



Реконструкция древнеегипетских солнечных часов

Лариса Николаевна Водолажская

Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация
e-mails: larisavodol@aaatec.org, larisavodol@yahoo.com

Аннотация

В статье представлены результаты исследования конструктивных особенностей вертикальных и L-образных древнеегипетских солнечных часов. С помощью астрономических методов разработаны их модели, на основе которых проведена реконструкция солнечных часов. Также предложена оригинальная схема простого способа достаточно точного измерения времени с их помощью. Большая актуальность поставленной задачи связана с отсутствием до настоящего времени таких моделей и схем.

Предлагаемая нами модель, описывающая вертикальные солнечные часы, представляет собой вертикальные солнечные часы с наклонным гномоном, учитывающим широту местности. Она основывается на допущении о существовании у древних египтян представлений о часе (и получасе) равной длительности на протяжении суток, не зависящей от времени года. Предлагаемая нами модель характеризуется разметкой часовых линий с 6 до 12 часов через каждый час. С 12 до 12.5 часов производится смещение в разметке часовых линий на полчаса, затем разметка через каждый час повторяется.

Как следствие реконструкции вертикальных солнечных часов, нами была разработана и предложена модель, описывающая конструктивные особенности и функционирование L-образных солнечных часов двух типов. Они должны были работать совместно с наклонным гномоном, как и у вертикальных солнечных часов или непосредственно с вертикальными солнечными часами. В таком случае, L-образные солнечные часы могли дополнять вертикальные солнечные часы, предоставляя возможность читать подписи к часовым меткам и интерпретировать показания вертикальных солнечных часов, т.к. на вертикальных солнечных часах надписи отсутствовали.

В статье также дается расшифровка надписи из гробницы Сети I, давно интригующей исследователей. Доказывается, что надпись содержит длины промежутков между соседними метками L-образных солнечных часов второго типа, где первый промежуток соответствует не одному часу, а половине часа.

Ключевые слова: солнечные часы, модель, астрономические методы, археoaстрономия, Древний Египет.

Введение

Технологии Древнего Египта, в том числе в области измерения времени, достигали высокого уровня. В Древнем Египте существовали, как водяные, так и солнечные часы, которые имели различную конструкцию: L-образные, ступенчатые, с дисковидным кадром. Образцы таких инструментов хранятся в каирском и берлинском музеях.

Наиболее раннее письменное свидетельство существования египетских солнечных часов было связано с описанием битвы фараона Тутмоса III и относится к XVI веку до н.э. [1]. В гробнице Сети I (1300 г до н.э.) имеется изображение солнечных часов в виде L-образного бруска [2]. В Берлинском Египетском Музее хранятся аналогичные часы из зеленого сланца датируемые эпохой правления Тутмоса III, а также часы из Файюма датируемые 1000-600 гг. до н.э. [3].

Известны древнеегипетские солнечные часы с дисковидным кадром, датируемые временем царствования фараона Мернепта (XIII веком до н.э.) (рис. 1) [4].



Рисунок 1. Египетские часы XIII века до н.э.

В 2013 году при археологических раскопках в Долине Царей экспедицией Базельского университета (Швейцария) под руководством С. Бикел и Э. Паулин-Гротте были обнаружены солнечные часы с дисковидным кадром, также датируемые XIII веком до н.э. Найденные часы представляют собой известняковый диск с размеченными секторами (рис. 2).

Для доказательства, что находка действительно является солнечными часами, были проведены междисциплинарные исследования с помощью естественнонаучных методов. В последние десятилетия прогресс в археологических исследованиях во многом связан именно с проведением комплексных междисциплинарных исследований, благодаря которым появились и развиваются новые научные направления такие, как археоастрономия, археозоология, историческая информатика и т.д. [5-10].

Швейцарские исследователи с помощью астрономических методов провели исследование известнякового диска, найденного в Долине Царей и пришли к выводу, что это действительно были вертикальные солнечные часы, ориентированные на юг [11].

