

ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ

УДК [004.9:7.017.2]+291(571.513)
DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-4-5-18

СВЯТИЛИЩЕ «ХРАМ ВРЕМЕНИ» В СЕВЕРНОЙ ХАКАСИИ: МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕТОТЕНЕВОЙ КАРТИНЫ

Елена Геннадьевна Гиенко

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

Сергей Анатольевич Паршиков

НП «Экологический центр рационального освоения природных ресурсов» (НП ЭЦ РОПР), 660049, Россия, г. Красноярск, проспект Мира, 53, научный сотрудник, e-mail: srgkrs@mail.ru

Елизавета Александровна Бубирь

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистрант, тел. (984)295-05-15, e-mail: gkjslk@mail.ru

Приводятся результаты изучения археологического памятника Тагарской культуры (VIII–III вв. до н. э.) «Храм времени», расположенного в Северной Хакасии. Основной целью исследования являлось получение естественно-научных доказательств календарной значимости памятника, а также того, что его сооружение было выполнено в соответствии со светотеневой картиной во время восходов и заходов Солнца в равноденствия и зимнее солнцестояние. Для моделирования годичной освещенности памятника Солнцем были произведены ориентирование по азимуту, геодезические измерения, астрономические расчеты. Кроме того, с целью уточнения деталей, была применена имитация солнечного луча лазерным лучом тахеометра. Подтвердить результаты моделирования удалось с помощью непосредственных наблюдений в дни осеннего равноденствия и зимнего солнцестояния, когда было выполнено фотографирование с фиксацией моментов съемки для последующих астрономических расчетов. В результате обоснована важность астрономических методов исследования и непосредственных наблюдений в астрономически значимые дни года при изучении подобных археологических объектов. С помощью астрономических расчетов доказано, что светотеневая картина, наблюдаемая на памятнике в современное время, практически тождественна светотеневой картине в Тагарскую эпоху. Внесены предложения по использованию лазерного сканирования для моделирования светотеневой картины. Памятник «Храм времени» является уникальным объектом, представляет собой сложное пространственное построение в соответствии с освещенностью в астрономически значимые дни года. Направление основной оси памятника на восходящее Солнце в зимнее солнцестояние выполнено с погрешностью не более 1° , что свидетельствует о том, что древние строители памятника хорошо знали астрономические даты и решали прямую задачу путем непосредственных наблюдений за Солнцем. Измерения, расчеты, проведенное моделирование и натурные наблюдения подтвердили предположения о его календарной значимости открывателя памятника, д. и. н. В. Е. Ларичева.

Ключевые слова: астроархеология, календаристика, дни солнцестояний и равноденствий, астрономические и геодезические методы в археологии, светотеневая картина, лазерное сканирование, 3D-моделирование

Введение

Изучение динамики светотеневой картины, ее моделирование и непосредственное наблюдение в астрономически значимые дни года позволяет глубже понять назначение и функционирование археологических памятников, связанных со счислением времени и проведением культовых обрядов.

Использование светотеневой картины, возникающей при освещении древних памятников Солнцем в дни солнцестояний и равноденствий, с целью ведения календарей, а также для проведения соответствующих ритуалов, было широко распространено территориально и по времени.

Один из наиболее известных древнейших археологических памятников – курган Нью Грейндж (XXV в. до н. э.), где раз в году в зимнее солнцестояние лучи восходящего Солнца в течение 17 минут освещают центральную камеру, расположенную в конце 19 метрового коридора, ориентированного на юго-восток [1]. В храме бога Солнца Амона-Ра в Карнаке (XVI в. до н. э.), согласно описаниям Локьера [2], внутреннее святилище освещалось лишь в летнее солнцестояние при заходе Солнца.

Другой пример – пирамида Кукулькана в городе Чичен-Ица, Мексика (V в. н. э.) [3], где ежегодно в дни осеннего и весеннего равноденствий можно наблюдать явление, связанное с игрой теней. Здесь можно наблюдать светотеневое изображение «Пернатого змея», когда при восходе Солнца тени от больших ступеней медленно сползают вниз к основанию, где располагаются головы рептилий. В пещеру Риско-Кайдо (Канарские о-ва, Испания, культура I–XV вв. н. э.), включенную в мировое культурное наследие в 2019 г. [4], лучи света попадают в летнее время только после весеннего равноденствия, и по солнечным зайчикам, перемещающимся по стенам, можно определять время суток и время года [5]. Описание ряда подобных археологических памятников, выполненных с учетом их освещенности солнечным светом в астрономически значимые дни солнцестояний и равноденствий, приведено в [6] и [7]. Отображение в петроглифах направлений на заходящие Солнце и Луну отмечается в [8]. Авторами наблюда-

лась характерная светотеневая картина на памятниках Хакасии эпохи бронзы [9] и Горного Алтая [10, 11]. В статье [12], посвященной методике и методологии комплексных исследований древних мегалитических объектов в Сибири, рекомендуется обращать внимание на освещенность сакральных мегалитических объектов в астрономически значимые дни года.

Цель статьи и ограничение по объему не позволяют дать полный обзор подобных светотеневых эффектов, связанных с древними культурами и ведением календаря, поэтому ограничимся предметом исследования.

Предмет исследования

Рассматриваемый в статье памятник расположен на западном склоне горного массива Грудь-гора на левом берегу реки Черной, недалеко от впадения ее в реку Белый Июс [13]. По ряду признаков объект относится к Тагарской археологической культуре (VIII–III в. до н. э.) [13, 14].

Памятник, открытый д. и. н. В. Е. Ларичевым в 2000 г., представляет собой небольшую скальную нишу, неглубокая полость которой создана путем извлечения блоков из расщелившегося пласта песчаника (рис. 1).



