].

Р. Трактат о причинах воспитания, применяемого в [искусстве] приговоров звезд. Масихи. Упоминается там же.

С. Нарциссовый трактат. Масихи. Упоминается там же.

4. Астрономические инструменты

а) Астролябии

86. *Астролябии.* Исчерпание всех возможных способов в построении астролябии [10].
87. *Астролябия.* Трактат об астролябии [11].
88. Об облегчении исправления астролябии и действий с [астролябиями], составленными из северной и южной. Упоминается в «Библиографии» [21].
89. О том, что превращает потенцию астролябии в действенность. Упоминается там же.
90. О применении сферической астролябии. Упоминается там же.

Сочинения, написанные «на имя» Бируни

Т. Трактат о кругах, разграничивающих косые часы, и о кое-чем, относящемся к построению астролябии. Ибн Ирак [26, ч. 13].

У. Трактат о проведении кругов азимутов на астролябии. Ибн Ирак [26, ч. 14].
Ф. Трактат о делительном приспособлении для линии. Масихи. Упоминается в «Библиографии» [21].

б) Секстант

91. Рассказ об инструменте, называемом Фахриевым секстантом [20].

в) Часы

92. Книга о разъяснении «весов» для измерения времени. Упоминается в «Библиографии» [21].
93. Об определении момента времени у индийцев. Упоминается там же.

5. География

а) Математическая география и геодезия

94. *Геодезия.* Книга определения границ мест для уточнения расстояний между неселенными пунктами [3].
95. Книга об определении размера Земли по наблюдению понижения горизонта с вершины горы. Упоминается в «Библиографии» [21].
96. Исправление сказанного об уточнении широт и долгот. Упоминается там же.
97. Книга об ошибках, принесенных [переписчиками], относящихся к широте и долготе. Упоминается там же.
98. Книга об уточнении долготы и широты населенных пунктов обитаемой части Земли. Упоминается там же.
99. Книга об определении местностей по широте и долготе. Упоминается там же.
100. О закатах Солнца на Александрийском маяке. Упоминается там же.
101. О различии обладающего избытком при определении широты и склонения. Упоминается там же.
102. Ответы и вопросы об уточнении азимута кыблы. Упоминается там же.
103. Разъяснение указаний о способах определения азимута кыблы. Упоминается там же.
104. Исправление условий действий уточнения азимутов кыблы. Упоминается там же.
105. Об исправлении кыблы в Бусте путем уточнения его долготы и широты. Упоминается там же.
106. О новом уточнении кыблы. Упоминается там же.
107. Исправление случаев ошибок в «Книге указаний кыблы». Упоминается там же.
108. Определение границ обитаемой [части Земли] и уточнение их на карте. Упоминается там же.
109. Представление явлений утренней зари и сумерек на восточной и западной сторонах горизонта. Упоминается там же.

Сочинение, написанное «на имя» Бируни

Х. Трактат о солнечных закатах. Масихи. Упоминается там же.

б) Физическая география

110. О расхождениях, имеющихся в разделении на климаты. Упоминается там же.
111. Книга об описании причин теплоты, имеющейся в мире, и различии времен года. Упоминается там же.
112. Книга о разделении на климаты. Упоминается Якутом [31].

Сочинение, написанное «на имя» Бируни

Ц. Трактат о причине холода «дней старухи». Масихи. Упоминается в «Библиографии» [21].

6. Естествознание

а) Физика

113. *Удельные веса.* Книга об отношениях между металлами и драгоценностями по объему [17].
114. Книга о мерах объема и веса и условиях [соответствия] пробы [золота показаниям] стержней весов. Упоминается в «Библиографии» [21].

Сочинение, написанное «на имя» Бируни

Ч. Книга об описании движений вещей, обладающих положением. Масихи. Упоминается там же.

б) Минералогия

115. *Минералогия.* Книга собрания сведений для познания драгоценностей [16].
116. Книга отрады душ и мыслей о свойствах трех [видов] рожденных — металлов, растений и камней. Рукопись в Бодлеянской библиотеке в Оксфорде.

