



Определение астрономической ориентировки археологических памятников по часовому углу Солнца на примере петроглифа со спиральями (Горный Алтай)

Е.Г. Гиенко

Сибирский университет геосистем и технологий, Новосибирск, Российская Федерация;

E-mail: elenagienko@yandex.ru

Аннотация

В статье обосновывается необходимая точность определения астрономической ориентировки археологических памятников, в соответствии с разрешающей способностью невооруженного человеческого глаза (1-2 минуты в градусной мере). Описана методика определения ориентировки наскальных рисунков и скальных плоскостей по часовому углу Солнца. По данной методике определена ориентировка оси симметрии компактного (размером около 10 см) петроглифа со спиральями (Горный Алтай). Показаны как высокая точность нанесения оси симметрии рисунка в направлении меридиана - 8.5 минут в градусной мере (относительная погрешность $2 \cdot 10^{-3}$), так и важность данного направления при обустройстве пространства культовых объектов в древности. Предлагается использовать рассмотренную методику для ориентирования по азимуту скальных плоскостей и отдельных рисунков, когда традиционные методы определения ориентировки не могут дать необходимую точность. Применение ГНСС-навигаторов с точными часами, фотофиксация теневой картины с выводом момента фотографирования, использование астрономических программ обеспечивают точное, и вместе с тем простое в исполнении определение азимута, даже в камеральных условиях по фотографии, что дает дополнительную ценную информацию для исследователей. Статья посвящается Евгению Палладиевичу Маточкину – неумолимому исследователю алтайских петроглифов, первооткрывателю рисунка.

Ключевые слова: астрономический азимут, часовой угол Солнца, уравнение времени, ориентация петроглифов, Горный Алтай.

Введение

Определение астрономической ориентировки археологических памятников – одна из важных задач, возникающая при исследовании организации пространства культовых комплексов, и ключевой процесс при астроархеологических исследованиях. Основные астрономические направления связаны направлением меридиана (север-юг), первого вертикала (запад-восток), а также с восходами Солнца и Луны в характерном положении в дни солнцестояний и равноденствий (Потемкина, Юревич, 1998; Хокинс, 1977).

В "Положении о порядке проведения полевых археологических работ" (Положение..., 2013) предписывается обязательное определение ориентировки археологических памятников по сторонам света, однако не оговариваются ни точность, ни методы выполнения этого вида работ. Как правило, точность ориентировки по астрономическому азимуту порядка 1 градуса считается достаточной, даже при исследовании культовых мегалитических памятников (Марсадалов, Паранина, 2012).

В статье (Тетерин, Синянская, 2015) отмечается высокая точность геодезических измерений при строительстве и землеустроительных работах в древности, времени Древнего Египта: для углов до 0.3° , для линейных промеров (в относительной мере) – до 10^{-2} . С еще более высокой точностью, до единиц минут в градусной мере, отмечено положение меридиана (направление север-юг) на многих древних (до н.э.) построениях культового характера (Ларичев, 2009; Тишкин и др., 2011; Гиенко и др., 2011; Larichev et al., 2015). Подобная точность отмечена и для других выявляемых на археологических памятниках астрономических направлений (восходов и заходов Солнца и Луны в характерные дни года) (Ларичев, 2009).

При современных исследованиях астроархеологических объектов и культовых памятников необходимы такие же и более точные измерения и, в том числе, ориентирование относительно сторон света. Древние люди при строительстве культовых комплексов руководствовались непосредственными наблюдениями за положением Солнца или Луны, и делали это, можно предположить, с точностью, соответствующей разрешающей способности невооруженного человеческого глаза (около 1 угловой минуты (Куликовский, 1971, с. 274)). Современным астроархеологам приходится решать обратную задачу, воссоздавая картину обустройства культовых мест, на этот раз прибегая к сложному математическому аппарату для вычислений положений светил, и точность определения ориентировки археологических памятников не должна уступать точности древних культовых построений. Требования к геодезическим и астрономическим измерениям на астроархеологических памятниках обосновываются в статье (Гиенко, Айткулова, 2012).