Рис. 1. Храм времени.
Фото С. А. Паршикова [15]

На полу ниши лежит прямоугольный блок песчаника, а сверху – массивная плита, образующая козырек и расположенная таким об-

разом, что внутреннее пространство ниши остается в летнее время в тени. Вход памятника обращен на юг (азимут центральной оси 173°). Ниша может вместить только одного человека в сидячем положении. Правая внутренняя стенка ниши, образованная скальным выступом, была подвергнута ее создателями обработке, в результате чего в верхней части внутреннего скального выступа образовалась слегка вогнутая плоскость с острым ребром по западному краю, развернутая в сторону юго-запада. Скалывание правого внутреннего выступа было выполнено и со стороны входа, вследствие чего на вертикальной стенке выступа, обращенной ко входу в нишу, появились острые ребра, разделенные небольшого размера кавернами.

На западном ребре внутреннего скального выступа ниши и на западном ребре покрывающей пол плиты имеется несколько рядов хорошо сохранившихся насечек (про-

пилов) (рис. 2, насечки *a–e*), а также гравированных нарезок (рис. 2, насечки *ж*).

Ряд с насечками (рис. 2, насечки *a–d*), образующий знаковую (и календарную систему), изображен на рис. 3.

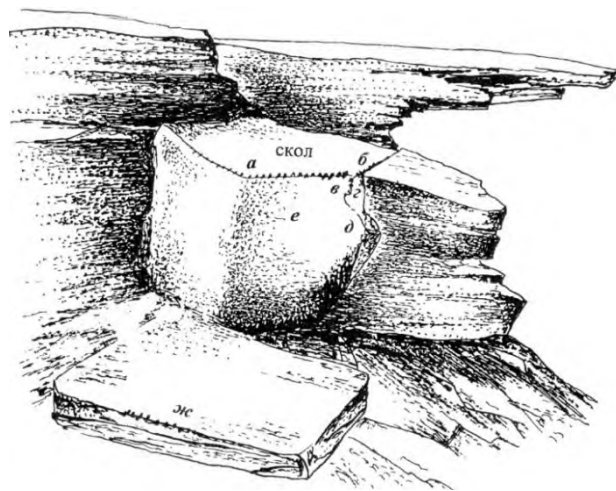


Рис. 2. Внутреннее пространство Храма времени. Рисунок В. И. Жалковского [13]

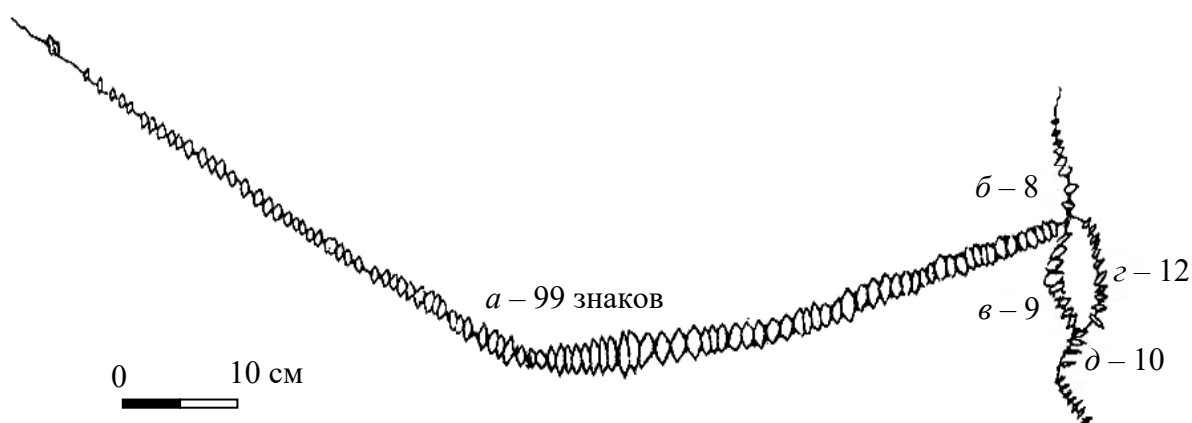


Рис. 3. Ряд с насечками. Рисунок В. И. Жалковского [13]

В. Е. Ларичевым в 2004 г. была предложена расшифровка последовательностей насечек как календарной системы и высказана идея об особенностях освещенности памятника в астрономически значимые дни года. Подробное описание, анализ и оценка данных знаковых записей выполнены им в статье [13].

Методы исследования

Основная задача исследования заключалась в реконструкции освещения Солнцем

внутренней камеры в течение года, поскольку в летнее (экспедиционное) время она постоянно находится в тени. Для расчетов следовало определить точную ориентировку всего памятника и его деталей по сторонам света, а также найти связь памятника с основными астрономическими ориентирами.

Астроархеологические изыскания производились в летних полевых экспедициях 2009–2010 гг. Было выполнено определение географических координат с помощью ГНСС-навигатора и получен астрономический азимут начального направления на далекий ори-

ентир по наблюдениям Солнца, произведены горизонтная съемка от площадки перед нишей и соответствующие вычисления с целью установления мест восхода и захода Солнца и Луны в астрономически значимые дни солнцестояний и равноденствий.

Моделирование сезонной освещенности внутренней камеры памятника с требуемой точностью (1 угловая минута [16]) оказалось нетривиальной задачей, поскольку измерения внутри ниши с угломерным инструментом были невозможны из-за ее малых размеров. Определение направления основного скального ребра с насечками было выполнено с помощью обратного азимута, путем измерения угла от начального направления, $148 \pm 0,5^\circ$. Лазерной рулеткой были измерены габариты камеры, а электронным наклономером – наклоны образующих ее внутренних плоскостей. Кроме того, с помощью электронного тахеометра было выполнено «псевдосканирование» внутренней камеры – измерено «облако точек» для дальнейшего пространственного моделирования. Описание технологии подобного сканирования для изучения плоскостей с петроглифами приведено в [17, 18].