в) Биология и медицина

117. *Фармакогнозия.* Книга о медицинских лекарствах [4].
118. Перевод книги «Углубленное изучение размеров деревьев». Упоминается в «Библиографии» [21].
119. Книга о чудесах природы и искусственных диковинах. Упоминается в «Хронологии» [1, стр. 251].
120. Перевод индийской книги «Капаяра» о болезнях, проходящих с гниением. Упоминается в «Библиографии» [21].

7. Натурфилософия и философия

а) Натурфилософия

121. Ответы Шейар-Раиса на вопросы Абу Райхана Бируни [14].
122. Возражения Бируни на письмо Ибн Сины о доказательстве истины [15].

Сочинение, написанное «на имя» Бируни

Ш. Книга о посредничестве между Аристотелем и Галеном о перводвигателе. Масихи. Упоминается в «Библиографии» [21].

б) Философия

123. Тренировка мышления и ума. Рукопись в Центральной библиотеке штата Андхра Прадеш в Хайдарабаде (Индия).
124. Перевод общей книги об ощущаемых и познаваемых сущностях. Упоминается в «Библиографии» [21].
125. Перевод книги «Санкхья». Упоминается в «Индии» [2, стр. 60].

Сочинение, написанное «на имя» Бируни

Щ. Трактат об указании слова для идеи. Масихи. Упоминается в «Библиографии» [21].

в) Верования и религии

126. Книга индийца Патанджалы об избавлении от уз [23].
127. Речь о «подготовке» и «сохранении». Упоминается в «Библиографии» [21].
128. Книга о близком приходе индийского Васудевы. Упоминается там же.

8. Грамматика и литература

а) Грамматика

Сочинение, написанное «на имя» Бируни

Э. Трактат, озаглавленный «из и от» Джили. Упоминается в «Библиографии» [21].

б) Поэзия

129. Книга избранных стихов и преданий. Стихи, цитируемые Якутом [24].
130. Обработка «Поэмы на алиф» в заключительной части сборника стихов Абу Таммама. Упоминается в «Библиографии» [21].
131. Книга комментариев к стихам Абу Таммама. Упоминается Якутом [31.]
132. Книга проверки передачи воображения в идеях поэм самых выдающихся поэтов. Упоминается там же.

в) Рассказы

133. Перевод рассказа о Вамике и Азре. Упоминается в «Библиографии» [21].
134. Перевод рассказа о Наделяющем радостью и Источнике жизни. Упоминается там же.
135. Перевод рассказа об Ормузд-яре и Михр-яре. Упоминается там же.
136. Перевод рассказа о двух идолах Бамияна. Упоминается там же.
137. Перевод рассказа о Дазме и Гирами. Упоминается там же.
138. Перевод рассказа о Нилуфаре из истории о Дабисти и Барбахакире. Упоминается там же.
139. Перевод «Предостережения со стороны тюрков». Упоминается там же.
140. Перевод «Жребия, ясного по результату». Упоминается там же.
141. Перевод «Оцениваемого жребия для обнаружения тайных мыслей» и «Комментариев к Флейтам оцениваемого жребия». Упоминается там же.

г) Этика

142. Книга, озаглавленная «Распорядок». Упоминается Якутом [31].

Сочинение, написанное «на имя» Бируни

Ю. Трактат о поведении приближенных к царям. Масихи. Упоминается в «Библиографии» [21].

д) Изречения

143. Сборник изречений Бируни, приведенных в «Дополнениях к Хранителям мудрости» Али Байхаки и «Саде радостей и отраде духа» Мухаммеда Шахразури [25].

Примечание

Во время печатания этой книги были закончены переводы «Картографии» [21] и «Книги жемчужин» [28]. В связи с этим в список трудов Бируни следует внести следующие уточнения:

1. «Книга жемчужин» относится не к сферической тригонометрии, а к проектированию сферы на плоскость, и в ее названии слово «сатх» следует переводить не «поверхность», а «плоскость». Так как основная часть трактата посвящена описанию построения астролябии, трактат надо из раздела 2в перенести в раздел 4а. В 1-й главе трактата излагается проекция Сагани (см. стр. 56) без упоминания его имени, из чего можно заключить, что Бируни пришел к этой проекции самостоятельно.

2. В «Картографии» упоминается «Книга об уточнении долготы

и широты населенных пунктов» [98], откуда видно, что это один из самых ранних трактатов Бируни. Называется также не упоминаемый в других источниках трактат «Построение глобуса», который следует включить в раздел 5а между [94] и [95].