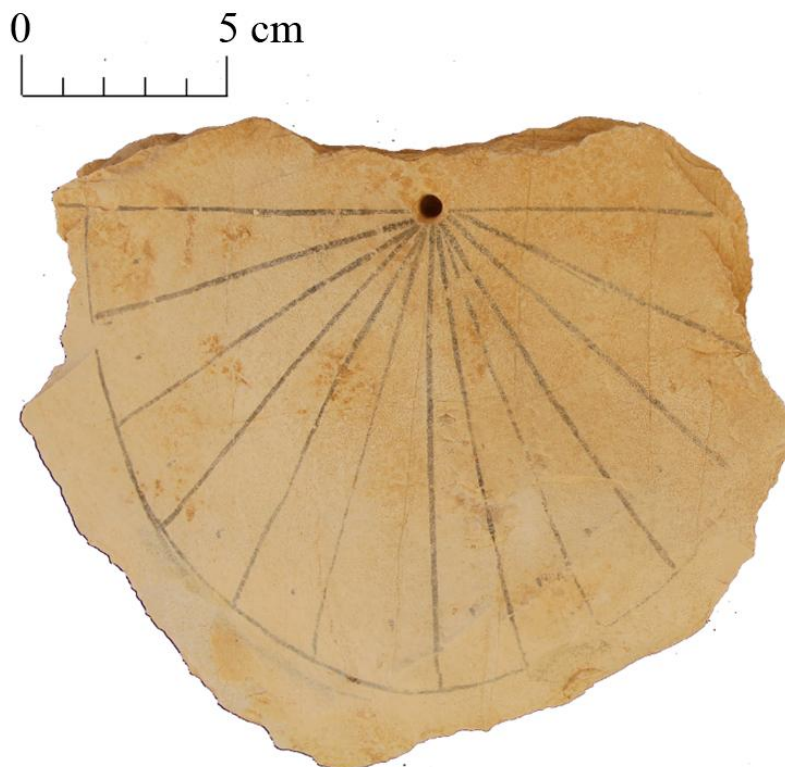


Рисунок 2. Солнечные часы, обнаруженные в Долине Царей³.

Считается, что деление на часы впервые появилось в Египте. Уже с 2100 г. до н. э. египетские жрецы делили сутки на 24 час [12]. На основании конструктивных особенностей L-образных солнечных часов (неравное расстояние между метками на шкале) немецкий египтолог Людвиг Борхардт (Borchardt) в 1910 году выдвинул гипотезу о существовании в Древнем Египте неравных часов, длительность которых зависела от сезона года.

В рамках его гипотезы, длительность часа постоянно изменялась на протяжении всего года и равнялась 1/12 части времени от восхода до захода или же от захода до восхода Солнца. Продолжительность часа, следовательно, колебалась в зависимости от широты и времени года [13]. Однако, анализируя маркировку на солнечных часах из Долины Царей Susanne Bickel, Rita Gautschy делают предположение об использовании *часов равной длительности* [14].

В процессе исследований, они обращают внимание, что наибольшее совпадение в диапазоне от 6 до 12 часов дня дает модель вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном. Однако, плохое совпадение расчетных значений с реальными в диапазоне от 12 до 18 часов заставило авторов отказаться от этой модели и принять модель вертикальных часов с горизонтальным гномоном и приближенной – не точной маркировкой кадра с дотаточно большой средней погрешностью 12 минут (рис. 3).

Целью нашего исследования была реконструкция и разработка модели солнечных часов, описывающей солнечные часы, обнаруженные в Долине Царей, а также реконструкция способов измерения времени с помощью вертикальных и L-образных солнечных часов в Древнем Египте.

³ <http://aegyptologie.unibas.ch/forschung/projekte/university-of-basel-kings-valley-project/report-2013/>

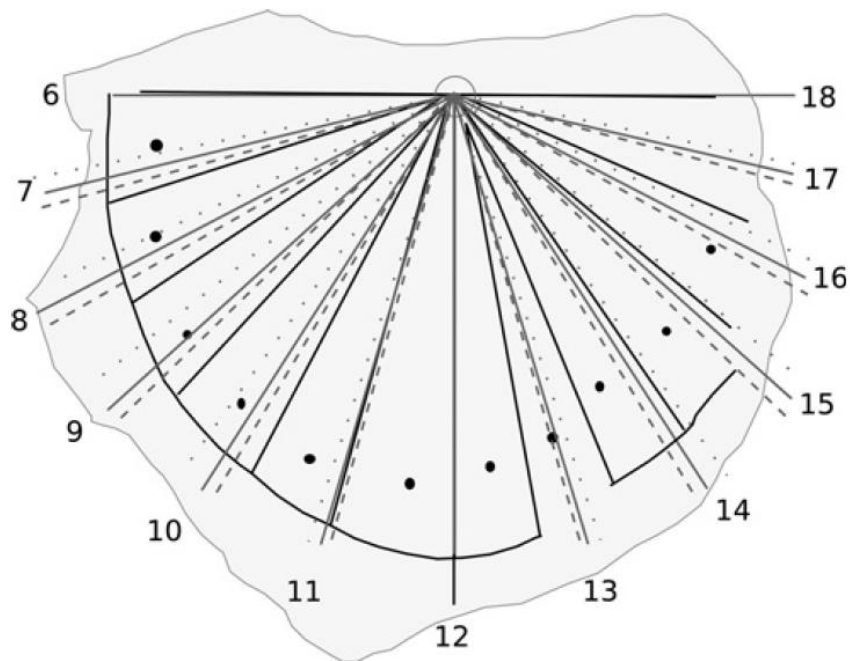


Рисунок 3. Солнечные часы с нанесенными существующими часовыми линиями (черные сплошные линии), рассчитанными для равноденствия (серые сплошные линии), для летнего солнцестояния (серые пунктирные линии) и для зимнего солнцестояния (серые линии из точек) [15].

Актуальность этой темы не уменьшается со времени обнаружения первых фрагментов солнечных часов в Древнем Египте, т.к. до сих пор не было предложено моделей, достаточно полно описывающих их конструкцию, и позволяющих определять время с их помощью простым способом и с достаточно высокой точностью.