Для определения даты, когда луч восходящего Солнца попадает внутрь камеры впер-

вые в году и освещает первую насечку, расположенную на ребре (см. рис. 3, крайняя правая насечка в ряду а), был симитирован солнечный луч с помощью лазера электронного тахеометра в режиме измерения расстояния и измерены его горизонтальные и вертикальные направления (азимут A и высота h), рис. 4, а. По результатам измерений было вычислено склонение δ соответствующей суточной параллели и определена дата первого попадания солнечного луча на крайнюю насечку,

$$\delta = \arcsin(\sin \delta \cdot \sin \varphi - \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos A), \quad (1)$$

где высота h исправлена за вертикальную рефракцию и суточный параллакс; расчеты сделаны для центра диска Солнца. Вычисленное по показаниям тахеометра ($h = 17^\circ$, $A = 294^\circ 24,2'$) склонение Солнца близко к нулю ($0^\circ 33,5'$) и соответствует дате, близкой к равноденствию.

В итоге были измерены все возможные направления, наблюдаемые из камеры как в пределах входа в нее, так и через проемы с восточной и западной стороны, и смоделирована освещенность камеры в течение года. Результаты моделирования освещенности камеры опубликованы в [19].



Рис. 4. Первый луч Солнца в весеннее равноденствие:

а) моделирование с помощью лазерного луча тахеометра (фото Е. Г. Гиенко); б) натурные наблюдения 24.09.16, 2-й день после равноденствия, освещены 2-я, 3-я насечки (равноденствие – 22.09.16) (фото С. А. Паршикова)

По результатам расчетов были определены астрономически важные даты, связанные с функционированием памятника: осеннее равноденствие (когда впервые в году солнечный луч попадает в нишу на крайнюю к выходу насечку); зимнее солнцестояние (Солнце находится на минимальной высоте, освещаются все насечки и примерно 75 % задней стенки, вечером лучи заходящего солнца проникают внутрь ниши через западный проем и освещают еще раз всю восточную стенку и все насечки на ребре); весеннее равноденствие (последнее в году появление лучей Солнца внутри памятника на крайней насечке). Летнее Солнце, проходящее высоко над горизонтом, никогда не освещает внутреннее пространство ниши.

Натурные наблюдения в осеннее равноденствие и зимнее солнцестояние

Результаты моделирования были подтверждены непосредственными наблюдениями освещенности памятника при восходе Солнца в день осеннего равноденствия в 2016 г. [15]. В этот день был зафиксирован момент освещения первой насечки восходящим солнцем (рис. 4, б), и получены доказательства правильности теоретических расчетов, моделирования и календарного назначения памятника.

20.12.17 были выполнены непосредственные наблюдения освещенности памятника

и фотографическая съемка в течение светового дня, от восхода до захода Солнца в день зимнего солнцестояния. На рис. 5 и 6 показан момент появления первого луча восходящего Солнца на памятнике. Отчетливо освещена «голова» змееподобного солнцеголового существа (дракона?), выглядывающего из ниши (см. рис. 5), виден его язык и, как жемчужные четки, освещенные солнцем насечки (см. рис. 6). Следует отметить, что при наблюдении невооруженным глазом ниша выглядит темнее, а освещенные детали кажутся контрастнее, чем на фотографии с автоматической подстройкой освещенности.

Ближе к полудню Солнце осветило заднюю стенку ниши: там выделяются области «скального загара» (примерно три четверти) и более рыхлая полоса с белым налетом, которая никогда не освещается Солнцем, в таком же соотношении (75 %), что было смоделировано по результатам летних экспедиционных измерений. Заход зимнего Солнца при наблюдении от Храма произошел в расчетном направлении над горой Солбон, и при последних лучах задняя фронтальная плоскость ниши ушла в тень, но при этом полностью осветилась полочка с насечками («тело» дракона). Таким образом, предварительные астрономические расчеты и моделирование освещенности памятника в зимнее солнцестояние были полностью подтверждены натурными наблюдениями.



Рис. 5. Первый луч Солнца в зимнее солнцестояние 20.12.2017. Анфас. Фото Н. В. Радюк:
а) общий вид; б) увеличенный фрагмент



Рис. 6. Первый луч Солнца в зимнее солнцестояние 20.12.2017. Профиль. Фото Н. В. Радюк:
а) общий вид; б) увеличенный фрагмент

Непосредственные наблюдения и фотофиксация предоставили детали, которые практически невозможно смоделировать. «Голову» дракона изображает овальное кольцо из насечек, с небольшой линзообразной вогнутостью внутри. Как доказали наблюдения, вогнутость была сделана намеренно, для достижения вида солнцеподобной «головы» дракона при восходе зимнего Солнца, когда его лучи отражаются от вогнутой линзы «головы» дракона. С плоской или выпуклой серединой «головы» дракона картина была бы другая. Угол, под которым вырезан «язык» дракона, очевидно, также подбирался для наилучшей освещенности его зимним Солнцем и эффектного изображения мифического существа. Подобным образом, выпукло, сделано «тело» дракона с насечками; при освещении зимним солнцем оно наблюдается как зубчатый гребень по краю каменной полочки.

Таким образом, можно сделать вывод, что светотеневая картина на Храме времени в равноденствия и, особенно, в зимнее солнцестояние, выстраивалась создателями памятника таким образом, чтобы запечатлеть миф о борьбе добра (Солнца) и зла (дракона), и связать это с сезонными изменениями. Непосредственные наблюдения и астрономические расчеты дали

основания расшифровать семантику календарного мифа носителей тагарской культуры, не имевших письменности.