Азимут начального направления, относительно которого определяется ориентировка основного памятника и его элементов по сторонам света, можно определить несколькими способами: с помощью передачи азимута от известного направления между геодезическими пунктами, по компасу с учетом склонения магнитной стрелки, по звездам или Солнцу, с помощью Глобальных Навигационных Спутниковых Систем – ГНСС-навигаторов или высокоточной спутниковой аппаратуры и, наконец, по открытым космическим снимкам (Google maps) (Гиенко, 2012).

Однако для скальных плоскостей с петроглифами, а также отдельных рисунков, точное определение астрономической ориентировки (доли градуса) вышеуказанными способами практически невозможно. Определение азимута по ГНСС-измерениям или астрономическими методами требует разбивки створа, что трудоемко и затруднено из-за неровностей поверхностей, а для компактных рисунков вообще бесполезно. Использование компаса дает только приближенное направление, а на космических снимках компактные объекты не видны.

Для определения ориентировки отдельных плоскостей, стел, компактных рисунков предлагается использовать светотеневую картину с фиксацией времени, иначе говоря, определять азимут направления по часовому углу Солнца.

Теория метода

Вычисление азимута направления тени A в заданный момент времени по часовому углу Солнца выполняется по формуле (Абалакин и др., 1996, с.216):

$$\operatorname{ctg} A = \sin \phi / \operatorname{tg} t - \cos \phi \cdot \operatorname{tg} \delta / \sin t, \quad (1)$$

где ϕ – широта места наблюдения,

δ – склонение Солнца, зависящее от даты наблюдения,

t – часовой угол Солнца.

Несмотря на то, что в формуле 1 (Абалакин и др., 1996, с. 216) рассчитывается астрономический азимут, отсчитываемый от точки юга, а для астроархеологических/археоастрономических исследований традиционно используется геодезический азимут, отсчитываемый от точки севера, формула для археоастрономических расчетов азимута направления тени полностью совпадет с формулой для астрономических расчетов, т.к. направление тени противоположно направлению на небесный объект (в данном случае на Солнце).

Часовой угол Солнца вычисляется по данным фиксации момента времени, как

$$t = \text{UTC} + \lambda + \eta + 12^{\text{h}}, \quad (2)$$

$$\text{UTC} = T_n - n = T_{\text{мск}} - 3,$$

где долгота λ выражена в часах (1 час равен 15 градусам),

UTC – всемирное координированное время (на гринвичском меридиане),

T_n – местное время часовой зоны, по которому идут часы в России (в астрономических программах обозначается local time),

n – разница с гринвичским временем,

$T_{\text{мск}}$ – московское время.

η – уравнение времени, вычисленное как разность между истинным m_{\bullet} и средним экваториальным m солнечным временем (Гиенко, Канушин, 2006, с. 23):

$$\eta = m_{\bullet} - m$$

В астрономическом ежегоднике, выпускаемом Институтом прикладной астрономии РАН, с высокой точностью приводится величина $E = \eta + 12^{\text{h}}$ на момент гринвичской полуночи в заданную дату (Астрономический ежегодник, 2013, с. 6-29).

В момент наблюдения необходимо вводить поправку часов, определенную по сигналам точного времени. Если в качестве часов используется ГНСС-навигатор или современный смартфон, то при условии приема спутниковых сигналов часы данных устройств очень точно (доли секунды) синхронизируются со Всемирным координированным временем.

Описанным способом, по формулам (1) и (2), была определена ориентировка Окуневской стелы, менгира в меридиане, расположенных в местности "Сундуки" в северной Хакасии (Гиенко, 2012).

Использование астрономических программ (планетариев) облегчает вычисление азимута Солнца. При установке в программе географических координат, даты и времени наблюдения Солнца, разницы с гринвичским временем, азимут Солнца, снятый с карты звездного неба на заданный момент, даст необходимое направление. Так, с

использованием программы StarCalc¹ (Уваров, 2009, с. 301) можно получить азимут с точностью до 0.1 градуса.

Другой вариант применения метода заключается в определении северного направления по моменту кульминации Солнца – истинного полдня. Часовой угол Солнца в истинный полдень равен нулю, а тень от освещенных Солнцем предметов самая короткая и указывает на Север. Следует отметить, что момент истинного полдня меняется в течение года, отклоняясь от среднего значения от +14 минут до (– 16) минут.

