

УДК 902.692:528

УТОЧНЕНИЕ ДАТИРОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АСТРОАРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ПО АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Елена Геннадьевна Гиенко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, e-mail: elenagienko@yandex.ru

В статье рассмотрены дифференциальные формулы геодезической астрономии, применение которых в астроархеологии позволяет практически исключить систематические погрешности определения азимута начального направления и погрешности, вызванные атмосферной рефракцией. Показано, что с использованием этих формул можно оценить погрешность астрономического датирования, уточнить место наблюдателя и/или условия наблюдения, выполнить редуцированные вычисления при невозможности установить геодезический инструмент в точку наблюдения, уточнить астрономическое датирование археологического памятника при известных обстоятельствах наблюдения в современное время, смоделировать для древней эпохи светотеневую картину в астрономически значимые дни года. На примере двух астроархеологических памятников (в Горном Алтае и в Хакасии) продемонстрированы возможности применения этих формул в комплексе с данными геодезических измерений, натурными наблюдениями, цифровой фотографией и астрономическими программами-планетариями. Отмечено, что такой комплексный подход позволяет существенно повысить точность астрономического датирования археологических памятников, а также уточнить детали их функционирования.

Ключевые слова: астроархеология, геодезическая астрономия, датирование археологических памятников, метод датирования Локьера, летнее солнцестояние.

Введение

В настоящее время перспективным направлением в археологии является использование естественно-научных методов – главным образом, биологических и геофизических, основанных на изучении материальных объектов [1]. Астрономические методы, относящиеся к естественнонаучным, пока не находят широкого применения в археологии. Тем не менее, основанные на астрономо-геодезических измерениях методы используются для решения следующих задач в археологии:

- определение связанной с астрономическими направлениями пространственной организации археологических памятников [2–7];
- рассмотрение назначения и особенностей функционирования древних культовых комплексов [2, 7, 8];
- изучение календарных систем и археоастрономических знаний [2, 9];
- астрономическое датирование археологических памятников [10].

В настоящее время значительно упростить и одновременно расширить применение астрономических методов в археологии (в частности, для уточнения датирования и деталей функционирования археологических памятников) позволяет комплексное использование:

- электронных геодезических инструментов для измерений (исключение некоторых инструментальных погрешностей, автоматизация измерений);
- астрономических программ-планетариев (упрощение астрономических расчетов);
- ГНСС-навигаторов (получение географических координат и точного времени);
- цифровых фотоаппаратов с метками времени (фотограмметрия, моделирование светотеневой картины на памятниках, редуцированные вычисления и др.).

Датирование археологических памятников, как правило, осуществляется на основе соотнесения материальных находок к той или иной культуре. Астрономические методы здесь либо не применяются вовсе, либо являются вторичными по отношению к данным археологических раскопок. Это объясняется тем, что астрономическое датирование выполняется в большинстве своем по наблюдениям Солнца и сопровождается большими погрешностями. Однако применение дифференциальных формул сферической астрономии в комплексе с натурными наблюдениями в астрономически значимые дни года позволяет существенно уменьшить систематические ошибки измерений и, следовательно, уточнить результаты астрономического датирования по Солнцу.

В работе предлагается применение дифференциальных формул для уточнения деталей функционирования археологических памятников и датирования по Солнцу; приведены примеры комплексного использования астрономо-геодезических измерений, астрономических программ-планетариев, ГНСС-навигаторов и цифровой фотографии для решения перечисленных задач.

Теория и методы

В основе астрономических расчетов при астроархеологических исследованиях лежит формула сферической астрономии, связывающая склонение светила δ с географической широтой места наблюдения ϕ и горизонтальными координатами (азимутом A и высотой h измеряемого направления) [11, 12]:

$$\sin \delta = \sin h \cdot \sin \phi + \cos h \cdot \cos \phi \cdot \cos A. \quad (1)$$

В формуле (1) азимут A отсчитывается от северного направления.

В измеренную высоту вводятся поправки за рефракцию и суточный параллакс Луны или Солнца, а также за видимый угловой радиус Солнца или Луны, если для расчетов необходим верхний или нижний край светила.

Склонение Солнца в течение года меняется от зимнего солнцестояния к летнему в пределах

$$-\varepsilon_t \leq \delta_{\odot} \leq \varepsilon_t,$$

где ε_t – наклон эклиптики к экватору в эпоху наблюдения t .

Наклон эклиптики экватору ε_t претерпевает долгопериодические колебания вследствие прецессии от планет [11], и на этом явлении основан метод астрономического датирования археологических памятников, предложенный английским астрономом Д. Н. Локьером [13]. Если на археологическом памятнике есть обозначенное направление на восход или заход Солнца в солнцестояние, то значение полученного по формуле (1) склонения Солнца будет равно наклону эклиптики на эпоху наблюдения ε_t , и, соответственно, можно будет выполнить датирование данного памятника.

Значения наклона эклиптики к экватору на разные эпохи, приведены в табл. 1 (по данным [14]). Как видно из таблицы, величина ε_t меняется очень медленно и в небольших пределах, что делает метод датирования Локьера весьма чувствительным к погрешностям входных данных.