Изменения светотеневой картины со временем

Обстоятельства наблюдения светотеневой картины в равноденствия не зависят от эпохи, поскольку склонение равноденственного Солнца всегда равно нулю. В солнцестояния склонение Солнца равно наклону эклиптики к экватору, который медленно с долгим периодом изменяется вследствие прецессии от планет (примерно $\pm 0,5^\circ$ с периодом около 60 000 лет). Следовательно, современная светотеневая картина в зимнее солнцестояние будет отличаться от наблюдаемой в эпоху создания и функционирования памятника. Сделаем оценку этих изменений, для чего рассчитаем соответствующие направления на Солнце в 700 г. до н. э. (эпоха расцвета Тагарской археологической культуры [14]). Кроме того, рассчитаем, насколько изменяются обстоятельства освещения памятника в течение нескольких дней солнцеворота.

Для расчетов воспользуемся дифференциальными формулами, выведенными в [20]:

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

где h, A – высота Солнца и азимут направления на Солнце соответственно;

φ – географическая широта точки наблюдения;

δ – склонение Солнца.

$$\Delta A = -(\Delta\delta \cdot \cos \delta) / (\cos h \cdot \cos \varphi \cdot \sin A);$$

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

Исходные данные для расчетов:

– географические координаты памятника, широта и долгота $\varphi = 54,725^\circ, \lambda = 89,715^\circ$;

– момент зимнего солнцестояния – 21.12.17, 23 ч 28 мин местного времени (UTC+7);

– момент фотографирования, определенный по встроенному в фотоаппарат ГНСС-навигатору, – 20.12.17, 10 ч 39 мин 18 с местного времени (UTC+7);

– горизонтальные координаты Солнца в момент фотографирования освещения памятника (рис. 5), рассчитанные для географической широты точки наблюдения по программе StarCalc [21] – $h = 6,5^\circ, A = 148,172^\circ$;

– склонения Солнца:

на момент фотографирования $\delta = -23^\circ 25,5'$;

в момент зимнего солнцестояния 2017 г.

$\delta = -23^\circ 26,1'$;

за трое суток до момента зимнего солнцестояния $\delta = -23^\circ 24,8'$;

в момент зимнего солнцестояния в 700 г. до н. э. $\delta = -23^\circ 46,9'$.

Расчеты изменений светотеневой картины, выраженные в изменениях азимута и высоты восходящего зимнего Солнца, формула (3), приведены в таблице.

Результаты расчетов изменения освещенности памятника

Разница координат	Разность по времени наблюдения	
	3 суток	2 717 лет
Склонение $\Delta\delta, '$	1,3	20,8
Азимут $\Delta A, '$	4,0	63,0
Высота $\Delta h, '$	1,4	22,0

Следует отметить, что расчеты по дифференциальным формулам (3) совпали с расчетами непосредственных разностей координат по программе StarCalc [21].

Заменяя в (2) дифференциалы конечными разностями, получим выражения для изменений в азимуте ΔA и высоте Δh , обусловленные изменением склонения $\Delta\delta$:

По приведенным в таблице результатам можно сделать вывод, что в течение трех суток до и после зимнего солнцестояния направления на восходящее Солнце практически не меняются, и светотеневую картину, приведенную на фотографии от 20.12.17, можно считать идентичной дню зимнего солнцестояния (21.12.17 была пасмурная погода).

В таблице показано малое изменение наклона эклиптики к экватору в течение длительного промежутка времени (на величину меньше углового диаметра Солнца, $32'$). Тем не менее, для заданных условий изменения горизонтального направления восходящего Солнца превышают по величине один градус. Сделаем оценку влияния этого изменения на вид освещенности. При ширине насечки 2 см и длине первой части гребня («тела» дракона) 45 см разница в горизонтальном направлении при освещенности насечек может быть $\pm 1,2^\circ$. Таким образом, изменение в азимуте направления на Солнце, вызванное разницей эпох наблюдения, попадает в доверительный интервал, определяемый шириной насечек и длиной ребра, и практически не изменяет вид светотеневой картины в зимнее солнцестояние за промежуток времени от эпохи функционирования памятника.

Ряд с насечками

Ряд с насечками («тело» дракона) (рис. 3) можно разделить на две части по ориентации в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Внешняя, южная часть ряда. По фотографии, сделанной с установленного по отвесной линии штатива, можно сделать примерную оценку наклона к горизонту внешней части (см. рис. 6) ряда с насечками. Полученный результат $7-8^\circ$ близок к вычисленной высоте Солнца на момент фотографирования ($6,5^\circ$).

Азимут направления на Солнце, вычисленный по времени фотографирования ($148,172^\circ$), практически совпадает с полученными ранее результатами (148°). Отсюда можно сделать вывод, что направление внешней части ряда с насечками совпадает с направлением на восходящее зимнее Солнце с погрешностью не более 1° , то есть ряд с насечками наме-

ренно выстраивался по лучу восходящего зимнего Солнца, что является уникальной особенностью сооружения.

Вторая часть «тела» дракона на изломе ребра каменного блока начинается через 48–50 насечек от «головы» дракона, развернута по азимуту (рис. 7) и выровнена по горизонту.