Местное время часовой зоны T_n в истинный полдень равно:

$$T_n = n - \lambda - E.$$

В астрономических программах – планетариях момент кульминации Солнца в заданном месте на заданную дату указывается в контекстной справке. В программе Starcalc момент кульминации Солнца предоставляется с точностью 1 минута времени, что соответствует 15' – минутам в градусной мере. Для достижения требуемой точности в 1' для определения направления меридиана необходимо фиксировать момент времени не хуже 4 секунд.

Таким образом, по измерению времени и теневой картине можно определять расположение плоскостей с рисунками (фиксация момента, когда плоскость скрывается в тени), или отдельных рисунков.

Определение ориентировки петроглифа со спиральями

Рассмотрим результаты определения предлагаемым способом астрономической ориентировки петроглифа с двумя спиральями (Горный Алтай). Рисунки были обнаружены летом 2012 г известным исследователем и первооткрывателем многих алтайских петроглифов, доктором искусствоведения Евгением Палладиевичем Маточкиным.

Петроглифы находятся на правом берегу реки Чуя, недалеко от слияния рек Чуя и Катунь, на территории туристско-гостиничного комплекса "Чуя-Оозы", в нескольких сотнях метров к востоку от писаницы Калбак-Таш II (Кубарев, Маточкин, 1992, с. 49).

Координаты памятника, определенные GPS-навигатором в системе WGS-84:

$$50^{\circ} 24' 14.7'' \text{ с.ш.}; 86^{\circ} 41' 26.0'' \text{ в.д.}$$

На небольшом рассматриваемом участке множество петроглифов, разного времени и разного содержания (рис. 1). Среди всех рисунков выделяется один петроглиф с двумя симметричными спиральями (рис. 2), который особенно интересовал Е.П. Маточкина. Рисунки расположены на горизонтальной полочке компактного скального выхода на покрытом травой склоне. Полочка открыта с юга, с остальных сторон окружена вертикальными стенками. Возможно, скальный грунт был выбран специально для нанесения рисунков.

Общий вид скального выхода и его габариты показаны на рисунках 3 и 4. Интересный факт, опробованный автором статьи: на площадке удобно лежать (даже есть небольшая каменная подушка!) и смотреть в небо, в южную сторону.

¹ <http://homes.relex.ru/~zalex/main1251.htm>

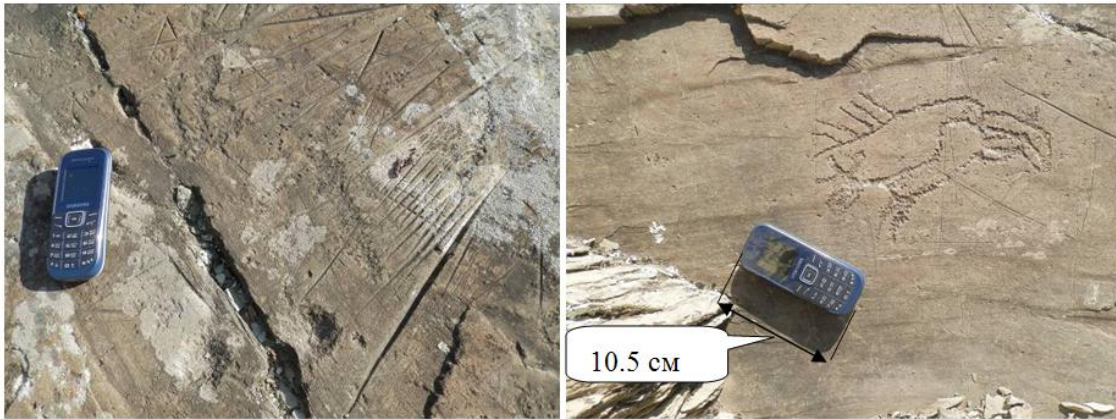


Рисунок 1. Петроглифы на горизонтальной полочке скального выхода



Рисунок 2. Рисунок со спиралями. Копия рисунка по фотографии выполнена С.А. Паршиковым



Рисунок 3. Общий вид скального выхода с петроглифами. Азимут начального направления и горизонтная съёмка выполнялись с места установки штатива.