Таблица 1

Значения наклона эклиптики к экватору
с 2500 по 1000 г. до н. э. и погрешность датирования

Эпоха, г. до н. э.	ε_t	Погрешность датирования при изменении ε на 1', годы
1000	23°49,1'	±152
1500	23°52,4'	±152
2000	23°55,7'	±161
2500	23°58,8'	

Как видно из табл. 1, метод Локьера обеспечивает погрешность датирования в рассматриваемый интервал времени в среднем ±150 лет при погрешности склонения Солнца в солнцестояние, равной 1'.

В статье [15] отмечается высокая точность геодезических построений в древности, а в [16] обосновывается необходимая точность геодезических измерений при астроархеологических исследованиях, соответствующая разрешающей способности невооруженного зоркого человеческого глаза – одной угловой минуте, что вполне достижимо современной измерительной аппаратурой.

Основным источником погрешностей датирования по методу Локьера является неточное знание положения наблюдателя и обстоятельств наблюдения. Малое изменение положения наблюдателя ΔS при расстоянии до точки наблюдения D приводит к погрешностям в направлении $\Delta \beta''$

$$\Delta\beta'' = \Delta S\rho'' / D ,$$

где $\rho'' = 206\,265''$ – количество секунд в радиане.

Рассмотрим, на какую величину изменяется склонение при изменении азимута или высоты измеряемого направления. Для этого продифференцируем формулу (1) по азимуту и высоте

$$\begin{aligned} \partial\delta / \partial A &= -\cos h \cdot \cos \varphi \cdot \sin A / \cos \delta; \\ \partial\delta / \partial h &= (\cos h \cdot \sin \varphi - \sin h \cdot \cos \varphi \cdot \cos A) / \cos \delta. \end{aligned} \quad (2)$$

Заменим в формуле (2) дифференциалы малыми разностями и получим изменение склонения $\Delta\delta$, вызванное изменениями азимута ΔA и высоты Δh

$$\Delta\delta = [-\Delta A \cdot \cos h \cdot \cos \varphi \cdot \sin A + \Delta h \cdot (\cos h \cdot \sin \varphi - \sin h \cdot \cos \varphi \cdot \cos A)] / \cos \delta. \quad (3)$$

Полученные формулы (2), (3) позволяют:

- оценить погрешность вычисления склонения Солнца и, следовательно, астрономического датирования, в зависимости от направления наблюдения и погрешностей измерения горизонтальных координат;

- уточнить место наблюдателя и/или условия наблюдения, если известна эпоха функционирования археологического памятника по другим данным;

- выполнить редуцированные вычисления при невозможности установить теодолит в точку наблюдения;

- определить изменение склонения по измеренным разностям горизонтальных координат при непосредственных наблюдениях восходов и заходов Солнца в дни солнцестояний в современную эпоху и тем самым уточнить астрономическое датирование при известных обстоятельствах наблюдения;

- смоделировать для древней эпохи светотеневую картину в астрономически значимые дни года [17, 18].

Горизонтальные координаты (A , h) Солнца при натуральных наблюдениях можно определить по его часовому углу [19, 20] или в астрономической программе-планетарии, если с помощью ГНСС-навигатора измерены географические координаты и время наблюдения. Также можно использовать фотографии событий захода или восхода светил с меткой времени для восстановления необходимых координат, определения азимутов и моделирования освещенности памятника.

Достоинство дифференциальных формул (2), (3) состоит в том, что в разностях горизонтальных координат ΔA , Δh исключаются такие значимые погрешности, как погрешность в астрономическом азимуте начального направления [20, 21] и погрешность учета атмосферной рефракции при вычислении высоты светила. Кроме того, для вычисления малых изменений склонения требуется меньшее число значащих цифр во всех компонентах тригонометрических формул. При склонении 90° (на полюсах) формулы имеют особенности, а для

близполюсных звезд – большую чувствительность к изменениям горизонтальных координат, однако на расчет склонений Солнца или Луны эти факторы не оказывают влияния.

Примеры использования дифференциальных формул

Приведем примеры использования дифференциальных формул при исследовании астроархеологических памятников.

1. Тархатинский мегалитический комплекс, Республика Алтай, Кош-Агачский район. Этот многофункциональный астроархеологический памятник изучался в разные годы рядом исследователей [22, 23]; эпоха его создания и функционирования оценивается серединой II тысячелетия до н. э. Одним из ключевых объектов на Тархатинском мегалитическом комплексе является «Колыбель Сартакпая» – по мнению исследователей, место расположения древнего наблюдателя в день летнего солнцестояния. В течение всего года «Колыбель Сартакпая» при заходе Солнца находится в тени от близкорасположенного мегалита, и только во время летнего солнцестояния его освещают последние лучи заходящего Солнца. Особенностью данного объекта является вертикальная стена ближайшего мегалита, ограничивающая обзор по азимуту с места наблюдения захода Солнца в летнее солнцестояние. В этом случае рост наблюдателя становится не важен.