В результате нашего исследования была проведена реконструкция и разработаны новые модели древнеегипетских вертикальных и L-образных солнечных часов, а также способы измерения времени с их помощью.

Вертикальные солнечные часы из Долины Царей

В процессе исследований, мы проанализировали разметку солнечных часов из Долины Царей. Проведя расчеты для горизонтальных и вертикальных солнечных часов, мы пришли к выводу о наибольшем сходстве разметки найденных часов с разметкой вертикальных солнечных часов с *наклонным гномоном*, особенно в диапазоне от 6 до 12 часов.

Т.к. на кадре солнечных часов, кроме часовых линий, были нанесены точечные метки, примерно делящие часовые сектора пополам, мы рассчитали часовые углы через каждые 0.5 часа. Расчеты часовых углов мы производили по формулам 1 и 2 [16]:

$$H' = \arctg(\cos \varphi \cdot tgH), \quad (1)$$

$$H = 15^{\circ} \cdot (t - 12) \quad (2)$$

где H – часовой угол Солнца (для полудня $H=0^{\circ}$), t – время, H' – угол между полуденной линией и часовой линией на часах, ϕ – широта местности (рис. 4).

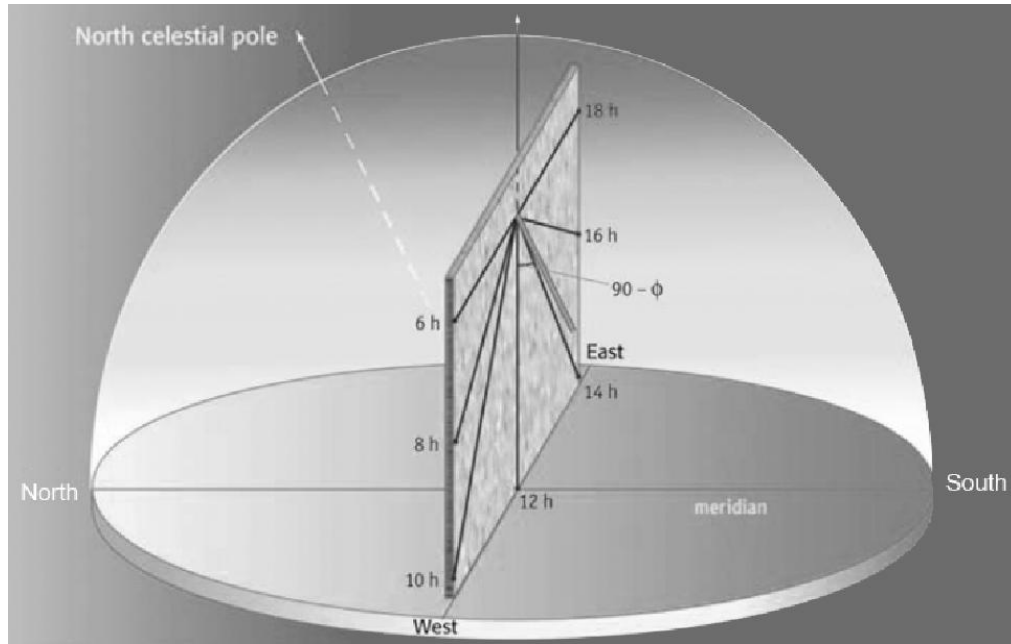


Рисунок 4. Схема, иллюстрирующая работу вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном [17].

Результаты наших расчетов для географической широты Долины Царей (Египет) $\phi = 25^{\circ}44'$ N в диапазоне от 6 до 18 часов представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Часовые углы вертикальных солнечных часов для широты $25^{\circ}44'$ N (до полудня). H – часовой угол Солнца, H' – рассчитанный угол между полуденной линией и часовой линией, t – время.

	t, (час)												
	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0
$H, (^{\circ})$	-90.0	-82.5	-75.0	-67.5	-60.0	-52.5	-45.0	-37.5	-30.0	-22.5	-15.0	-7.5	0.0
$H', (^{\circ})$	-90.0	-81.7	-73.4	-65.3	-57.3	-49.6	-42.0	-34.7	-27.5	-20.5	-13.6	-6.8	0.0

Таблица 2. Часовые линии вертикальных солнечных часов для широты $25^{\circ}44'$ (после полудня). H – часовой угол Солнца, H' – рассчитанный угол между полуденной линией и часовой линией, t – время.

	t, (час)												
	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0
$H, (^{\circ})$	0.0	7.5	15.0	22.5	30.0	37.5	45.0	52.5	60.0	67.5	75.0	82.5	90.0
$H', (^{\circ})$	0.0	6.8	13.6	20.5	27.5	34.7	42.0	49.6	57.3	65.3	73.4	81.7	90.0

Часовые линии были нанесены на фотографию солнечных часов, найденных в Долине Царей (рис. 5).

