

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

УДК 528.3 (09)

DOI: 10.22389/0016-7126-2018-932-2-00-00

Тысяча лет со времени построения первой астрономо-геодезической сети

© Масликов С. Ю., 2018

Детско-юношеский центр «Планетарий»

630114, Россия, г. Новосибирск, ул. Ключ-Камышенское плато, д. 1/1

s.maslikov@mail.ru

Трактат «Геодезия», написанный выдающимся учёным-энциклопедистом средневекового Востока Абу Рейханом аль-Бируни в 1018–1025 гг., по сути представляет собой инструкцию с описанием методов астрономического определения широты и долготы населённых пунктов, измерения расстояний между пунктами и уточнения размера земного шара. В этом же трактате Бируни демонстрирует практическое приложение описанных им методов к определению координат конкретных пунктов, расположенных в настоящее время на территории нескольких государств Центральной Азии и Ближнего Востока в виде полигона протяжённостью около 5400 км. Исходным пунктом этой замкнутой сети служил Багдад. На примере города Нишапур, расположенного внутри полигона, Бируни показывает также возможность дальнейшего сгущения сети. Весь полигон, в свою очередь, привязан к египетской Александрии – известному астрономическому центру древности. В трактате приведены понятия и методы, намного опередившие своё время, которые можно рассматривать как прообразы современных инструкций о построении государственной геодезической сети. Практическую часть трактата ранее почти не изучали исследователи. Трактат – важный источник по истории геодезии, особенно в связи с 1000-летним юбилеем со времени его написания.

Астролябия, Багдад, Бируни, Газни, история астрономии, история геодезии, кибла, лунные затмения, фарсах.

Для цитирования: Масликов С. Ю. Тысяча лет со времени построения первой астрономо-геодезической сети // Геодезия и картография. – 2018. – Т. 79. – № 2. – С. 00–00. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-932-2-00-00

Государственная геодезическая сеть (ГГС) России содержит фундаментальную астрономо-геодезическую сеть, пункты которой расположены на расстоянии 650 – 1000 км друг от друга (п. 3.2.2 ГКИНП (ГНТА)-01-006-03). Основные положения о ГГС разрабатывали в нашей стране на протяжении двух веков, начиная с триангуляционной дуги В. Я. Струве (1816 г.)

История сохранила пример построения ФАГС, осуществленного задолго до нашего времени выдающимся учёным-энци-

клопедистом средневекового Востока Абу Рейханом аль-Бируни* (973–1048). Он 1000 лет назад построил замкнутый полигон астрономо-геодезической сети общей протяжённостью 5400 км! Расстояния между отдельными пунктами превосходили 800 км! Материалы этой пионерской работы изложены Бируни в трактате «Определе-

* Современные авторы расходятся в написании имени учёного. На обложках разных томов собрания сочинений (Избранные произведения: в 7 т. Ташкент: Изд-во Акад. наук Узбекской ССР; Фан, 1957 – 1987.) указано то Бируни (т. 1–3), то Беруни (т. 4–7). Такой разницей наблюдается и в зарубежных работах. Мы будем придерживаться первого варианта написания.