В летнее солнцестояние в 2010 г. была сделана фотография, где свет заходящего Солнца освещает лишь западный край этого мегалита (рис. 1). В древнее время склонение летнего Солнца было больше по сравнению с современностью (см. табл. 1), и заход Солнца происходил севернее, следовательно, освещалась большая часть мегалита «Колыбель Сартакпая». Для моделирования освещения середины данного мегалита (возможного положения наблюдателя) были применены указанные формулы, подробности см. в [24, 25]. Склонение заходящего Солнца (верхний край) оказалось равным $24^{\circ}0,4'$, что соответствует эпохе 2750 г. до н. э. ± 1000 лет. Использование дифференциальных формул (3) принципиально позволило выполнить астрономическое датирование памятника без непосредственных вычислений по формуле (1), поскольку прямые измерения горизонтальных координат (A, h) теодолитом с точки наблюдения были невозможны. Большая погрешность датирования ± 1000 лет обусловлена, главным образом, погрешностями измеряемого горизонтального угла на малых расстояниях и неопределенностью положения наблюдателя.

Подобным образом, на основании натуральных наблюдений и с привлечением дифференциальных формул можно реконструировать освещенность Солнцем деталей археологических памятников, петроглифических композиций и светотеневую картину в древнее время [17, 18], что позволит историкам и археологам дать некоторое понимание мировоззрения и религиозных представлений древних людей.



Рис. 1. Заход Солнца в летнее солнцестояние на Тархатинском мегалитическом комплексе. Видна освещенная правая (северная) часть мегалита «Колыбель Сартакпая». Середина мегалита остается в тени

2. Святилище Пятого Сундука. Находится в Ширинском районе Хакасии на левом берегу реки Белый Июс, в местности «Сундуки». Здесь с севера на юг расположена гряда вершин, пологих с западной стороны, с крутыми скальными обрывами с восточной. Местные жители называют эту гряду и местность «Сундуками» по имени самой примечательной вершины с названием Сундук, перечисляя «Сундуки» с севера на юг с первого по восьмой. На восточном склоне Пятого сундука расположено святилище, представляющее собой неглубокий выдолбленный в скале грот, обращенный на северо-восток. На внутренней фасадной стене грота нанесены две линии петроглифов, изображающие рассеченных на части змею и дракона. По исполнению, стилю и семантике петроглифы относятся к Окуневской культуре (первая половина II тысячелетия до н. э.). В левом верхнем углу грота находится подтреугольная выемка (сделанная, скорее всего, намеренно), а выше и левее грота, на скальном гребне – скульптурное изображение орла с распахнутым клювом, образующим характерную щель. Описание памятника приведено в [10, 26].

Напротив грота, в 100 м от него, обнаружена треугольная древняя выкладка размером около 0,5 м из плит, глубоко погруженных в грунт. Предположение, что это могла быть древняя наблюдательная площадка, основано на сочетании двух следующих фактов: 1) по результатам геодезических наблюдений и астрономических расчетов в древнюю эпоху с этой площадки наблюдался заход летнего Солнца (последний его луч исчезал в «клюве орла» левее и выше грота); 2) с данной площадки зафиксировано точное отмеченное направление меридиана [10].

Для выполнения расчетов необходимы широта места наблюдения ($\phi = 54^{\circ}38,17'$), а также горизонтальные координаты точки захода Солнца в «клюве Орла», измеренные с наблюдательной площадки: высота над горизонтом, с учетом рефракции ($h = 16^{\circ}36,01'$), азимут направления (от точки севера), определенный по наблюдениям Солнца ($A = 288^{\circ}30,00'$), при высоте инструмента 1,46 м. Расстояние от площадки до «Клюва Орла» (горизонтальное проложение) – 99,7 м.

Основные результаты исследований опубликованы в [10], где выполнено датирование памятника с оценкой погрешности, связанной, главным образом, с неточным знанием положения наблюдателя.

В настоящей статье покажем применение дифференциальных формул для уточнения датирования данного памятника по результатам натуральных наблюдений и фотографий захода Солнца в день летнего солнцестояния в 2006 г. Последний луч Солнца попал в щель, образуемую «клювом Орла» (рис. 2), при наблюдении на расстоянии 1,25 м к северу от центра древней наблюдательной площадки при высоте фотоаппарата 1,60 м. Наклон эклиптики к экватору в 2006 г. (и, следовательно, склонение Солнца в летнее солнцестояние) $\varepsilon_{2006} = \delta_{2006} = 23^{\circ}26,46'$ [27].

Рассчитаем, на какие величины изменятся азимут и вертикальный угол при перемещении наблюдателя от центра древней площадки на современное место фотографирования (на 1,25 м). Разность высоты теодолита и положения фотоаппарата по вертикали – 0,14 м. При расстоянии до точки наблюдения («Клюва орла») 99,7 м такие смещения соответствуют изменению азимута на $\Delta A = 43,10'$, изменению вертикального угла на $\Delta h = 4,83'$; азимут и вертикальный угол направления на «клюв Орла» с точки фотографирования, таким образом, будут получены, как $A^* = A - \Delta A$; $h^* = h - \Delta h$.