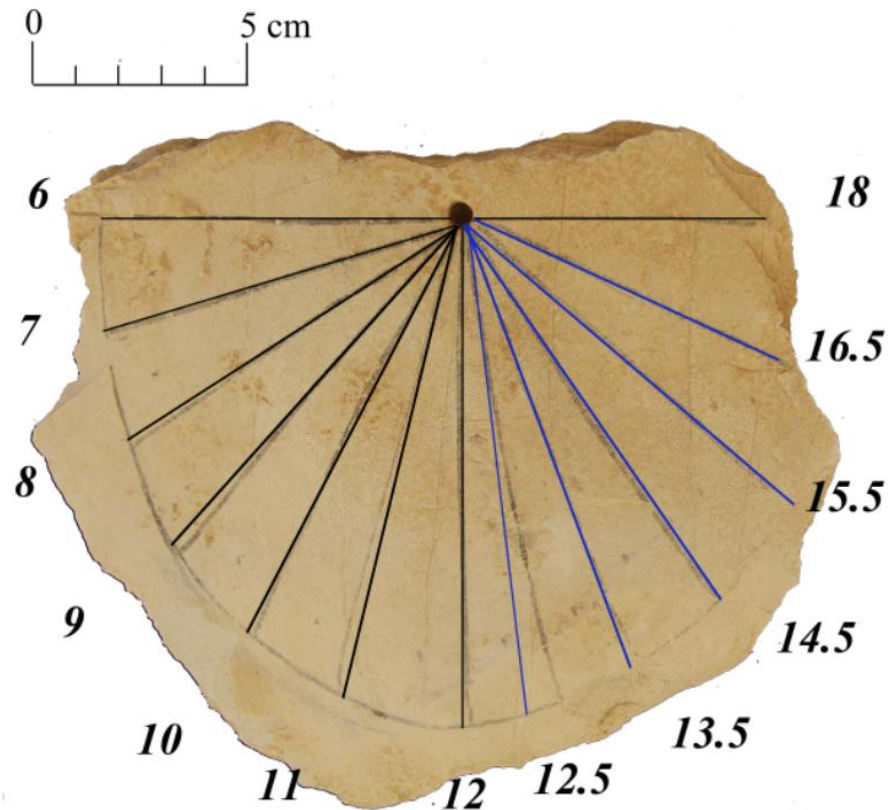


Рисунок 5. Фотография солнечных часов, найденных в Долине Царей, с существующими линиями (серые линии), с линиями, рассчитанными для целых часов (черные линии), и рассчитанными получасовыми линиями (синие линии). Цифрами отмечено время, соответствующее часовым углам.

Для сравнения точности совпадения часовых линий модели, предложенной швейцарскими исследователями, и нашей модели, мы воспользовались значениями измеренных часовых углов H''_f и результатами расчетов часовых углов для вертикальных солнечных часов с горизонтальным гномоном из статьи швейцарских исследователей H''_{AQU} , H''_{WSW} , H''_{SSW} (таб. 3, таб.4) [18]. Для сравнения результатов мы использовали часовые углы $H''=H'+90^0$ (таб. 1, таб. 2).

Средняя погрешность разметки модели вертикальных солнечных часов с горизонтальным гномоном, относительно разметки солнечных часов из Долины Царей: для равноденствия составляет 6^0 , для зимнего солнцестояния $8,2^0$, для летнего солнцестояния 5^0 . Средняя погрешность разметки предложенной нами модели составляет всего $0,9^0$. Таким образом, все линии на известняковом диске, найденном в Долине Царей, достаточно хорошо совпадают с расчетными часовыми линиями для вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном и получасовым смещением в послеполуденное время.

Самое яркое исключение составляет часовая линия, соответствующая 12.5 часам. Она нанесена небрежно и больше всех отклоняется от рассчитанной линии. Нанесенная после нее линия отмечает 13.5 часов. Каждая последующая часовая линия также нанесена через один час. Мы предполагаем, что линия 12.5 часов была нанесена формально и не имела большого значения, по сравнению с остальными часовыми линиями. Возможно, что время с 12 часов (полдень) до 13.5 часов было объединено и соответствовало полуденному отдыху рабочих, рядом с каменным жилищем которых и были обнаружены эти солнечные часы.

Таблица 3. Часовые углы вертикальных солнечных часов (до полудня). H – часовой угол Солнца, H'' - рассчитанный часовой угол, H''_f – измеренный часовой угол, H''_{AQU} – рассчитанный часовой угол для часов с горизонтальным гномоном в равноденствие, H''_{WSW} - в зимнее солнцестояние, H''_{SSW} - в летнее солнцестояние, t - время.

	t, (час)												
	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12
$H''_f, (^{\circ})$	0.0	-	17.0	-	33.0	-	47.0	-	60.0	-	76.0	-	90.0
$H''_{AQU}, (^{\circ})$	0.0	-	14.0	-	28.0	-	42.5	-	57.5	-	73.5	-	90.0
$H''_{WSW}, (^{\circ})$	0.0	-	12.0	-	25.0	-	39.0	-	54.5	-	72.0	-	90.0
$H''_{SSW}, (^{\circ})$	0.0	-	15.0	-	29.5	-	44.0	-	59.0	-	74.5	-	90.0
$H'', (^{\circ})$	0.0	8.3	16.6	24.7	32.7	40.4	48.0	55.3	62.5	69.5	76.4	83.2	90.0
$H''_F - H''_{AQU}, (^{\circ})$	0.0	-	3.0	-	5.0	-	4.5	-	2.5	-	2.5	-	0.0
$H''_F - H''_{WSW}, (^{\circ})$	0.0	-	5.0	-	8.0	-	8.0	-	5.5	-	4.0	-	0.0
$H''_F - H''_{SSW}, (^{\circ})$	0.0	-	2.0	-	3.5	-	3.0	-	1.0	-	1.5	-	0.0
$H''_F - H'', (^{\circ})$	0.0	-	0.4	-	0.3	-	-1.0	-	-2.5	-	-0.4	-	0.0