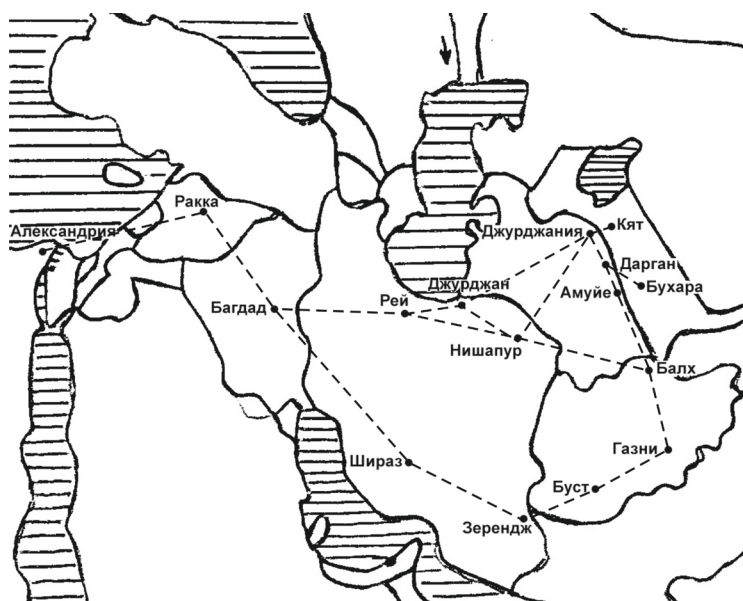


Схема астрономо-геодезической сети, построенной Бируни
 Scheme of the astronomical and geodetic network built by Al-Biruni

ние границ мест для уточнения расстояний между населёнными пунктами», который современные исследователи кратко называют «Геодезия» [1]. Этот труд был написан в течение 1018–1025 гг., так что мы находимся на пороге 1000-летнего юбилея со времени начала работы Бируни над этим трактатом.

Историки астрономии и математики изучали в основном наиболее обширную теоретическую часть трактата, которая представляет своего рода инструкцию о построении ГГС, местами похожую на Инструкцию о построении государственной геодезической сети СССР (М.: Недра, 1966. 343 с.) (далее – Инструкция 1966 г.). Во второй части трактата изложены практические примеры её применения. Эту часть работы рассматривал в своей книге К. Н. Нарходжаев 40 лет назад [3], но требуется современное переосмысление, поскольку в ней содержатся весьма любопытные для всех интересующихся историей геодезии результаты.

Всего Бируни написал свыше 150 трактатов, большей частью по астрономии и математике, из которых до нашего времени дошли 27. Трактат «Геодезия» не самый

известный из них. Сохранилась лишь одна рукопись этой работы, которая находится в Стамбуле в национальной библиотеке Фатиха под № 3386. На русском языке работа издана в 1966 г. советским востоковедом и филологом П. Г. Булгаковым (1927–1993). Перевод сопровождается обширным введением и комментариями [2]. Принятое название «Геодезия» несколько сужает суть трактата. На самом деле Бируни использует астрономические методы определения широты и долготы вместе с наземными измерениями расстояний между городами.

В практической части работы Бируни не привёл схему расположения пунктов сети, не свёл результаты в итоговую таблицу. И хотя он предваряет практическую часть следующими словами: «Что касается городов с известными широтами, которые я сделаю основами... то это – Багдад, Шираз и Сиджистан, затем Рей, Нишапур, Джурджания... и Балх. <...> Я буду соизмерять один из них с другими, пока не станет решение [связанных] с ними [проблем] столь твёрдым, что полностью успокоится душа за их долготы» [1, с. 226], тем не менее читателю, не изучавшему геодезию, сложно разобраться в перечислении практических примеров и связать их в единую картину.

Замкнутый полигон, построенный Бируни, имел протяжённость около 5400 км и состоял из 11 узловых пунктов (рисунок). Расчёты начинаются с исторического города Багдада, долгота которого принята за 70° . Как пишет сам Бируни: «Примем за опорный [пункт] Багдад» [1, с. 225]. Все другие пункты лежат восточнее, а значит, их долготы больше.

Некоторые пункты, использованные Бируни, не сохранились до настоящего времени или были переименованы. Так, остатки

одного из старейших городов Ирана – важного узлового пункта Великого шёлкового пути – Рея находятся в 10 км южнее Тегерана, современной столицы Ирана. Следующий город, который Бируни называет Джурджан (современное название Горган), расположен вблизи юго-восточного побережья Каспийского моря. Похожее название носила бывшая столица Ургенчского эмирата – Джурджания, а в настоящее время небольшой городок Кёнеургенч (Старый Ургенч) в Туркмении. Это самый северный и поворотный пункт полигона.