Результаты расчетов склонений δ по прямой и дифференциальной формулам (1) и (3) приведены в табл. 2. Склонение $\delta_{\text{привед.}}$ с использованием дифференциальных формул вычислялось для точного значения склонения на 2006 г. из астрономического ежегодника: $\delta_{\text{привед.}} = \delta_{2006} + \Delta\delta$. Вычисления $\Delta\delta$ по дифференциальной формуле (3) были выполнены для двух высот инструмента – 1,46 и 1,60 м.

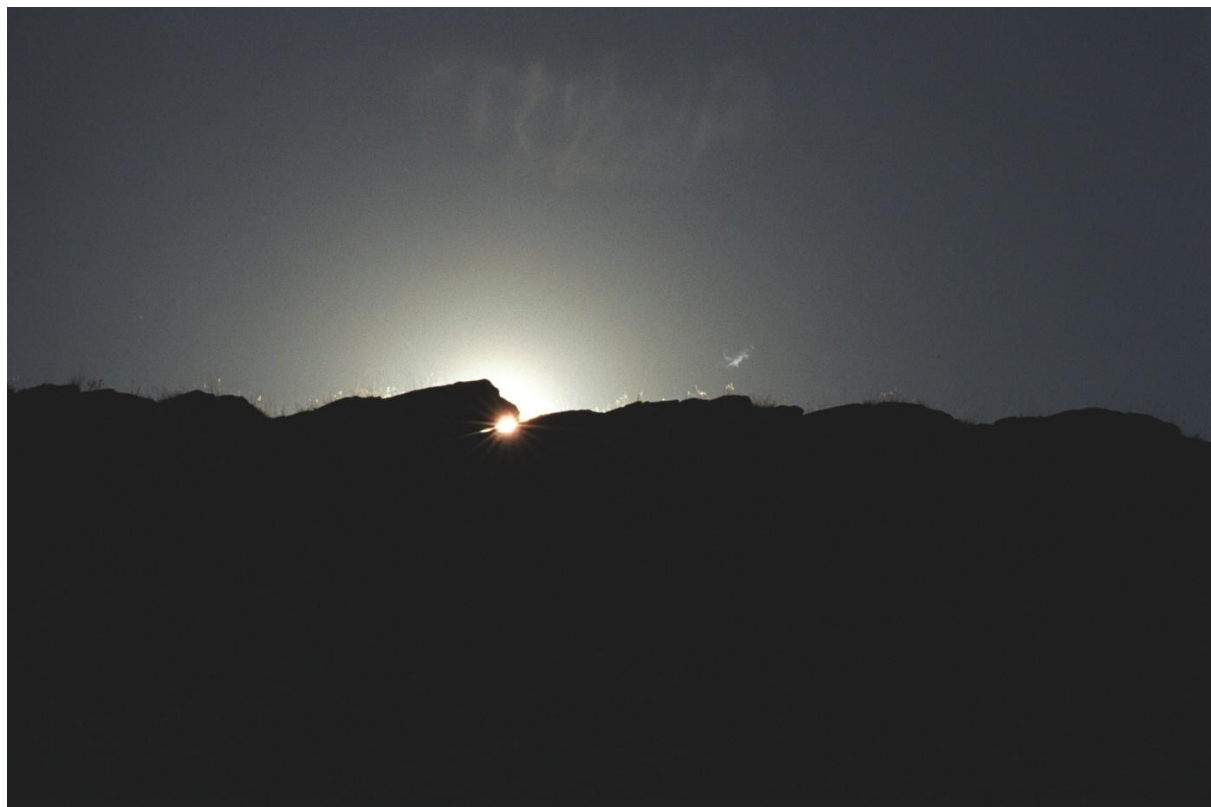


Рис. 2. Заход Солнца в летнее солнцестояние, наблюдаемый в «Клюве орла» от подножия Пятого сундука

Таблица 2

Результаты вычислений склонений по прямым и дифференциальным формулам. Широта точки наблюдения $\phi = 54,60^\circ$. Верхний край диска Солнца

Прямая формула (1)				Дифференциальная формула (3)			
Наблюдательная площадка, $i = 1,46$ м		Точка фотографирования 2006 г, $i = 1,60$ м		Наблюдательная площадка, $i = 1,60$ м		Наблюдательная площадка, $i = 1,46$ м	
1	2	3	4	5	6	7	8
A	$288^\circ 30,00'$	A^*	$287^\circ 46,90'$	ΔA	$43,10'$	ΔA	$43,10'$
h	$16^\circ 36,01'$	h^*	$16^\circ 31,17'$	Δh	0	Δh	$4,83'$
				$\Delta \delta$	$24,88'$	$\Delta \delta$	$28,72'$
$\delta_{\text{изм.}}$	$23^\circ 55,82'$	δ	$23^\circ 27,10'$	$\delta_{\text{привед.}} = 23^\circ 51,34'$		$\delta_{\text{привед.}} = 23^\circ 55,18'$	
		δ_{2006}	$23^\circ 26,46'$				
		$\Delta \delta_{2006}$	$0,64'$	$\delta_{\text{изм.}} - \delta_{\text{привед.}}$	$3,45'$	$\delta_{\text{изм.}} - \delta_{\text{привед.}}$	$0,64'$
2020 до н. э.		2006 н. э.		1339 до н. э.		1915 до н. э.	