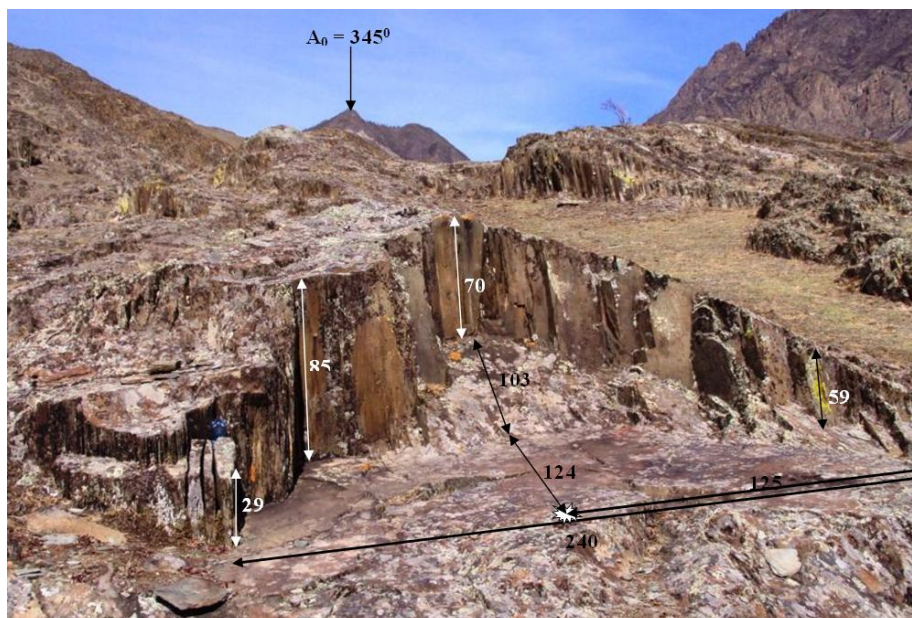


Рисунок 4. Скальная полочка с петроглифами. Габариты подписаны в см.



– рисунок со спиральями. A_0 – азимут начального направления, определенный по измеренному зенитному расстоянию Солнца, от подножия скального выхода.

Вниз к юго-востоку, в 15 м от подножия скального выхода расположена выровненная площадка (рис.5).

От подножия объекта был определен астрономический азимут по измеренному зенитному расстоянию Солнца с точностью 5 угловых минут и выполнена горизонтная съемка для определения основных астрономических направлений (дата измерений 06.04.2013 г.). Основные астрономические направления, при наблюдении от подножия, пересекают дальний изрезанный хребтами горизонт; соответствующие отметки поблизости от памятника не обнаружены. Характерная особенность данного расположения, как, впрочем, и всей долины реки Чуя на данном участке – открытый горизонт в восточном направлении. В дни равноденствий Солнце восходит над снежниками дальних гор, освещая "коридор" долины реки Чуя, в том числе, и названный скальный выход с рисунками.

Измерение высоты горизонта и линейные промеры внутри скального выхода, кроме общего описания и поиска астрономически значимых направлений, выполнялись с целью моделирования теневой картины от боковых каменных стенок. Лазерное сканирование объекта в комплексе с угломерной съемкой дальнего горизонта позволило бы точнее смоделировать освещенность рисунков в течение года. По предварительным данным, тень от боковых стенок при восходе Солнца могла попадать на рисунки и пересекать их в равноденствия и летнее солнцестояние.

Восход и заход зимнего Солнца приходятся на открытую с юга часть памятника (рис.5), и рисунки освещены Солнцем весь световой день.

Лучше и надежнее всего было бы провести натурные наблюдения изменения теневой картины в характерные дни года.



Рисунок 5. Вид на юго-восток с точки установки инструмента. ЗС – направление восхода зимнего Солнца. Пунктиром отмечена выровненная площадка.

В нашей работе была определена ориентировка рисунка с симметричными спиралями по часовому углу Солнца. Ось симметрии рисунка не совпадает ни с осью симметрии площадки, ни с направлением ее уклона. Было зафиксировано время, когда тень от предмета (в данном случае, ГНСС-навигатора) параллельна оси симметрии рисунка. В принципе, для фиксации теневой картины можно брать любой удобный предмет. Как видно на рис. 6, навигатор освещается только со стороны своего торца, при этом на его экране отображен соответствующий момент времени. Момент характерной освещенности предмета Солнцем можно зафиксировать с высокой точностью – не хуже 10 секунд времени.