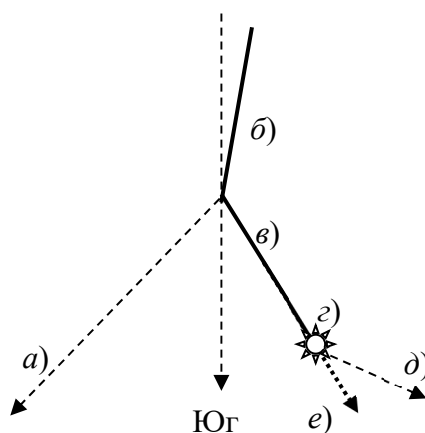


Рис. 7. Схематичное изображение основных направлений Храма времени:

а) направление на заход зимнего Солнца $A = 224^\circ$, $h = 0^\circ$; б) внутренняя часть ряда, 48 см, $A = 190^\circ$; в) внешняя часть ряда, 48 см, $A = 148^\circ$; г) первая насечка на ряде и «голова» дракона; д) направление на восход равноденственного Солнца $A = 294^\circ$, $h = 17^\circ$; е) направление на восход зимнего Солнца $A = 148^\circ$, $h = 7^\circ$

В. Е. Ларичев в статье [13] привел расшифровку всех знаковых записей, показанных на рис. 3, как календарной системы, в основе которой солнечные, лунные циклы и период Венеры.

С точки зрения проведенных наблюдений в осеннее равноденствие и в зимнее солнцестояние можно внести следующие предложения по расшифровке основной части последовательности насечек (рис. 3, а). Всего она содержит 92 соприкасающихся насечки, далее, через интервал еще две, и далее пять несоприкасающихся между собой насечек образуют отдельную группу.

В 700 г. до н. э. между осенним равноденствием и зимним солнцестоянием было 88 суток, а между зимним солнцестоянием и весенним равноденствием – 91 сутки (расчеты по программе StarCalc). Гипотеза о нанесении насечек от осеннего равноденствия до зимнего солнцестояния по отметке светового луча восходящего Солнца не может быть при-

нята, поскольку в период зимнего солнцестояния расстояние между насечками должно быть существенно меньше, чем в дни, близкие к равноденствию, даже если принять во внимание разворот ребра. Вследствие этого возможно, что насечки наносились в качестве счета дней между зимним солнцестоянием и весенним равноденствием. И годовой цикл начинался в зимнее солнцестояние.

Назначение оставшихся семи насечек, с точки зрения освещенности памятника Солнцем, пока не ясно.

Новые методы исследований. 3D-модель и лазерное сканирование

При исследовании освещенности памятника, кроме классических геодезических и астрономических методов, были успешно применены работа с фотофиксацией (привязка по времени, ориентирование в пространстве), имитация светового луча лазер-

ным лучом тахеометра. Доказана важность натуральных наблюдений в астрономически значимые дни года.

Было показано, что смоделировать освещенность памятника и уточнить детали его функционирования в течение полугода от осеннего до весеннего равноденствия можно при наличии точной 3D-модели. В настоящее время при использовании методов полевой 3D-фиксации в археологии активно используются две альтернативные технологии – трехмерное сканирование и наземная фотограмметрия, демонстрирующие прекрасные результаты в сотнях научных проектов по всему миру [22]. О реалиях, проблемах и перспективах использования данных технологий в практике российской археологии подробно рассказывается в статье [23], где отмечается, что сегодня достигнуто предельное качество полевой фиксации, к которому археологи стремились с XIX в. Теперь есть возможность создавать реалистичные трехмерные копии археологического объекта. При этом устраняется неизбежная при всех других типах фиксации субъективность, так как сохраняются пространственные взаимоотношения всех элементов объекта. По сути, создается цифровой архив процесса и результатов исследований, обеспечивающий возможность неограниченного количества обращений и изучения любых пространственных взаимоотношений.

Результаты исследования технологии создания высокоточных 3D-моделей памятников комбинированным методом с использованием фото-, стереосъемки и лазерного сканирования приведены в [24]. Для изучения Храма времени такой комбинированный метод будет наиболее подходящим.

Из существующих инструментов для создания пространственной модели Храма времени нами предлагается использовать ручной лазерный сканер, предназначенный для сканирования объектов малых форм, имеющий высокую точность измерений и возможность съемки различных полостей (пещер, гротов и т. п.) [25].

Для моделирования естественной освещенности памятника в течение суток и года необходимо точно знать местоположение (по ГНСС-измерениям) и ориентацию в про-

странстве по астрономическому азимуту. Из всех методов пространственного ориентирования полученной 3D-модели можно предложить следующие:

– использовать 3D-сканер со встроенным компасом. Точность определения азимута электронным компасом может достигать $0,1^\circ \approx 6'$, что для решаемых задач вполне достаточно;

– использовать реперные метки, ориентирование в пространстве которых определено по светотеневой картине (фотофиксация, направление тени, точное время фотографирования, астрономические расчеты направления на Солнце в это время) [11, 26].

Вместе с ориентированием памятника в пространстве необходимо выполнять геодезическую съемку горизонта, чтобы корректно рассчитывать направления на восходящее и заходящее Солнце. Так, вследствие местоположения Храма времени в логу на склоне горы, восход Солнца в равноденствия здесь происходит при высоте 17° над горизонтом, а восход зимнего Солнца – при высоте $6,5^\circ$.

Уточнить пространственное разрешение модели можно посредством метода внешнего механического слежения. Данный способ зачастую принимает форму лазерного трекера со встроенной камерой (для определения ориентации сканера) и точностью $\pm 0,06$ мм. Кроме того, можно использовать метод фотограмметрии, когда прибор оснащен тремя фотокамерами, обеспечивающими пространственные измерения в шесть степеней свободы с точностью $\pm 0,05$ мм + $0,05$ мм/м (возможность совершать геометрические движения в трехмерном пространстве) [27].

Помимо моделирования освещенности памятника, полученная пространственная модель высокого разрешения может быть использована при трасологических исследованиях, а также для сохранения памятника в цифровом виде в случае возможного его разрушения со временем.