Как видно из табл. 2, склонение Солнца, вычисленное с точки фотографирования в 2006 г. (столбец 4), отличается от табличного значения на $0,64'$, что не превышает методическую погрешность определения азимута начального на-

правления по Солнцу ($1'$) и свидетельствует об отсутствии грубых ошибок при переносе наблюдений с древней наблюдательной площадки в точку фотографирования. На такую же величину в пределах округления ($0,64'$) отличаются расчеты с использованием дифференциальных формул для высоты $i = 1,46$ м, что показывает возможность замены прямых формул дифференциальными в данном случае.

Расчеты по дифференциальным формулам с привлечением данных натуральных наблюдений в летнее солнцестояние позволили уточнить значение склонения летнего Солнца и, следовательно, датирование памятника. Дата, определенная для варианта наблюдателя с высотой уровня глаз 1,6 м (1339 г. до н. э.), соответствует как археологическому датированию памятника (Окуневская культура, первая половина II тысячелетия до н. э.), так и антропологическим данным (росту человека Окуневской культуры). Таким образом, можно датировать памятник по методу Локьера с применением дифференциальных формул и натуральных наблюдений эпохой 1300 г. до н. э. \pm 500 лет.

Следует отметить, что приведенный пример показывает, как неустойчив метод прямого датирования по Солнцу к ошибкам положения наблюдателя при коротких расстояниях. Изменение по высоте всего на 14 см привело к разнице датирования в 576 лет.

Заключение

Астрономическое датирование археологических памятников по методу Локьера сопровождается большими погрешностями, обусловленными чувствительностью метода к ошибкам входных данных. Применение дифференциальных формул сферической астрономии в комплексе с результатами ГНСС-измерений, натурными наблюдениями, цифровой фотографией и астрономическими программами-планетариями позволяет существенно повысить точность астрономического датирования археологических памятников, а также уточнить детали их функционирования.

Астрономические методы занимают достойное место в списке естественно-научных методов археологических исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Междисциплинарные исследования в археологии, этнографии и истории Сибири : материалы межд. науч. конференции, посвященной 125-летию со дня рождения ученого и общественного деятеля Николая Константиновича Ауэрбаха (1892–1930). – Красноярск : 2017. – 316 с.
2. Ларичев В. Е., Гиенко Е. Г., Паршиков С. А. Наблюдательная астрономия и системы счисления времени бронзового века Северной Хакасии // Мировоззрение населения Южной Сибири и Центральной Азии в исторической ретроспективе. – 2013. – Вып. 6. – С. 120–146.
3. Марсадоллов Л. С. Комплексный подход при изучении древних святилищ и больших курганов-храмов // Методика исследования культовых комплексов : сб. ст. – Барнаул : ООО «Пять плюс», 2012. – С. 42–49.

4. 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. – 2012. – Вып. 5. – С. 166–183.
5. Марсадолов Л. С. Временные наблюдательные астропункты VII века до н. э. в Салбыке и на Семисарте на Саяно-Алтае // *Universum Humanitarium*. – 2017. – № 2. – С. 101–109.
6. Потемкина Т. М. Пространственная и временная организация ритуального комплекса Телеутский Взвоз-I (археoaстрономический аспект) // Методика исследования культовых комплексов : сб. ст. – Барнаул : ООО «Пять плюс», 2012. – С. 78–84.
7. Потемкина Т. М. Мегалитические памятники Южного Зауралья (к вопросу об особенностях функционирования) // *Астроархеология – естественно-научный инструмент познания протонаук и астральных религий жречества древних культур Хакасии* : сб. науч. тр. – Красноярск : Город, 2009. – С. 36–58.
8. Кириллов А. К., Рафикова Я. В., Фёдоров В. К. Святилище Бакшай. В поисках древней астрономической обсерватории // *Астрономические методы исследований археоастрономических объектов горной гряды «Сундуки» и других исторических объектов* : сб. тр. Всеросс. полевого семинара. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2017. – С. 139–160.
9. Полякова О. О. Методики астроархеологических исследований // *Материалы V Межд. науч. конф. «Народы и культуры Саяно-Алтая и сопредельных территорий»*. – Абакан : Хакасское книжное издательство, 2018. – С. 42–46.
10. Храм борьбы света и тьмы, добра и зла, времени и безвременья (календарно-астрономический и религиозно-мифологический аспекты сакрального памятника эпохи окунево) / В. Е. Ларичев, Е. Г. Гиенко, Г. С. Шептунов, Г. Ф. Серкин, В. Н. Комиссаров // *Россия – евразийская общность: культура и цивилизация* : материалы науч. симпозиума. – Новосибирск : Архивариус – Н, 2005. – С. 81–104.
11. Абалакин В. К., Краснорылов И. И., Плахов Ю. В. Геодезическая астрономия и астрометрия : справ. пособие. – М. : Картгеоцентр – Геодезиздат, 1996. – 435 с.
12. Гиенко Е. Г., Канушин В. Ф. Геодезическая астрономия : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2006. – 137 с.
13. Локьер Д. Н. Рассвет астрономии. Планеты и звезды в мифах древних народов. – М. : ЗАО Центр-полиграф, 2013. – 445 с.
14. Шараф Ш. Г., Будникова Н. А. Вековые изменения элементов орбиты Земли и астрономическая теория колебаний климата // *Тр. Инст. теоретич. астрономии*. – Вып. XIV. – Л. : Наука, 1969. – С.48–109.
15. Тетерин Г. Н., Синянская М. Л. Точность геодезических измерений в ретроспективе и перспективе (по историческим эпохам) // *Интерэкспо Гео-Сибирь–2015. XI Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»*: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГГА, 2015. Т. 1. – С. 34–39.
16. Гиенко Е. Г., Айткулова А. Х. Обоснование точности геодезических и астрономических изысканий при астроархеологических исследованиях // *Вестник СГГА*. – 2012. – Вып. 2 (18). – С. 35–42.
17. Ларичев В. Е., Гиенко Е. Г., Паршиков С. А. Святилище «Храм времени» в Северной Хакасии: методы исследования, реконструкция его назначения // *Universum Humanitarium*. – 2017. – № 2. – С. 34–47.
18. Ларичев В. Е., Паршиков С. А., Гиенко Е. Г. Петроглифы святилища Красный камень // *Материалы V Межд. науч. конф. «Народы и культуры Саяно-Алтая и сопредельных территорий»*. – Абакан : Хакасское книжное издательство, 2018. – С. 11–26.
19. Гиенко Е. Г. Методы определения ориентировки археологических памятников // *Методика исследования культовых комплексов* : сб. ст. – Барнаул : ООО «Пять плюс», 2012. – С. 20–23.