Выяснилось также, что в Парижской Национальной библиотеке имеется рукопись Бируни, озаглавленная «Трактат о различных видах астролябий и их применении», состоящая из 20 глав. Этот труд можно внести в раздел 4а между [87] и [88]. Д. Буало отождествляет этот трактат с сочинениями [87] и [88].

Литература

а) Сочинения Бируни

1. Хронология. Памятники минувших поколений. Перевод и примеч. М. А. Салье; статьи С. П. Толстова и В. П. Щеглова. Избр. произв., т. 1, Ташкент, 1957.
   Chronologie orientalischer Völker von Alberuni, hrsg. Von E. Sachau, Leipzig, 1878, 2. Aufl. 1923 (арабский текст). Alberuni. The Chronology of Ancient Nations, transl. by E. Sachau. London, 1879. (английский перевод).
2. Индия. Перевод А. Б. Халидова и Ю. Н. Завадовского; комментарии В. Г. Эрмана и А. Б. Халидова. Избр. произв., т. 2. Ташкент, 1963. Alberuni. India, ed by E. Sachau. London, 1887; 2nd ed. Leipzig, 1925; 3rd ed. Dehli, 1964; Al-Biruni. Kitab fi tahqiq ma li'l-Hind or India, Hyderabad, 1377h. (1958) (арабский текст). Alberuni. India, an Account of the Religion, Philosophy, Literature, Geography, Chronology, Astronomy, Customs, Lows and Astrology of India, transl. by E. Sachau, v. 1—2. London, 1888; 2nd ed., 1910; 3rd ed., 1914 (английский перевод).
3. Геодезия. Перевод, статья и комментарии П. Г. Булгакова. Избр. произв., т. 3. Ташкент, 1966.
   Абу-р-Райхан ал-Бируни. Китаб тахтид нихайат ал-амакин ли тасхих масафат ал-масакин. Изд. П. Г. Булгакова. Каир, 1962; изд. М. ат-Танджи, Анкара, 1962 (арабский текст). Al-Biruni. The determination of the Coordinates of Cities, transl. by Jamil Ali, Beirut, 1967 (английский перевод).
4. Фармакогнозия. Перевод, статья и комментарии У. И. Каримова. Избр. соч., т. 4. Ташкент, 1973, в печати; цитаты из нее — по автореферату докторской диссертации У. И. Каримова «Китаб ас-Сайдана («Фармакогнозия») Бируни». Ташкент, 1971.
   M. Meyerhof. Das Vorwort zur Drogenkunde des Beruni, Quellen und Studien zur Geschichte der Naturwissenschaften, 1932, Bd. 3, S. 157—208 (немецкий перевод предисловия).
5. Канон Мас'уда. Abu'l-Rayhan Muhammad ibn Ahmad al-Biruni. Al-Qanunu'l-Mas'udi (Canon Masudicus), v. 1—3. Hyderabad, 1954—1956 (арабский текст). Абу-р-Райхан ал-Бируни, Ал-макала ас-салиса мин ал-Канун ал-Мас'уди. Изд. д-р Имам Ибрахим Ахмад. Каир, 1385 х. (1965) (арабский текст III книги). В печати: перевод, статья и комментарии П. Г. Булгакова и Б. А. Розенфельда при участии А. Ахмедова и М. М. Рожанской.

Избр. произв., т. 5, ч. 1; перевод и комментарии Б. А. Розенфельда и А. Ахмедова при участии М. М. Рожанской и Ю. П Смирнова. Избр. произв., т. 5, ч. 2. Ташкент.