Заключение

Памятник «Храм времени» является уникальным объектом, представляет собой сложное пространственное построение в соответ-

ствии с освещенностью в астрономически значимые дни года. Наблюдаемая светотеневая картина в равноденствие и в день зимнего солнцестояния, кроме подтверждения предварительных результатов моделирования, позволила приблизиться к пониманию семантики «драконической мифологии» представителей Тагарской культуры, не имеющих письменности. Измерения, расчеты, проведенное моделирование и натурные наблюдения подтвердили предположения В. Е. Ларичева о календарной значимости памятника.

Следует отметить высокую точность построения памятника представителями Тагарской археологической культуры (VIII–III в. до н. э.): скальное ребро с насечками направлено на восходящее зимнее Солнце в плане и по высоте с погрешностью не более одного градуса; в равноденствия первый луч восходящего Солнца освещает первую насечку ребра при расстоянии между насечками 1–1,5 см. Такая высокая точность объясняется тем, что древние строители памятника хорошо знали, почитали астрономические даты зимнего солнцестояния/равноденствий и решали прямую задачу путем непосредственных наблюдений за Солнцем.

Вторая важная особенность сооружения как точного календаря – нацеленность именно на восходящее Солнце. Так, по результатам натурных наблюдений Н. В. Радюк 13.03.20, «голова» дракона освещается Солнцем еще за неделю до весеннего равноденствия (в само равноденствие она уже остается в тени), но Солнце при этом находится высоко над горизонтом.

Как показывает опыт, непосредственные наблюдения рассчитанных заранее восходов и заходов светил, кроме подтверждения правильности измерений и вычислений, предоставляют возможность визуальной фиксации немоделируемых деталей и подробностей, помогающих понять устройство и предназна-

чение памятников культуры. Особенно это касается изменения светотеневой картины, связи ее с петроглифами и другими структурными элементами памятников. Подтверждение непосредственными наблюдениями расчетов и гипотез говорит о надежности и важности астрономических методов для археологии.

При изучении подобных памятников рекомендуется, кроме геодезических измерений и астрономических расчетов, работать с фотографиями светотеневой картины (с таймингом съемки), выполнять натурные наблюдения в астрономически значимые дни года, а также использовать лазерное сканирование в комбинации с фото- и стереосъемкой для построения 3D-модели памятника. Для подробного изучения насечек на Храме времени (их исполнение, форма, расположение, характер отражения ими Солнца) необходимы трасологические исследования.

Комплекс перечисленных методов и астрономические расчеты предоставляют естественно-научные доказательства для археологов, выявляя закономерности в расположении сооружений в целом и их деталей. Определение особенностей наблюдения Солнца в течение всего года и в разные исторические эпохи может быть выполнено по результатам геодезических измерений и 3D-моделирования в краткий летний экспедиционный период.

Благодарность

Авторы статьи выражают благодарность Наталии Васильевне Радюк и Сергею Федоровичу Ознобихину за фотографии астрономических событий на астроархеологических памятниках в дни равноденствий и зимнего солнцестояния, а также за помощь при наблюдении восхода Солнца на Храме времени в осеннее равноденствие в 2016 г. и зимнее солнцестояние в 2017 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. O'Kelly M. J. Newgrange: archaeology, artandlegend. New Aspects of Antiquity series. – London: Thames&Hudson, 1982. – 240 p.
2. Локьер Д. Н. Рассвет астрономии. Планеты и звезды в мифах древних народов. – М. : ЗАО Центрполиграф, 2013. – 445 с.
3. Ruggles C., Cotte M. Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention: a Thematic Study. – Paris : ICOMOS–IAU, 2010. – 272 p.

4. Portal to the Heritage of Astronomy. Веб-портал Астрономического наследия под эгидой ЮНЕСКО в коллаборации с Международным астрономическим союзом IAU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www3.astronomicalheritage.net/index.php> (дата обращения: 20.02.2020).
5. Cuenca Sanabria J., García Navarro M., González Arratia L., Montelongo J. El culto a las cuevas entre los aborígenes canarios: el almogaren de Risco Caído (Gran Canaria) // *Almogaren*. – 2008. – Vol. 39. – P. 153–190.
6. Magli G. The Scientific Foundations of Archaeoastronomy. In: *Archaeoastronomy. Undergraduate Lecture Notes in Physics*. – Springer, Cham. 2016. – 246 p.
7. Хокинс Дж. Кроме Стоунхенджа. – М. : Мир, 1977. – 268 с.
8. Potemkina T. M. Sky on the rocks of onega lake according to data of the archaeoastronomy // *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*. – 2016. – Vol. 4 (1). – P. 19–80.
9. 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.
10. 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.
11. Гиенко Е. Г. Определение астрономической ориентировки археологических памятников по часовому углу Солнца на примере петроглифа со спиральями (Горный Алтай) // *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*. – 2016. – Т. 4 (2). – С. 59–68.
12. Марсадалов Л. С., Паранина Г. Н. Методика и методология комплексных исследований древних сакральных мегалитических объектов // *Мировоззрение населения Южной Сибири и Центральной Азии в исторической ретроспективе* : сборник. – Барнаул, 2012. – С. 166–183.
13. Ларичев В. Е. Парадоксы Времени (к проблеме характера религии тагарской культуры) // *Евразия: культурное наследие древних цивилизаций*. Вып. 3: Парадоксы в археологии : сборник статей. – Новосибирск : РИЦ НГУ, 2004. – С. 113–141.
14. Поляков А. В., Святко С. В. Радиоуглеродное датирование археологических памятников неолита – начала железного века среднего Енисея : обзор результатов и новые данные // *Теория и практика археологических исследований*. – 2009. – Вып. 5. – С. 20–56.
15. Larichev V. E., Gienko E. G., Parshikov S. A. Sanctuary. «The Temple of Time» in North Khakasy: Methods of Research, Reconstruction of its Appointment // *Universum Humanitarium*. – 2017. – No. 2. – P. 32–44.
16. 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, 13–25 апреля 2015 г.)*. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 34–39.
17. Ларичев В. Е., Паршиков С. А. Приборы и методы изучения структуры и пространственных координат некоторых видов наскальных изображений (на материалах Северной Хакасии) // *Вестник НГУ. Серия: История, филология*. Вып. 7: Археология и этнография. – 2010. – Т. 9. – С. 39–45.
18. Прокопьева С. А. Применение автоматизированных средств измерений и представления данных при геодезическом обеспечении археологических исследований // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2010. – № 1. – С. 10–14.
19. Ларичев В. Е., Гиенко Е. Г., Паршиков С. А. Свет и тень в стенах Тагарского святилища (инструментарий и метод фиксации ритмов освещения и погружения во мрак структур сакрального объекта по мере смены сезонов; семантические реконструкции) // *Современные решения актуальных проблем евразийской археологии* : сборник научных статей. – Барнаул : Изд-во Алтайского гос. университета, 2013. – С. 291–296.
20. Гиенко Е. Г. Уточнение датирования и особенностей функционирования астроархеологических памятников по астрономо-геодезическим данным // *Вестник СГУГиТ*. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 19–32.
21. Уваров С. С. *StarCalc. 500 лучших программ для Вашего компьютера*. – СПб. : Питер, 2009. – 301 с.
22. Использование и востребованность лазерного сканирования [Электронный ресурс]: археология и историко-культурные работы. – 2020. – Режим доступа: <https://geopriz.ru/wp-content/uploads/Lazernoe-skanirovanie.pdf> (дата обращения: 25.02.2020).
23. Зайцева О. В. «3D революция» в археологической фиксации в российской перспективе // *Сибирские исторические исследования*. – 2014. – № 4. – С. 10–20.