20. Гиенко Е. Г. Определение астрономической ориентировки археологических памятников по часовому углу Солнца на примере петроглифа со спиральями (Горный Алтай) // *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*. – 2016. – № 4 (2). – С. 59–68.
21. Куницкий В. И., Гиенко Е. Г. Анализ точности метода определения ориентировки плоскостей с петроглифами по времени их освещенности Солнцем // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2017. Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов в 2 т.* – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 3–8.
22. Тархатинский мегалитический комплекс / В. И. Соенов, А. В. Шитов, Д. В. Черемисин, А. В. Эбель // *Древности Алтая. Известия лаборатории археологии : межвуз. сб. науч. тр.* – Горно-Алтайск, 2000. – № 5.
23. Марсаолов Л. С. Древнее святилище в Тархате на Алтае // *Археологические материалы и исследования Северной Азии в древности и средневековье : сб. ст.* – Томск, 2007. – С. 206–213.
24. Гиенко Е. Г., Маточкин Е. П., Маточкин П. Е. Солнце, Луна и тени от мегалитов на Тархатинском мегалитическом комплексе // *Гуманитарные науки в Сибири*. – 2011. – № 3. – С. 15–18.
25. Matochkin E. P., Gienko E. G. Tarhatinsky Megalithic Complex: the petroglyphs, observed are astronomical phenomena and shadow of the megaliths // *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*. – 2014. – Vol. 2 (1). – P. 90–106.
26. Солнцеголовый орел – змеборец и податель блага (к методике раскрытия семантики образов и реконструкции астральной мифологии жречества Окуневской культуры) / В. Е. Ларичев, Е. Г. Гиенко, Г. С. Шептунов, Г. Ф. Серкин, В. Н. Комиссаров // *Проблемы археологии, этнографии и антропологии Сибири и сопредельных территорий*. – Новосибирск : Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2003. Т. IX, часть I. – С. 401–408.
27. Астрономический ежегодник на 2006 год. – СПб. : Ин-т прикладной астрономии РАН, 2005. – 704 с.

Получено 23.10.2018

© Е. Г. Гиенко, 2018

REFINEMENT OF ASTROARCHAEOLOGY MONUMENTS DATING AND FUNCTIONING BY ASTRONOMIC-GEODETIC DATA

Elena G. Gienko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy, e-mail: elenagienko@yandex.ru

The paper considers differential formulas of geodetic astronomy. The application of these formulas in astroarchaeology allows eliminating the systematic errors of the initial direction azimuth and errors caused by atmospheric refraction. It is shown that using these formulas it is possible to estimate the error of astronomical dating, to clarify the place of the observer and/or the conditions of observation, to perform reduction calculations when it is impossible to establish a geodetic tool in the observation point, to clarify the astronomical dating of the archaeological monument under known circumstances of observation in present time, to simulate the chiaroscuro picture for the ancient era in astronomically significant days of the year. The possibilities of applying these formulas in combination with survey measurements, field observations, digital photography and an astro-nomic program-planetariums on the example of two astroarchaeological monuments (Mountain Altai and Khakassia) are shown. It is noted that such an integrated approach can significantly improve

the accuracy of astronomical dating of archaeological sites, as well as to clarify the details of their functioning.