Селение с необычным названием Б-уш-кан-з, упоминаемое Бируни, лежит близ «главного города Хорезма»*, который Бируни явно не называет. Но понятно, что речь идёт о его родном городе Кят, в наши дни названном в честь героя статьи. Кят находился немного в стороне от основного полигона, но Бируни использовал свои наблюдения, сделанные в Кяте**, для контроля координат ближайшего города сети – Джурджании.

Далее на пути к Балху лежат два малозначительных ныне пункта – Дорган (современное название Бирата) и Амуйе (Туркменабад). Балх – один из древнейших городов, население которого в прежние века достигало 1 млн человек. В настоящее время это небольшой провинциальный городок на севере Афганистана.

В Газни*** (Афганистан), самом восточном пункте полигона, Бируни оказался в 1017 г. не по своей воле, здесь он провёл остаток жизни и написал изучаемый нами трактат.

Города Буст, находившегося в южной части полигона, в настоящее время не существует, но в нескольких километрах от него стоит Лашкаргах (Афганистан). Не сохранился и Зерендж – «главный город Сиджистана», но вблизи его развалин отстроен достаточно крупный город Захедан (Иран).

* Хорезм – древний регион Средней Азии, столицей которого с конца III в. был Кят, а с конца X в. – Ургенч.

** Кят в 1017 г. был захвачен султаном Махмудом Газневи и ко времени написания трактата утратил статус столичного города.

*** Город Газни был столицей Газневидского государства, существовавшего в 977–1186 гг.

Рассмотрим, какие методы использовал Бируни для определения координат. Прежде всего это вычисление широты пунктов путём измерения высоты звёзд и Солнца, выполненного как в меридиане, так и на двух произвольных значениях высоты. Высоту незаходящих звёзд могли измерять в моменты верхней и нижней кульминации [1, с. 108], что фактически сводило к минимуму ошибки координат самих звёзд. Кстати, Инструкция 1966 г. (§ 196) в качестве одного из способов астрономических определений рекомендует измерение зенитных расстояний северных и южных звёзд, находящихся вблизи меридиана. По сути это близкие методы.

Самостоятельные наблюдения Бируни выполнил только в двух пунктах этого обширного полигона – в городах Кят и Газни. Для остальных пунктов он собрал наблюдения других учёных. При этом Бируни анализировал их качество, говоря современным языком, придавал больший вес самым надёжным из них.

Инструментами для измерения высоты звёзд (или Солнца) служили как широко распространённые в то время астролябии и армиллярные сферы, дававшие точность до $0,5^\circ$, так и специально построенные квадранты большого диаметра. Сам Бируни изготовил два квадранта диаметром около 3 и 4,5 м. При правильном их использовании точность измерения могла быть в пределах нескольких угловых минут.

Сравнение координат, полученных Бируни, с современными данными представлено в табл. 1.

Для получения долготы пунктов Бируни использовал два метода, не отличающихся высокой точностью. Первый – наблюдение лунных затмений одновременно из двух удалённых друг от друга мест. Поскольку лунное затмение видно на обширной территории, моменты его начала и окончания можно зафиксировать из разных пунктов. Разница местного вре-

Таблица 1

Результаты определения координат у Бируни и современные данные

Table 1. Results of Biruni's coordinates determination and recent data

Город	Широта		Долгота относительно Багдада	
	современная	у Бируни	современная	у Бируни
Пункты астрономо-геодезической сети				
Багдад	33°21'	33°25'00"	0°00'	0°00'00"
Рей (близ Тегерана)	35 36	35 34 39	7 02	8 05 20
Джурджан (Горган)	36 50	38 08 33	10 04	10 14 01
Джурджания (Кёнеургенч)	42 19	42 17	14 44	14 00 54
Дарган (Бирага)	40 29	40 30 17	17 45	16 23 56
Амуые (Туркменабад)	39 06	39 11 54	19 09	17 45 24
Балх	36 45	36 41 36	22 29	20 19 48
Газни	33 33	33 35	24 00	24 22 24
Буст (Лашкаргах)	31 35	32 15	19 57	21 38
Зерендж (Захедан)	29 29	30 52	16 27	19 00
Шираз	29 36	29 36	8 06	8 33 32
Вспомогательные пункты				
Б-у-ш-кан-з (Кят)	41 41	41 36	16 20	15 00 00
Бухара	39 46	39 10 15	20 01	17 14 47
Нишапур	36 12	–	14 23	16 26 28 14 45 57 15 57 52 14 46 44 15 00
Ракка	35 57	36 01	–5 24	–6 29 43
Александрия	31 12	30 58	–14 30	–18 45 05