24. Уколова А. В., Сенчурина Е. Е. Исследование технологий создания трехмерных моделей памятников на основе фото-, стереосъемки и лазерного сканирования // Изв. вузов. Геодезия и аэрофото-съемка. – 2018. – Т. 62, № 6. – С. 643–648. doi: 10.30533/0536-101X-2018-62-6-643-648.

25. Гужов В. И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения : учеб. пособие – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – 82 с.

26. Куницкий В. И., Гиенко Е. Г. Анализ точности метода определения ориентировки плоскостей с петроглифами по времени их освещенности солнцем // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 3–8.

27. Профессиональное 3D-сканирование [Электронный ресурс]: ручные 3d сканеры. – 2020. – Режим доступа: <https://cybercom.ru/catalog/3d-scanners/ruchnye-3d-skanery/> (дата обращения: 25.02.2020).

Получено 01.06.2020

© Е. Г. Гиенко, С. А. Паршиков, Е. А. Бубирь, 2020

SANCTUARY "TEMPLE OF TIME" IN NORTHERN KHAKASSIA: MODELING LIGHT-AND-SHADOW PICTURE

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

Sergey A. Parshikov

NP Ecological Center for the Rational Development of Natural Resources (NP EC ROPR), 53, Prospect Mira, Krasnoyarsk, 660049, Russia, Researcher, e-mail: srgkrs@mail.ru

Elizaveta A. Bubir

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Master Student, phone: (984)295-05-15, e-mail: gkjslk@mail.ru

The results of the study of the archaeological monument of Tagar culture (VIII-III centuries BC) "Temple of time", located in Northern Khakassia, are described. The main purpose of the study was to obtain natural scientific evidence of the monument calendar significance, as well as that its construction was performed in accordance with the light-and-dark picture during the sunrise and sunset at the equinoxes and winter solstice. To modeling the annual illumination of the monument by the Sun, azimuth orientation, geodesic measurements, and astronomical calculations were performed. In addition, in order to clarify the details, the simulation of a solar beam with a total station laser beam was applied. The modeling results were confirmed by direct observations during the autumnal equinox and winter solstice, when photographs were taken with recording of the shooting moments for subsequent astronomical calculations. As a result, the importance of astronomical research methods and direct observations on astronomically significant days of the year in the study of such archaeological objects is justified. Using astronomical calculations, it is proved that the light-and-shadow picture observed on the monument in modern times is almost identical to the light-and-shadow picture in the Tagar epoch. Suggestions have been made for using laser scanning to model a light-and-shadow picture. The monument "Temple of Time" is a unique object, it is a complex spatial structure in accordance with the illumination on astronomically significant days of the year. The direction of the main axis of the monument to the rising Sun at the winter solstice is made with an error of no more than 1° , which indicates that the ancient organizers of the monument knew astronomical dates well and solved a direct problem by direct observations of the Sun. Measurements, calculations, modeling and field observations confirmed the assumptions about its calendar significance of the monument's discoverer, doctor of historical Sciences V. E. Larichev.