По предварительным расчетам в программе StarCalc, с точностью до минуты, момент истинного полдня для указанных координат и даты 06 апреля 2013 года равен 13 часов 16 минут. Если выполнить более точные вычисления, до секунд, то момент кульминации Солнца приходится на 13 часов 15 минут и 43 секунды ($E = 11$ часов 57 минут 31 секунда из астрономического ежегодника, $\lambda = 5$ часов 46 минут 46 сек, разница с гринвичским временем 7 часов).

Показания часов навигатора – 13 часов 16 минут 17 секунд (рис.6). Разница с моментом истинного полдня – 34 секунды, что соответствует 8.5 минут в градусной мере. Это очень высокая точность, учитывая малые габариты рисунка (около 10 см). Относительная погрешность нанесения рисунка в меридиане для данных значений – $2 \cdot 10^{-3}$, что соответствует отклонению на 0.2 мм при расстоянии 10 см! Такой точности нанесения рисунка можно достигнуть непосредственно по теневой картине, например, определив направление меридиана по самой короткой тени от гномона.



Рисунок 6. Определение ориентировки рисунка по освещенности Солнцем 6 апреля 2013 г. Навигатор показывает точное время местной часовой зоны. Момент кульминации Солнца по программе StarCalc – 13 часов 16 минут.

Выводы

Полученные результаты еще раз подтверждают важность и почитаемость направления меридиана для людей в древности. Следует отметить исключительно высокую точность нанесения оси симметрии компактного рисунка в меридиане (8.5 минут в градусной мере, относительная точность $2 \cdot 10^{-3}$). Такая ювелирная работа требует от современных исследователей соответствующего тщательного подхода к изучению археологических памятников.

В работе рассмотрены только предварительные результаты по определению ориентировки петроглифов на Чуя-Оозы. Изучение петроглифов на данном памятнике необходимо продолжить с привлечением специалистов. Для продолжения исследований также желательны натурные наблюдения в равноденствия и летнее солнцестояние для фиксации теневой картины относительно рисунков в моменты восхода Солнца.

Предлагается использовать рассмотренную методику для ориентирования по азимуту скальных плоскостей и отдельных рисунков, когда традиционные методы определения ориентировки не могут дать необходимую точность. Применение ГНСС-навигаторов с точными часами, фотофиксация теневой картины с выводом момента фотографирования, использование астрономических программ обеспечивают точное, и вместе с тем простое в исполнении определение азимута, даже в камеральных условиях по фотографии, что дает дополнительную ценную информацию для исследователей. Так, по данной методике может быть уточнена (до нескольких минут в градусной мере) ориентировка компактных наскальных изображений Онежского озера – уникального археоастрономического комплекса (Потемкина, 2016).

Автор благодарит О.Н. Сидорова за бескорыстную помощь в поездке на памятник.