Таблица 4. Часовые углы вертикальных солнечных часов (после полудня). H – часовой угол Солнца, H'' - рассчитанный часовой угол, H''_f – измеренный часовой угол, H''_{AQU} – рассчитанный часовой угол для часов с горизонтальным гномоном в равноденствие, H''_{WSW} - в зимнее солнцестояние, H''_{SSW} - в летнее солнцестояние, t - время.

	t, час											
	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	18	
$H''_f, (^{\circ})$	100.0	100.0	111.0	111.0	124.0	124.0	139.0	139.0	156.0	156.0	180.0	
$H''_{AQU}, (^{\circ})$	-	106.5	-	122.5	-	137.5	-	152.0	-	166.0	180.0	
$H''_{WSW}, (^{\circ})$	-	108.0	-	125.5	-	141.0	-	155.0	-	168.0	180.0	
$H''_{SSW}, (^{\circ})$	-	105.5	-	121.5	-	136.0	-	150.5	-	165.0	180.0	
$H'', (^{\circ})$	96.8	103.6	110.5	117.5	124.7	132.0	139.6	147.3	155.3	163.4	180.0	
$H''_F - H''_{AQU}, (^{\circ})$	-	6.5	-	11.5	-	13.5	-	13.0	-	10.0	0.0	
$H''_F - H''_{WSW}, (^{\circ})$	-	8.0	-	14.5	-	17.0	-	16.0	-	12.0	0.0	
$H''_F - H''_{SSW}, (^{\circ})$	-	5.5	-	10.5	-	12.0	-	11.5	-	9.0	0.0	
$H''_F - H'', (^{\circ})$	3.2	-	0.5	-	-0.7	-	-0.6	-	0.7	-	0.0	

После времени полуденного отдыха рабочее время так же, как и до полудня, делилось на целые часы. При этом первый рабочий час начинался в 13.5 часов, а каждый последующий – ровно через час. В 16.5 часов рабочий день, скорее всего, заканчивался, т.к ни часовых линий, ни точечных меток после 16.5 до 18 часов на диске нет. Следует отметить, что край часов обломан, поэтому, точечная метка вполне могла находиться на утраченном фрагменте солнечных часов. Линия 18 часов, скорее всего, была нанесена для симметрии с линией 6 часов.

Время полудня было выделено и связано с отдыхом и/или принятием пищи во многих традициях. Так, например, известно, что в Древней Греции рабочий день начинался с рассвета и длился до полудня, который отмечал конец рабочего времени (Anth. Pal., X, 43 - Anthologia Palatina). Обеденное время в Древнем Риме (Mart., IV, 8 - Марк Валерий Марциал, Marcus Valerius Martialis), приходилось на период близкий к полудню [19]. Во многих странах с жарким климатом до сих пор широко распространен полуденный отдых - сиеста. Возможно, разметка солнечных часов, обнаруженных в Долине Царей, является одним из старейших свидетельств о существовании этой традиции еще в эпоху Древнего Египта.

То, что часовые линии, предложенной нами модели вертикальных солнечных часов для часов равной и постоянной длительности, с такой высокой точностью совпадают с часовыми линиями найденных в Долине Царей солнечных часов, свидетельствует в пользу реальности существования в Древнем Египте, как вертикальных часов с наклонным гномоном, так и системы деления суток на 24 равных часа. В связи с этим, нами была предпринята попытка применить эту систему для реконструкции способа измерения времени с помощью L-образных солнечных часов.

L-образные солнечные часы

Хорошо известно изображение солнечных часов в виде L-образного бруска из гробницы Сети I (рис. 6) [20].