Key words: astroarchaeology, geodesic astronomy, dating of archaeological sites, Lockyer's dating method, summer solstice.

REFERENCES

1. *Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchyonnoj 125-letiyu so dnya rozhdeniya uchyonogo i obshchestvennogo deyatelya Nikolaya Konstantinovicha Auehrbaha (1892–1930): Mezhdisciplinarnye issledovaniya v arheologii, ehnoGRAfii i istorii Sibiri [Proceedings of the International Scientific Conference Dedicated to the 125th Birth Anniversary of the Scientist and Public Figure of Nikolai Konstantinovich Auerbach (1892–1930): Interdisciplinary Research in Archeology, Ethnography and History of Siberia]*. (2017). Krasnoyarsk, 316 p. [in Russian].
2. Larichev, V. E., Gienko, E. G., & Parshikov, S. A. (2013). Observational astronomy and notation bronze age Northern Khakassia (to the problem of astral religion of priesthood in the Okunev culture). *Mirovozzrenie naseleniya Yuzhnoj Sibiri i Central'noj Azii v istoricheskoy retrospektive [The Worldview of the Population of Southern Siberia and Central Asia in the Historical Retrospective]*, 6, 120–146 [in Russian].
3. Marsadolov, L. S. (2012). An integrated approach to the study of ancient sanctuaries and large burial mounds-temples. In *Sbornik statej: Metodika issledovaniya kul'tovyh kompleksov [Collection of Paper: Research Methodology of Cult Complexes]* (pp. 42–49). Barnaul: LLC "Five plus" Publ. [in Russian].
4. Marsadolov, L. S., & Paranina G. N. (2012). Method and methodology of complex studies of ancient sacred megalithic objects. *Mirovozzrenie naseleniya Yuzhnoj Sibiri i Central'noj Azii v istoricheskoy retrospektive [The Worldview of the Population of Southern Siberia and Central Asia in the Historical Retrospective]*, 5, 166–183 [in Russian].
5. Marsadolov, L. S. (2017). Temporary observation astronomical points of VII century BC in Salbyk and Semisart in the Sayano-Altai. *Universum Humanitarium*, 2, 101–109 [in Russian].
6. Potemkina, T. M. (2012). Spatial and temporal organization of the ritual complex of the Teleut Vzvoz-I (archeoastromical aspect). *Sbornik statej: Metodika issledovaniya kul'tovyh kompleksov [Collection of Paper: Research Methodology of Cult Complexes]* (pp. 78–84). Barnaul: LLC "Five plus" Publ. [in Russian].
7. Potemkina, T. M. (2009). Megalithic monuments of the southern Urals (to the question about the peculiarities of functioning). In *Sbornik nauchnyh trudov: Astroarheologiya – estestvennonauchnyj instrument poznaniya protonauk i astral'nyh religij zhrechestva drevnih kul'tur Hakasii [Collection of Scientific Paper: Astroarchaeology – Natural-Science Instrument of Knowledge of Protoscience and Astral Religions Priesthood of Ancient Cultures of Khakassia]* (pp. 36–58). Krasnoyarsk: Gorod Publ. [in Russian].
8. Kirillov, A. K., Rafikova, Y. V., & Fedorov, V. K. (2017). Sanctuary Bakshi. In search of an ancient astronomical Observatory. In *Sbornik trudov vserossijskogo polevogo seminara: Astronomicheskie metody issledovaniy arheoastronomicheskikh ob"ektov gornoj gryady "Sunduki" i drugih istoricheskikh ob"ektov [Proceedings of All-Russian Field Workshop: Astronomical Research Methods of Archaeoastronomic Objects of the Mountain Range "Chests" and Other Historical Objects]* (pp. 139–160). Novosibirsk: CPI NSU Publ. [in Russian].
9. Polyakova, O. O. (2018). Methods astroarchaeology research. In *Sbornik materialov V Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii: Narody i kul'tury Sayano-Altaya i sopredel'nyh territorij [Proceedings of the V International Scientific Conference: Peoples and Cultures of Sayano-Altai and Adjacent Territories]* (pp. 42–46). Abakan: Khakass Publ. [in Russian].