Примечания:

1. Современная долгота Багдада от Гринвичского меридиана 44°25'. Бируни использовал значение 70°00' – долготу от «берега Моря Магриба», т. е. от самой западной точки африканского материка.
2. Современные координаты городов приведены по данным сервиса Wikipedia.

мени в этих пунктах и даёт разность их долгот. Этот метод довольно несовершенен из-за весьма приблизительной фиксации момента вступления тени Земли на поверхность Луны. Во-первых, по причине того, что край тени во время контакта не имеет чёткой границы, а во-вторых – отсутствия точных часов. Время контакта определяли по наблюдениям звёзд либо с помощью водяных или песочных часов. Тем не менее с помощью этого метода можно исключить накопление больших ошибок по долготе в длинном полигоне и гарантировать, что они не превзойдут нескольких угловых градусов. Бируни приводит в пример затмение 997 г., кото-

рое он сам, тогда еще молодой учёный, наблюдал в Хорезме, а известный математик и астроном Абу-ль-Вафа ал-Бузджани (940–998) – в Багдаде. В результате была получена разность долгот Багдада и Хорезма, равная «одному прямому часу», т.е. 15° (точное значение 16°13').

Второй метод основан на измерении линейных расстояний. Если известны широты двух городов и расстояние между ними, то по этим данным можно вычислить разность долгот. Единственно доступный во времена Бируни способ измерить расстояние – «по времени движения». Такие данные собирали арабские путешественники в так называемых дорожных книгах [4].

Единицей измерения расстояния в то время был фарсах. По разным источникам длина фарсаха варьируется в довольно широких пределах – от 5 до 9 км, и это главный источник неопределенности расстояний. Длины дистанций из дорожных книг необходимо было привести к прямой линии, т. е. к кратчайшему расстоянию. Бируни учитывал коэффициент изломанности (по терминологии Инструкции 1966 г., § 35), или извилистости (по терминологии самого Бируни), пути между той или иной парой городов и вводил поправку в измеренное расстояние [1, с. 225]. Как правило, она составляла $1/6$ дистанции, иногда $1/10$, изредка, когда дорога признавалась почти прямой, $1/15$.

С помощью калькулятора расстояний (URL: <https://ru.distance.to>) можно проверить, насколько корректно Бируни вводил поправки. Данный интернет-сервис позволяет получить два расстояния между пунктами: по кратчайшей (геодезической) линии и вдоль существующих дорог (табл. 2). При этом будем считать, что современные дороги незначительно отклоняются от древних караванных путей. То, что это действительно так, показал недавний статистический анализ 69 древних расстояний [5].

Среднее значение коэффициента изломанности пути, вычисленного по современным данным, 0,74. Это значит, что реальная поправка в расстояния должна уменьшать измеренные расстояния на 0,26, или на $1/4$. У Бируни коэффициент извилистости 0,86, он уменьшает расстояния в среднем на 0,14, т. е. на $1/7$. Это меньше, чем необходимо, поэтому приводит к систематическому увеличению расстояний и, соответственно, долготы.

Пользуясь данными табл. 2, можно получить еще один интересный результат. Периметр полигона, вычисленный путём суммирования расстояний (по дорогам), перечисляемых Бируни, составляет 1058 фарсахов. По современным данным 7371 км. Получается, что один так называемый боль-

шой фарсах у Бируни в среднем равен 7 км*.