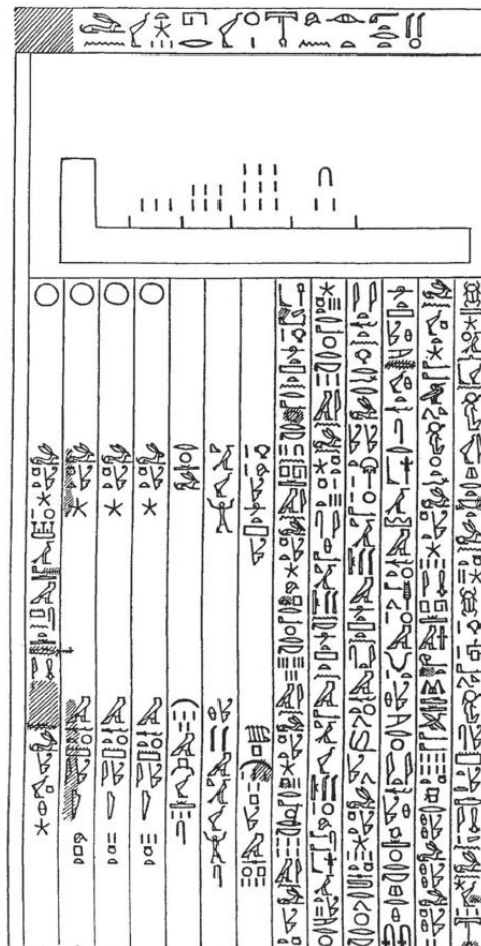


Рисунок 6. Изображение солнечных часов из гробницы Сети I в Абидосе [2].

Солнечные часы L-образной конструкции из зеленого сланца датируемые эпохой правления Тутмоса III хранятся в Берлинском Египетском Музее под инвентарным номером 19744 (рис. 7b), а часы из Файюма датируемые 1000-600 гг. до н.э.- под номером 19743 (рис. 7a) [3].

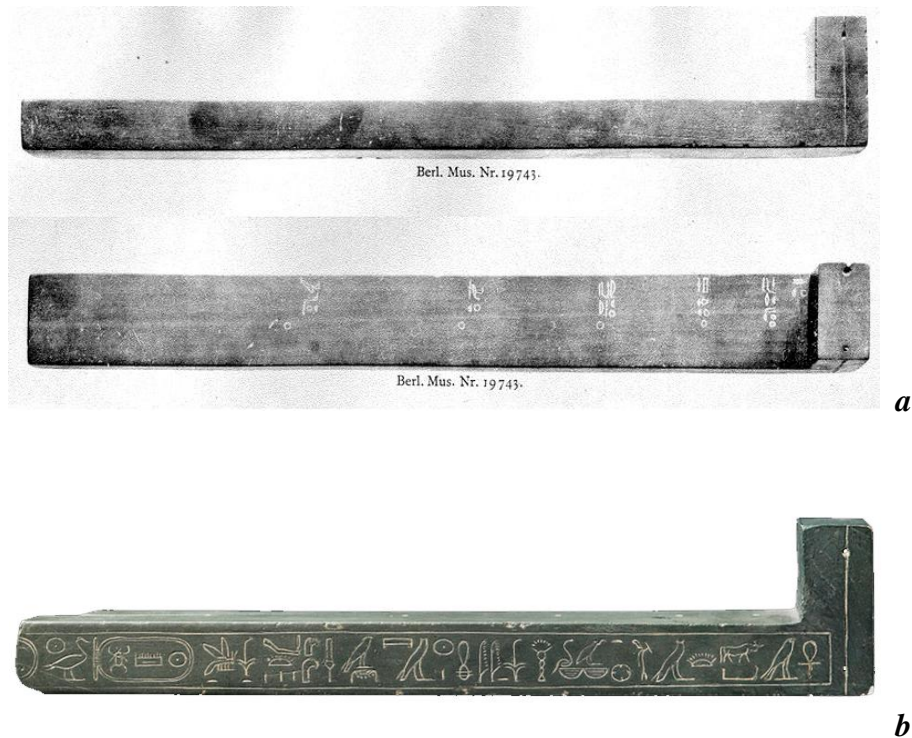


Рисунок 7. Солнечные часы с линейной шкалой: **a** - солнечные часы с инвентарным номером 19743⁴, **b** - солнечные часы с инвентарным номером 19744⁵

Со времени их обнаружения, было выдвинуто несколько гипотез о том, как должны были работать такие часы. Все гипотезы основывались на предположении, что измерять время необходимо было в системе деления суток на часы переменной длительности [21-26]. Ни одна из представленных гипотез так и не смогла описать достаточно точного и простого способа измерения времени с помощью солнечных часов L-образной конструкции.

Достаточно хорошо известен в научном мире фрагмент папируса из Таниса римского времени, на котором в верхней части рисунка изображены линии, напоминающие часовые линии вертикальных часов, а под ними, предположительно, изображен фрагмент L-образных часов [27]. Фрагмент папируса с верхней частью последних и центром веерообразно расходящихся линий, к сожалению, отсутствует.

Мы предлагаем следующую простую реконструкцию изображения (рис. 8). Мы считаем, что в нижней части рисунка могут быть изображены L-образные солнечные часы стандартного вида, без какой либо дополнительной перекладки или бруска, увеличивающего их высоту. В верхней же части рисунка, в виде точки, к которой сходятся часовые линии, был изображен гномон, перпендикулярный плоскости рисунка.