6. Наука звезд. Abu'l-Rayhan al-Biruni. The book of Instruction in the Elements of the Art of Astrology, Ed. and transl. by R.R. Wright. London, 1934 (арабский текст и английский перевод).
Абу р-Райхан ал-Бируни, Китаб ат-тафхим ли аваил сина'а ат-танджим. Изд. Джалал ад-Хумаи. Тегеран, 1319 х. (1940) (персидский текст).
7. Гномоника. Al-Biruni. Rasail. Hyderabad, 1367h. (1948), pt. 2 (арабский текст).
8. Сферика. Арабская рукопись: Тегеран, Сипахсалар, № 597.
9. Картография. H. Suter. Über die Projektion der Sternbilder und der Länder von al-Biruni, Abhandlungen zer Geschichte der Naturwissenschaften und Medizin, 1922, N. 4, S. 94—109 (немецкий перевод).
10. Астролябии. Арабская рукопись: Лейден, Университетская библиотека, № 591/4. Немецкие переводы: [39] (предисловие), [40] (разделы о делительных устройствах), [41] (разделы о различных видах астролябий), [42] (разделы о построении конических сечений), [43] (раздел о совершенном циркуле), [44] (раздел о механическом календаре).
11. Астролябия. Арабская рукопись: Берлин, б. Прусская гос. библиотека, № 5794.
12. Уравнение Солнца. Al-Biruni. Rasail, pt. 1, стр. 108—224 (арабский текст).
13. Прохождение. Al-Biruni. Rasail, pt. 3 (арабский текст).
Al-Biruni. On transits, transl. by M. Saffouri and A. Ifram, comm. by E. S. Kennedy. Beirut, 1959 (английский перевод).
14. Ответы Шейх-ар-Раиса [Ибн Сины] на вопросы Абу Райхана Бируни. Десять вопросов Бируни относительно «Книги о небе» Аристотеля и ответы Ибн Сины. Восемь вопросов Бируни относительно «Физики» Аристотеля и ответы Ибн Сины. Перевод Ю. Н. Завадовского.— В кн.: Материалы по истории прогрессивной общественно-философской мысли в Узбекистане. Под. ред. И. М. Муминова. Ташкент, 1957, стр. 128—162.
15. Возражения ал-Бируни.—В ст.: А. Д. Шарипов. Малоизвестные страницы переписки между Бируни и Ибн Синой.— «Общественные науки в Узбекистане», 1965, № 2, стр. 38—42.
16. Минералогия. Собрание сведений для познания драгоценностей (Минералогия). Перевод А. М. Беленицкого. Под. ред. Г. Г. Леммлейна, Х. К. Баранова и А. А. Долининой. Статьи и примечания А. М. Беленицкого и Г. Г. Леммлейна. М.—Л., 1963.
Al-Biruni, Kitab al-jamahir fi ma'rifat al-jawahir, ed. by F. Krenkow. Hyderabad, 1936 (арабский текст).
17. Удельные веса.— В кн.: [16], стр. 249—265.
Абд ар-Рахман ал-Хазини. Китаб мизан ал-хикма. Хайдарабад, 1359 х. (1941), стр. 55—71, 137—141 (арабский текст).
18. Хорды. Трактат об определении хорд в круге с помощью ломаной, вписанной в него. Перевод С. А. Красновой и Л. А. Карповой. Примеч. Б. А. Розенфельда и С. А. Красновой.— В [35], стр. 93—147.

Al-Biruni, Rasail, pt. 1 (арабский текст).
H. Suter. Das Buch der Auffindung der Sehnen im Kreise von Abu'l-Reihan Muh. al-Biruni, Bibliotheca mathematica, 3. Folge. Bd. 11, № 1, 1911, S. 11—78 (немецкий перевод).
19. Рашики. Книга об индийских рашиках. Перевод и примеч. Б. А. Розенфельда.— В [35], стр. 148—167.
Al-Biruni, Rasail, pt. 4 (арабский текст).
20. Рассказ об инструменте, называемом Фахриевым секстантом. — В настоящей книге, стр. 137—138 [36, стр. 51—52].
Л. Шейхо. Хикая ал-Бируни фи-с-судс ал-Фахри, ал-Машрик, т. II. Бейрут, 1908, стр. 68—69 (арабский текст). П. Г. Булгаков. Ранний трактат Бируни о секстанте Фахри. — «Историко-астрономические исследования», 1972, вып. XI, стр. 211—219; в [36], стр. 51—52 (русский перевод). L. A. Sédillot. Les instruments astronomiques des arabes. Mémoires presentés à l'Académie Royale des inscriptions, 1ère série, t. 1. Paris, 1844, p. 202—206 (французский перевод).
21. Библиография. Epitre de Biruni contenant de le repertoire des ouvrages de Mohammed b. Zakariya ar-Razi, publ. par P. Kraus, Paris, 1930 (французский перевод). J. Ruska. Al-Biruni als Quelle für das Leben und Schriften al-Razi's. Isis, 1922, № 5, s. 26—50; [37] (немецкие переводы).
22. Блеск зиджей. Al-Biruni. Ghurrat al-zijat, ed., transl. and comm. by S. S. H. Rizvi. Islamic culture, v. 37, 1963, p. 112—130, 167—187, 223—245; v. 38, 1964, 47—74, 195—212; v. 39, 1965, p. 1—26, 137—180 (арабский текст и английский перевод).
23. Перевод «Патанджалы». H. Ritter. Al-Birunis Übersetzung des Yoga-Sutra des Patanjali. Oriens, 1956, Bd. 9, S. 165—200 (арабский текст).
24. Стихи. В [37], стр. 61—64 (немецкий перевод); в [31], стр. 312—314 и [30], стр. 56—59 (арабский текст).
25. Изречения. В [37], стр. 64—66 (немецкий перевод).
26. Трактаты Ибн Ирака, написанные «на имя» ал-Бируни.
Rasail Abi Nasr ibn Iraq ila'l-Biruni. Hyderabad, 1365h. (1946) (арабский текст). J. Samsó Moya. Estudios sobre Abu Nasr Mansur b. 'Ali b. 'Iraq, Barcelona, 1969, p. 73—150 (испанский перевод).