Результатом многолетней работы Бируни стала астрономо-геодезическая сеть, построенная в виде замкнутого полигона протяжённостью 5394 км. В заключительной части своего трактата Бируни осуществляет привязку полигона к Александрии, известному центру астрономических исследований. Для этого он по той же методике анализирует расстояния между Багдадом, сирийской Раккой и египетской Александрией. На этом длинном и извилистом пути он применяет свой обычный коэффициент извилистости, равный $1/6$. В результате расстояние между городами получилось существенно завышенным, а ошибка в разности долгот Багдада и Александрии превысила 4° . Но результат близок к результату его предшественника, известного астронома ал-Баттани (858–929), так что Бируни ошибочно заключает: «Теперь сердце полностью спокойно за [величины, указанные] в зидже ал-Баттани» [1, с. 265].

Смысл создания своего протяжённого полигона Бируни демонстрирует на примере определения координат города, лежащего внутри сети. Для этого он выбрал крупный город Нишапур и связал его с ближайшими ранее определёнными пунктами: Реем, Джурджаном, Джурджанией, Балхом (см. рисунок). Из нескольких полученных значений долготы Нишапура (см. табл. 1) Бируни выводит весьма странное среднее значение (выделено).

И самому Бируни, и нам, живущим на 1000 лет позднее, понятна основная цель его работы. Однако современникам великого учёного и его заказчикам необходимость развития такой астрономо-геодезической сети объяснить было проблематично. Работа могла остаться чисто теоретической и мало кому интересной. Поэтому Бируни переводит результаты своего труда в практическую плоскость. Дело в том, что направ-

* Еще одно значение длины фарсаха – $(7,50 \pm 0,35)$ км – получено автором при исследовании астролябии, хранящейся в Эрмитаже [5, с. 5].

Таблица 2

Расстояния между городами
Table 2. Distances between cities

Город	Современные данные			Данные Бируни		
	По дороге, км	По прямой, км	Коэффициент изломанности	По дороге, фарсах	По прямой с поправкой Бируни, фарсах	Коэффициент извилистости
Багдад	878	696	0,79	158	132	0,83
Рей (близ Тегерана)	1611	1030	0,64	185	154	0,83
Джурджания (Кёнеургенч)	971	759	0,78	150	140	0,93
Балх	584	382	0,65	80	64	0,80
Газни	1063	845	0,79	120	100	0,83
Зерендж (Захедан)	1064	807	0,76	195	168	0,86
Шираз	1200	875	0,73	170	153	0,90
Багдад						

ление на священную Мекку, называемое киблой, – важнейшее в исламе. В сторону этого города пять раз в день мусульмане обращаются для вознесения молитвы. Так как координаты самой Мекки достаточно хорошо известны, то для вычисления азимута направления на Мекку требовались лишь точные координаты того пункта, в котором определяли киблу. Такие расчеты и приводит Бируни в заключительной части книги после краткого обоснования: «Хотя данное место [книги] и могло бы стать для того, чем мы занимаемся, пределом, где [автор], старающийся принести пользу, мог бы остановиться, но мы должны пройти через этот [рубеж] к итоговому результату, охватывающему, в целом или частично, [интересы] жителей той местности, для которой мы составили сей труд в уточнение её долготы и широты. Пусть будет этим итогом, всеобщим по своей полезности, определение азимута киблы» [1, с. 248].