⁴ <http://members.aon.at/sundials/berlin-egypte.htm>

⁵ <http://www.aegyptisches-museum-berlin-verein.de/c31.php>

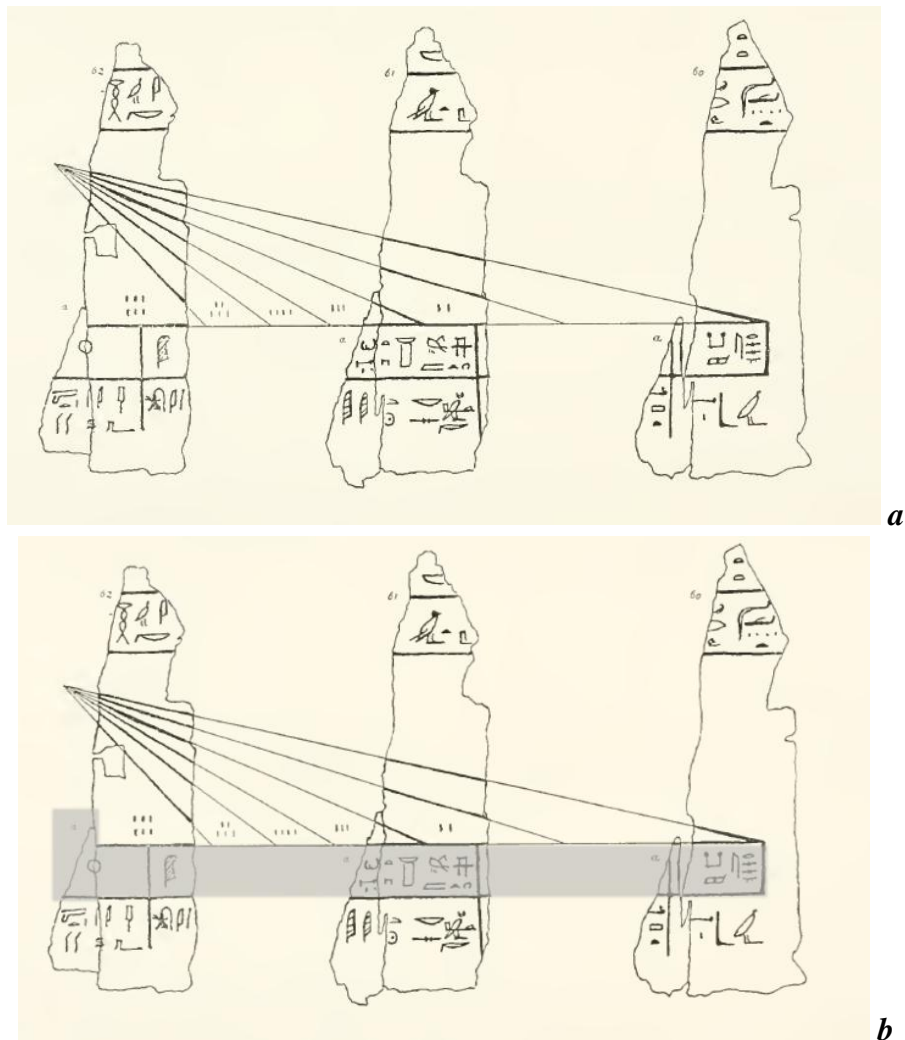


Рисунок 8. Фрагмент папируса, на котором предположительно изображены вертикальные солнечные часы (частичная реконструкция Флендерса Питри (Flinders Petrie)) [28]: **a** – рисунок фрагмента папируса, **b** – наша реконструкция изображения L-образных солнечных часов (выделено серым цветом) на том же фрагменте папируса.

Исходя из такой интерпретации изображения на папирусе из Таниса, вертикальные солнечные часы могли функционировать совместно с L-образными часами, дополняя друг друга. Для выяснения такой возможности, мы рассчитали по формуле 3 относительные длины отрезков a_i между проекциями соседних часовых линий на произвольную горизонтальную линию (рис. 9):

$$a_i = \frac{tg(H'_i) - tg(H'_{i-1})}{tg(H'_1)} \quad (3)$$

где $t_i \in [11, 10, 9, 8]$

где H'_i - рассчитанный угол между полуденной линией и i -й часовой линией ($H'_0 = 0^0$), H'_1 - рассчитанный угол между полуденной линией и первой часовой линией; i – номер часовой линии, t_i – время, соответствующее часовой линии, a_i – относительная длина отрезка, соответствующего i -й часовой линии ($a_1 = 1$).

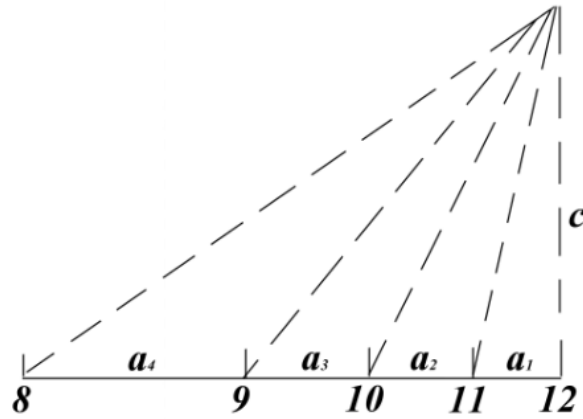


Рисунок 9. Схема, иллюстрирующая расположение отрезков a_i , образованных проекциями соседних часовых линий вертикальных солнечных часов во временном диапазоне от 8 до 12 часов, c – расстояние до места крепления гномона.