б) Мемориальные сборники

27. Бируни. Под ред. С. П. Толстова. М.— Л., 1950.
28. Бируни — великий ученый средневековья. Под ред. А. А. Семенова. Ташкент, 1950.
29. Al-Biruni. Commemoration volume. Calcutta, 1951.
30. Бируни и гуманитарные науки. Научная сессия АН УзССР, посвященная 998-й годовщине со дня рождения Бируни. Ташкент, 1972.
30а. Беруни. К 1000-летию со дня рождения. Под ред. А. К. Арендса. Ташкент, 1973.

в) Средневековые источники

31. Yaqut. The Irshad al-arib ila ma'rifat al-adib or Dictionary of Learned Men, ed. by D. S. Margoliouth, v. 1—7. Leiden—London, 1907—1927.
32. Абу-л-Фадл ал-Байхаки. История Мас'уда (1030—1041). Перевод А. К. Арендса, 2-е изд. М., 1969.

г) Важнейшие исследования

33. И. Ю. Крачковский. Ал-Бируни и восточные географы XI в.— В кн.: Арабская географическая литература. Избр. соч., т. 4. М.—Л., 1957, стр. 244—271.
34. Х. У. Садыков. Бируни и его работы по астрономии и математической географии. М., 1963.
35. Б. А. Розенфельд, С. А. Красновa и М. М. Рожанская. О математических работах Абу-р-Райхана ал-Бируни.— «Из истории науки и техники в странах Востока», 1963, вып. 3, стр. 71—167.
36. П. Г. Булгаков. Жизнь и труды Беруни. Ташкент, 1972.
36а. А. Шарипов. Великий мыслитель Беруни. Ташкент, 1972.
37. H. Suter, E. Wiedemann. Über al-Biruni und seine Schriften. Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, LX, Sitzungsberichte der phys.-med. Sozietät in Erlangen, 1920—1921, Bd. 52/53, S. 55—96.
38. C. Schoy. Die trigonometrische Lehren des persischen Astronomen Abu'l-Raihân Muhammed iba Ahmed al-Biruni dargestellt nach al-Qanun al-Mas'udi. Hannover, 1927.
39. E. Wiedemann. Einleitungen zu arabischen astronomischen Werken. Das Weltall, 1919, Bd. 20, № 314, S. 21—26.
40. E. Wiedemann, J. Frank. Vorrichtungen zur Teilung von Kreisen und Geraden usw. nach Biruni. Zeitschrift für Instrumentenkunde. 1921, Bd. 41, № 8, S. 225—236.
41. E. Wiedemann, J. Frank, Allgemeine Betrachtungen von al-Biruni in einem Werk über die Astrolabien. Beiträge zur Geschichte der Näturwissenschaften, LXI. Sitzungsberichte der phys.-med. Sozietät in Erlangen, Bd. 52/53, 1920—1921 (1922), S. 97—121.
42. E. Wiedemann. Konstruktion von Kegelschnitten. Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht, 1919, Bd. 50, S. 179.
43. E. Wiedemann. Über geometrische Instrumenten bei dem muslimischen Völker II. Zeitschrift für Vermessungswesen. 1910, Bd. 39, № 23, S. 619—620.
44. E. Wiedemann. Ein Instrument das die Bewegung von Sonne und Mond dargestellt nach al Biruni. Der Islam. 1913, Bd. 4. S. 5—12.
45. D. J. Boilot. L'oeuvre d'al-Beruni. Essai bibliographique, Melanges de l'Institut Dominicain d'études orientales de Caire, v. 2, 1955, p. 161—256; Bibliographie d'al-Beruni. Corrigenda et addenda, ibid., v. 3, 1956, p. 391—396.
46. E. S. Kennedy. Al-Biruni (al-Beruni). Dictionary of Scientific Bibliography, v. 3. N. Y. 1971, p. 141—158.