Знакомство с работой великого учёно-го-энциклопедиста средневекового Восто-

ка Абу Рейхана аль-Бируни показывает, что истоки некоторых современных геодезических понятий и методов лежат в глубокой древности. Бируни намного опередил своё время. И хотя его идеи не получили развития в последующие века, тем не менее именно ему принадлежит приоритет в построении замкнутых полигональных астрономо-геодезических сетей и в применении некоторых связанных с этим методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бируни Абу Рейхан. Геодезия (Определение границ мест для уточнения расстояний между населёнными пунктами) / Исслед., пер. и примеч. П. Г. Булгакова // Избранные произведения. – Т. III. – Ташкент: Фан, 1966. – 364 с. – URL: http://www.astro-cabinet.ru/library/Biruni/Geodezia/Geodezia_Ogl.htm (дата обращения: 30.10.2017).
2. Булгаков П. Г. «Геодезия» Бируни как историко-астрономический памятник // Историко-астрономические исследования. – Вып. XI / Отв. ред. П. Г. Куликовский. – М.: Наука, 1972. – С. 181–190.
3. Нарходжаев К. Н. Геодезические работы Бируни. – Ташкент: Узбекистан, 1977. – 112 с.
4. Петровский Н. Ф. Древние арабские дорожники по среднеазиатским местностям, входящим в настоящее время в состав русских владений. – Ташкент: тип.-лит. торговый дом «Ф. и Г. бр. Каменские», 1894. – 60 с.
5. Maslikov S. Yu. (2017) Large wooden astrolabe from the State Hermitage Museum. Bulletin of the Scientific Instrument Society, 133 (June), pp. 2–12.

A thousand years since the first astronomical-geodetic network was constructed

Maslikov S. Yu.

Children and Youth Center “Planetarium”
630114, Russia, Novosibirsk, Kluch-Kamyshejskoje plato st., 1/1
s.maslikov@mail.ru

The «Geodesy» tractate written by prominent encyclopedic scientist Abu Rayhan Muḥammad ibn Ahmad Al-Biruni in 1018–1025, is in fact the instruction on the instruments and methodology of astronomical determinations of latitudes and longitudes of cities, measurements of distances between cities and specifying the Earth size. In the same tractate al-Biruni demonstrates the practical appliance of the described methodology to the determination of coordinates of certain localities situated now at the territories of several Middle-East and Central Asia states. For that purpose, the geodetic polygon of around 5400 km in perimeter was devised by al-Biruni with Bagdad as its starting point. Using the Nishapur city lying inside the polygon as the example, al-Biruni shows the possibility of further thickening of the geodetic network. The polygon in whole is bound to the point of Alexandria in Egypt being well-known astronomical center of the antiquity. Described in the tractate are several terms and methods that closely correspond to the modern instructions for devising the state geodetic network. The practical part of the tractate has never been investigated by the researches, and the tractate as a whole is the important source for the history of geodesy, especially in connection with the millennium jubilee of its creation.

Astrolabe, Bagdad, Biruni, farsakh, Ghazni, history of astronomy, history of geodesy, lunar eclipses, qibla

For citations: Maslikov S. Yu. (2018) Tysjacha let so vremeni postroenija pervoj astronomo-geodezicheskoj seti [A thousand years since the first astronomical-geodetic network was constructed]. Geodesy and Cartography = Geodezija i kartografija, 79, 2, pp. 00–00 (In Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2018-932-2-00-00

REFERENCES

1. *Abu Rayhan Al-Biruni*. Geodezija (Opredelenie granic mest dlja utochnenija rasstojanij mezhdru naselennymi punktami) / Issledovanija, perevod i primechanija P. G. Bulgakova. Izbrannye proizvedenija. Tom III. Tashkent: Fan, 1966, 364 p. (In Russian).

2. *Bulgakov P. G.* «Geodezija» Biruni kak istoriko-astronomicheskij pamjatnik. Istoriko-astronomicheskie issledovanija. Vypusk XI / Otvetstvennyj redaktor P. G. Kulikovskij. Moskva: Nauka, 1972, pp. 181–190 (In Russian).

3. *Narkhodjaev K. N.* Geodezicheskie raboty Beruni. Tashkent: Uzbekistan, 1977, 112 p. (In Russian).

4. *Petrovskij N. F.* Drevnie arabskie dorozhniki po sredneaziatskim mestnostjam, vhodjashhim v nastojashhee vremja v sostav russkih vladenij. – Tashkent: tipografoliteraturnyj torgovyj dom «F. i G. br. Kamenskie», 1894, 60 p. (In Russian).

5. *Maslikov S. Yu.* (2017) Large wooden astrolabe from the State Hermitage Museum. Bulletin of the Scientific Instrument Society, 133 (June), pp. 2–12.