Литература

- Larichev et al., 2015 – Larichev V.E., Parshikov S.A., Gienko E.G. The Shadow of God and the Zurvan Iconography // *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*. – 2015. – Vol. 3, №2. – P. 1-22.
- Абалакин и др., 1996 – Абалакин В.К., Краснорылов И.И., Плахов Ю.В. Геодезическая астрономия и астрометрия. Справочное пособие. – М.: "Картгеоцентр" – "Геодезиздат", 1996.
- Астрономический .., 2013 – Астрономический ежегодник на 2013 г. – СПб: ИПА РАН, 2012.
- Гиенко и др., 2011 – Гиенко Е.Г., Маточкин Е.П., Маточкин П.Е. Солнце, луна и тени от мегалитов на Тархатинском мегалитическом комплексе // *Гуманитарные науки в Сибири*. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2011. – №3. – С. 15-18.
- Гиенко, 2012 – Гиенко Е.Г. Методы определения ориентировки археологических памятников // *Сборник материалов научно-методической конференции "Методика исследования культовых комплексов"*. – Барнаул: ООО "Пять плюс", 2012. – С. 20-23.
- Гиенко, Айткулова, 2012 – Гиенко Е.Г., Айткулова А.Х. Обоснование точности геодезических и астрономических изысканий при астроархеологических исследованиях // *Вестник СГГА*. – Новосибирск: СГГА, 2012. – Вып. 2 (18). – С.35-42.
- Гиенко, Канушин, 2006 – Гиенко Е.Г., Канушин В.Ф. Геодезическая астрономия: учебное пособие. – Новосибирск: СГГА, 2006.
- Кубарев, Маточкин, 1992 – Кубарев В.Д., Маточкин Е.П. Петроглифы Алтая. – Новосибирск: ИАиЭ СО РАН, 1992.
- Куликовский, 1971 – Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. – М.: Наука, 1971.
- Ларичев, 2009 – Ларичев В.Е. "Сундуки" – великий сакральный центр северной Хакасии (мифологическое, эпосное и естественно-научное в культовых памятниках древних культур юга Сибири, совмещенных с творениями природы) // *Астроархеология – естественно-научный инструмент познания протонаук и астральных религий жречества древних культур Хакасии*. – Красноярск: изд-во "Город", 2009. – С. 73-91.
- Марсадолов, Паранина, 2012 – Марсадолов Л.С., Паранина Г.Н. Методика и методология комплексных исследований древних сакральных мегалитических объектов // *Мировоззрение населения Южной Сибири и центральной Азии в исторической ретроспективе*. – Барнаул, 2012. – С. 166-183.
- Положение .., 2013 – Положение о порядке проведения полевых археологических работ (археологических раскопок и разведок) и составления научной отчетной документации. Утв. постановлением Отделения историко-филологических наук Российской академии наук от 30 января 2013 г. №17.
- Потемкина, 2016 – Потемкина Т.М. Небо на скалах Онежского озера по данным археоастрономии // *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*. – 2016. – Vol. 4, №1. – P. 19-80.
- Потемкина, Юревич, 1998 – Потемкина Т.М., Юревич В.А. Из опыта археоастрономического исследования археологических памятников (методический аспект). – М.: Изд. ИА РАН, 1998.

- Тетерин, Синянская, 2015 – Тетерин Г.Н., Синянская М.Л. Точность геодезических измерений в ретроспективе и перспективе (по историческим эпохам) // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – Вып. 1, Т. 1. – С. 34-39.
- Тишкин и др., 2011 – Тишкин А.А., Гиенко Е.Г., Дружинина Е.В. Астроархеологические исследования на древнем комплексе Кур-кечу-II // Древние и современные культовые места Алтая: сборник статей. – Барнаул: АРТИКА, 2011. – С. 81-90.
- Уваров, 2009 – Уваров С.С. StarCalc // 500 лучших программ для вашего компьютера. – СПб.: Питер, 2009.
- Хокинс, 1977 – Хокинс Дж. Кроме Стоунхенджа. – М.: Мир, 1977.

Determination of astronomical orientation of archaeological sites on the hour angle of the Sun on the example of petroglyph spiral (Mountain Altai)

Gienko E.G.

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk,
e-mail: elenagienko@yandex.ru

Abstract

The required accuracy of the determination of astronomical orientations of archaeological sites, in accordance with a resolution of the unaided human eye (1-2 minutes in degree measure) is substantiated in this article. The method of determining the orientation of rock carvings and rock planes by the hour angle of the Sun is described. The symmetry axis orientation of the compact petroglyph with spirals, size about 10 cm, (Gorny Altai) are determined in accordance with this method. It is shown the high precision of application to the axis of symmetry of the figure in the direction of the Meridian - 8.5 minutes in a degree (relative error of $2 \cdot 10^{-3}$), and also the importance of this direction in the arrangement of the space of places of worship in ancient times.

It is proposed to use the considered methods for orientation in azimuth of the rocky planes and single figures, when traditional methods of determining the orientation cannot provide the required accuracy. The use of GNSS-navigation with precise clock, the photographs of the shadow picture with the timing and the use of astronomical programs provide accurate, yet simple determination of the azimuth, even under office conditions for photography, which gives additional valuable information for researchers.

The article is dedicated to Eugene Palladievich Matochkin is a tireless researcher of Altai petroglyphs, the discoverer of the figure.

Keywords: astronomical azimuth, the hour angle of the Sun, equation of time, the petroglyphs orientation, Altai mountains.