Даты жизни и деятельности Бируни

4 сентября 973 г.— родился в столице Хорезма Кяте или в одном из его предместий.

980-е гг.— изучает астрономию и математику под руководством Ибн Ирака.

Март 990 г.— наблюдает высоту Солнца в день весеннего равноденствия — первое из достоверно известных астрономических наблюдений Бируни.

994 г.— определяет с большой точностью угол наклона эклиптики к небесному экватору.

ок. 995 г.— пишет «Трактат о проектировании созвездий и изображении стран на плоскости» («Картография»).

— пишет «Исчерпание всех возможных способов в построении астролябий» («Астролябии»).

995 г.— строит земной глобус.

— захват Кята эмиром Ургенча Ма'муном и бегство Бируни в Рей.

995—997 гг.— встреча с Ходженди в Рее.

997 г.— возвращение в Кят. Совместное наблюдение Бируни в Кяте и Абу-л-Вафой в Багдаде лунного затмения.

997—998 гг.— философская переписка с Ибн Синой.

Конец 998 — начало 999 г.—переезд в Гурган ко двору Кабуса ибн Вушмагира.

ок. 1000 г.— завершает «Памятники минувших поколений» («Хронология»).

— пишет «Ключи науки астрономии о том, что происходит на поверхности сферы» («Сферика»).

конец 1003 — начало 1004 г.— переезжает в новую столицу Хорезма Ургенч ко двору хорезмшаха Али ибн Ма'муна.

1005 г.— встреча с Ибн Синой в Ургенче.

1010—1017 гг.— является советником хорезмшаха Ма'муна ибн Ма'муна.

1017 г.— захват Хорезма Махмудом Газнийским. Переезд Бируни в Газну.

Между 1022 и 1024 г.— поездка в Индию. Измерение радиуса земного шара близ крепости Нандна.

Сентябрь 1025 г.— заканчивает «Определение границ мест для уточнения расстояний между населенными пунктами» («Геодезия»).

Между 1025 и 1030 г.— пишет «Выделение сказанного по вопросу о тенях» («Гномоника»).

Август 1027 г.— заканчивает «Трактат об определении хорд в круге при помощи свойств ломаной линии, вписанной в него» («Хорды»).

1029 г.— заканчивает «Книгу вразумления начаткам науки звезд» («Наука звезд»).

1030 г.— заканчивает «Книгу, содержащую разъяснение принадлежащих индийцам учений, приемлемых разумом или отвергаемых» («Индия»).

После 1030 г.— пишет «Блеск зиджей» — обработку «Каранатилаки» индийского астронома Виджаянандина — и «Книгу об индийских рашиках».

Около 1031 г.— вновь посещает Хорезм.

Сентябрь 1036 г.— заканчивает «Библиографию сочинений Мухаммеда ибн Закарии Рази», содержащую список трудов самого Бируни.

Около 1037 г.— заканчивает свой главный труд «Канон Мас'уда по астрономии и звездам» («Канон Мас'уда»).

Около 1048 г.— заканчивает «Собрание сведений для познания драгоценностей» («Минералогия»).

1048 г.— пишет «Книгу о медицинских лекарствах» («Фармакогнозия»).

11 декабря 1048 г. — умер в Газне.

Указатель имен

Оглавление