Keywords: astroarchaeology, calendaristics, solstices and equinoxes, astronomical and geodesic methods in archaeology, light-and-shadow picture, laser scanning, 3D modeling

REFERENCES

1. O'Kelly, M. J. (1982). *Newgrange: archaeology, artandlegend. New Aspects of Antiquity series*. London: Thames&Hudson, 240 p.
2. Lokyer, D. N. (2013). *Rassvet astronomii. Planety i zvezdy v mifakh drevnikh narodov [The dawn of astronomy. Planets and stars in the myths of ancient peoples]*. Moscow: ZAO Tsentrpoligraf Publ., 445 p. [in Russian].
3. Ruggles, C., & Cotte, M. (2010). *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention: a Thematic Study*. Paris: ICOMOS–IAU, 272 p.
4. Portal to the Heritage of Astronomy. (n. d.). Retrieved from <https://www3.astronomicalheritage.net/index.php>.
5. Cuenca Sanabria, J., García Navarro, M., González Arratia, L., & Montelongo, J. (2008). El culto a las cuevas entre los aborígenes canarios: el almogaren de Risco Caído (Gran Canaria). *Almogaren*, 39, 153–190.
6. Magli, G. (2016). The Scientific Foundations of Archaeoastronomy. In: *Archaeoastronomy. Undergraduate Lecture Notes in Physics*. Springer, Cham, 246 p.
7. Hawkins, G.S. (1977). *Krome Stoundkhendzha [Beyond Stonehenge]*. Moscow: Mir Publ., 268 p. [in Russian].
8. Potemkina, T. M. (2016). Sky on the rocks of Onega Lake according to data of the archaeoastronomy. *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*, 4(1), 19–80.
9. Larichev, V. E., Parshikov, S. A., & Gienko, E. G. (2015). The Shadow of God and the Zurvan Iconography. *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*, 3(2), 1–22.
10. 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].
11. 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].
12. Marsadolov, L. S., & Paranina, G. N. (2012). Method and methodology of complex studies of ancient sacred megalithic objects. In *Sbornik materialov: Mirovozzrenie naseleniya Yuzhnoy Sibiri i tsentral'noy Azii v istoricheskoy retrospektive [Proceedings of the Worldview of the Population of Southern Siberia and Central Asia in the Historical Retrospective]* (pp. 166–183). Barnaul [in Russian].
13. Larichev, V. E. (2004). Paradoxes of time (to the problem of the origin of the religion of Tagar culture). In *Sbornik statey: Evraziya: Kul'turnoe nasledie drevnikh tsivilizatsiy. Vyp. 3: Paradoxsy v arkheologii [Proceedings of Eurasia: Cultural Heritage of Ancient Civilizations: Issue 3. Paradoxes in Archeology]* (pp. 113–141). Novosibirsk: RIC NSU Publ. [in Russian].
14. Polyakov, A. V. & Svyatko, S. V. (2009). Radiocarbon dating of archaeological sites of middle Yenisey from neolithic to early Iron Age: overview of the results and new research data. *Teoriya i praktika arkheologicheskikh issledovaniy [Theory and Practice of Archaeological Research]*, 5, 20–56 [in Russian].
15. Larichev, V. E., Gienko, E. G., & Parshikov, S. A. (2017). Sanctuary "The Temple of Time" in North Khakasy: Methods of Research, Reconstruction of its Appointment. *Universum Humanitarium*, 2, 32–44.
16. 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, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Cartography, Geoinformatics and Mine Surveying]* (pp. 34–39). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
17. Larichev, V. E., & Parshikov, S. A. (2010). Devices and methods for studying the structure and spatial coordinates of some types of rock paintings (on materials of Northern Khakassia). *Vestnik NGU. Seriya: Istoriya, filologiya. Vyp. 7: Arkheologiya i etnografiya [Vestnik NSU. Series: History, Philology. Issue 7: Archeology and Ethnography]*, 9, 39–45 [in Russian].
18. Prokop'yeva, S. A. (2010). Application of automated measuring instruments and data presentation for geodetic support of archaeological research. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 1, 10–14 [in Russian].
19. Larichev, V. E., Gienko, E. G., & Parshikov, S. A. (2013). The light and shadow in the walls of the Tagar's sanctuary (instrumentation and method of fixing the rhythms of lighting and immersion in the darkness of structures of the sacred object as the seasons change; semantic reconstructions). In *Sbornik nauchnykh*

statey: *Sovremennye resheniya aktual'nykh problem evraziyskoy arkhologii [Proceedings of Modern Solutions to the Current Problems of Eurasian Archeology]* (pp. 291–296). Barnaul: Altai State University Publ. [in Russian].

20. Gienko, E. G. (2018). Refinement of astroarchaeology monuments dating and functioning by astro-nomic-geodetic data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(4), 19–32 [in Russian].

21. Uvarov, S. S. (2009). *StarCalc. 500 luchshikh programm dlya Vashego komp'yutera [StarCalc. 500 best programs for your computer]*. Saint Petersburg: Piter Publ. [in Russian].

22. Use and demand of laser scanning. Archeology and historical and cultural works. (2020). Retrieved from <https://geopriz.ru/wp-content/uploads/Lazernoe-skanirovanie.pdf>. [In Russian]

23. Zaytseva, O. V. (2014). "3D revolution" in archaeological recording in Russian perspective. *Sibirskie istoricheskie issledovaniya [Siberian Historical Research]*, 4, 10–20 [in Russian]

24. Ukolova, A. V., & Senchurin, E. E. (2018). Research of technologies for creating three-dimensional (3D) models of monuments, based on photography, stereo photo and laser scanning. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 62(6), 643–648 [in Russian]

25. Guzhov, I. (2015). *Metody izmereniya 3D-profilya ob'ektov. Kontaktnye, triangulyatsi-onnye sistemy i metody strukturirovannogo osveshcheniya [Methods of 3D-profile measurement of the objects. Contact, triangulation systems and methods of the structured illumination]*. Novosibirsk: NGTU Publ., 82 p. [in Russian].

26. 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. *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2017: Masterskaya nauchnaya sessiya: T. 2. Pervye shagi v nauke [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2017: Master's Scientific Session: Vol. 2. First Steps in Science]* (pp. 3–8). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

27. Professional 3D-scanning. Handheld 3d scanners. (2020). Retrieved from: <https://cybercom.ru/catalog/3d-scanners/ruchnye-3d-skanery> [in Russian].

Received 01.06.2020

© E. G. Gienko, S. A. Parshikov, E. A. Bubir, 2020