10. Larichev, V. E., Gienko, E. G., Sheptunov, G. S., Serkin, G. F., & Komissarov, V. N. (2005). The temple of the struggle of light and darkness, good and evil, time and timelessness (calendar-astronomical and religious-mythological aspects of the sacred monument of the era Okunevo). In *Sbornik materialov nauchogo simpoziuma: Rossiya – evrazijskaya obshchnost': kul'tura i civilizaciya [Proceedings of the Research Symposium: Russia-Eurasian Community: Culture and Civilization]* (pp. 81–104). Novosibirsk: "Archivarius-N" Publ. [in Russian].
11. Abalakin, V. K., Krasnorylov, I. I., & Plaxov, Yu. V. (1996). *Geodezicheskaya astronomiya i astrometriya [Geodetic astronomy and astrometry]*. Moscow: Kartocentr-Geodezizdat Publ., 435 p. [in Russian].
12. Gienko, E. G., & Kanushin, V. F. (2006). *Geodezicheskaya astronomiya [Geodetic astronomy]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 137 p. [in Russian].
13. Lokyer, D. N. (2013). *Rassvet astronomii. Planety i zvezdy v mifakh drevnih narodov [The dawn of astronomy. Planets and stars in the myths of ancient peoples]*. Moscow: ZAO Tsentrpoligraf, 445 p. [in Russian].
14. Sharaf, Sh. G., & Budnikova, N. A. (1969). Secular variation in the elements of the earth's orbit and the astronomical theory of climate fluctuations. In *Sbornik Trudov Instituta teoreticheskoy astronomii: T. XIV [Proceedings of Institute Theoretical Astronomies: Vol. XIV]*. (pp. 48–109). Leningrad: Nauka Publ. [in Russian].
15. Teterin, G. N., & Sinyanskaya, M. L. (2015). The accuracy of geodetic measurements in retrospective and perspective (historical eras). In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Kartography, Geoinformatics and Mine Surveying]* (pp. 34–39). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
16. Gienko, E. G., & Ajtkulova, A. X. (2012). The foundation of the accuracy of geodetic and astronomical measurements in astroarchaeology researches. *Vestnik SGGGA [Vestnik SSGA]*, 2(18), 35–42 [in Russian].
17. Larichev, V. E., Gienko, E. G., & Parshikov, S. A. (2017). Sanctuary "The Temple of time" in Northern Khakassia: methods of research, reconstruction of its appointment. *Universum Humanitarium*, 2, 34–47 [in Russian].
18. Larichev, V. E., Parshikov, S. A. & Gienko, E. G. (2018). Petroglyphs of the sanctuary, the Red stone. *Sbornik materialov V Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii: Narody i kul'tury Sayano-Altaya i sopredel'nyh territorij [Proceedings of the V International Scientific Conference: Peoples and Cultures of Sayano-Altai and Adjacent Territories]* (pp. 11–26). Abakan: Khakass Publ.
19. Gienko, E. G. (2012). Methods of determining the orientations of archaeological monuments. In *Sbornik statej: Metodika issledovaniya kul'tovykh kompleksov [Collection of Paper: Research Methodology of Cult Complexes]* (pp. 20–23). Barnaul: LLC "Five plus" Publ. [in Russian].
20. Gienko, E. G. (2016). Determination of astronomical orientation of archaeological sites on the hour angle of the Sun on the example of petroglyph spiral (Mountain Altai). *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*, 4(2), 59–68 [in Russian].
21. Kunitsky, V. I., & Gienko, E. G. (2017). The accuracy analysis of the method of determining the orientation of the planes with petroglyphs by the time of the sun illumination. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2017: T. 2. Magisterskaya nauchnaya sessiya "Pervye shagi v nauke" [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2017: Vol. 2. Master's Scientific Session "First steps in science"]* (pp. 3–8). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
22. Soenov, V. I., Shitov, A. V., Cheremisina, D. V., & Ebel A. V. (2000). Tarhatinsky megalithic complex. In *Mezhvuzovskij sbornik nauchnykh trudov: Drevnosti Altaya. Izvestiya laboratorii arheologii [Interuniversity Collection of Scientific Works: News of the Laboratory of Archeology]*. Gorno-Altaysk, No. 5 [in Russian].

23. Marsadolov, L. S. (2007). Ancient sanctuary in Tarhata in the Altay. In *Sbornik statej: Arheologicheskie materialy i issledovaniya Severnoj Azii v drevnosti i srednevekov'e* [Collection of Articles: Archaeology Materials and Research of Northern Asia in Ancient Times and the Middle Ages] (pp. 206–213). Tomsk [in Russian].
24. Gienko, E. G., Matochkin, E. P., & Matochkin, P. E. (2011). The Sun, the Moon and Shades in the Tarhatinsky Megalithic Complex. *Gumanitarnye nauki v Sibiri* [Humanitarian Sciences in Siberia], 3, 15–18 [in Russian].
25. Matochkin, E. P., & Gienko, E. G. (2014). Tarhatinsky Megalithic Complex: the petroglyphs, observed are astronomical phenomena and shadow of the megaliths. *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*, 2(1), 90–106 [in Russian].
26. Larichev, V. E., Gienko, E. G., Sheptunov, G. S., Serkin, G. F., & Komissarov, V. N. (2003). Sun-headed eagle – serpentine and giver of the good (to the method of disclosure of the semantics of images and reconstruction of the astral mythology of the priesthood of Okun culture). In *Problemy arheologii, ehtnografii i antropologii Sibiri i sopredel'nyh territorij: T. IX, ch. I* [Problems of Archaeology, Ethnography and anthropology of Siberia and adjacent territories: Vol. IX, part I] (pp. 401–408). Novosibirsk: Institute of Archeology and Ethnography SB RAS Publ. [in Russian].
27. *Astronomicheskij ezhegodnik na 2006 god* [The astronomical Yearbook for 2006]. (2005). St. Petersburg: Institute of applied astronomy of RAS Publ., 704 p. [in Russian].

Received 23.10.2018

© E. G. Gienko, 2018