Результаты расчетов для идеальных вертикальных солнечных часов на широте $25^{\circ} 44'$ N (Долина Царей, Египет) представлены в таблице 5.

Таблица 5. Расчитанная относительная длина отрезков a_i для идеальных вертикальных солнечных часов во временном диапазоне от 8 до 12 часов. H'_i – расчитанный угол между полуденной линией и i -й часовой линией, t_i – время, соответствующее i -й часовой линии, a_i – относительная длина отрезка на горизонтальной линии, соответствующего i -й часовой линии.

i	1	2	3	4
t_i , (час)	11	10	9	8
H'_i , ($^{\circ}$)	13.6	27.5	42	57.3
$tg(H'_i)$	0.24	0.52	0.90	1.56
a_i	1.0	1.2	1.6	2.7

Для сравнения с реальными L-образными солнечными часами, мы также произвели аналогичный расчет для вертикальных солнечных часов из Долины Царей (таб. 6).

Таблица 6. Расчитанная относительная длина отрезков a_i для вертикальных солнечных часов из Долины Царей во временном диапазоне от 8 до 12 часов. H'_i – расчитанный угол между полуденной линией и i -й часовой линией, t_i – время, соответствующее i -й часовой линии, a_i – относительная длина отрезка на горизонтальной линии, соответствующего i -й часовой линии.

i	1	2	3	4
t_i , (час)	11	10	9	8
H'_i , ($^{\circ}$)	14	30	43	57
$tg(H'_i)$	0.25	0.58	0.93	1.54
a_i	1.0	1.3	1.4	2.4

Имея линейные размеры L-образных солнечных часов из берлинского музея (таб. 7), мы рассчитали относительные длины отрезков между соседними метками (таб. 8). Из полученных результатов можно сделать вывод, что относительные длины отрезков между соседними метками достаточно близки.

Таблица 7. Линейные параметры L-образных солнечных часов. l_i – расстояние между соседними метками (между “ i ” и “ $i+1$ ” меткой).

музейный номер часов	расстояние от начала бруска до первой метки, (см)	l_1 , (см)	l_2 , (см)	l_3 , (см)	l_4 , (см)	расстояние от последней метки до края бруска, (см)	общая длина бруска ^{6,7} , (см)
№19743	3.2	2.5	3.8	5.1	6.3	9.4	30.3
№19744	2.9	2.4	3.4	4.3	5.7	4.5	23.2

Таблица 8. Сводная таблица длин отрезков солнечных часов. a_i - относительная длина отрезка на горизонтальной линии, соответствующего i -й часовой линии для вертикальных солнечных часов или относительная длина отрезка между соседними метками на L-образных солнечных часах. I – идеальные вертикальные солнечные часы для широты $25^{\circ} 44'$ N (Долина Царей, Египет), II - вертикальные солнечные часы, обнаруженные в Долине Царей, III - L-образные солнечные часы № 19743, IV - L-образные солнечные часы № 19744.

	a_1	a_2	a_3	a_4
I	1.0	1.2	1.6	2.7
II	1.0	1.3	1.4	2.4
III	1.0	1.5	2.0	2.5
IV	1.0	1.4	1.8	2.4

Для сравнения мы также рассчитали абсолютную длину первого отрезка для вертикальных солнечных часов на уровне их нижнего края по формуле 4:

$$l_1 = c \cdot \operatorname{tg}(H'_1) \tag{4}$$

где $c=11.8$ (см) – высота крепления гномона, относительно нижнего края вертикальных солнечных часов из Долины Царей, H'_1 - угол между часовыми линиями 12 и 11 часов вертикальных солнечных часов.

В результате расчетов по формуле 4 получаем для идеальных солнечных часов $l_1=2.85$ (см), а для солнечных часов из Долины Царей $l_1=2.94$ (см). При учете высоты бруска L-образных солнечных часов, которая, в случае часов из берлинского музея, примерно равна одному дюйму - древнеегипетской единице длины один “djeba”, равной 18,75 мм [29], для

⁶ <http://members.aon.at/sundials/berlin-egypte.htm#1.2> Measuring of the height of the shadow respectively the length of the shadow with the help of an instrument

⁷ <http://www.aegyptisches-museum-berlin-verein.de/c31.php>

идеальных солнечных часов получаем $l_1=2.4$ (см) (как у солнечных часов №19744), а для солнечных часов из Долины Царей $l_1=2.5$ (см) (как у солнечных часов №19743).

Эти результаты подтверждают возможность совместной работы L-образных солнечных часов и вертикальных солнечных часов. Рисунок 10 иллюстрирует такую совместную работу. L-образные солнечные часы дополняют вертикальные солнечные часы, предоставляя возможность читать подписи к часовым меткам и интерпретировать показания вертикальных солнечных часов, т.к. на вертикальных солнечных часах надписи отсутствуют. Возможно, это делалось специально, чтобы ограничить круг людей, способных интерпретировать показания вертикальных солнечных часов. Похоже, что определять время должны были иметь возможность лишь специально подготовленные и уполномоченные люди, скорее всего, представители жречества.

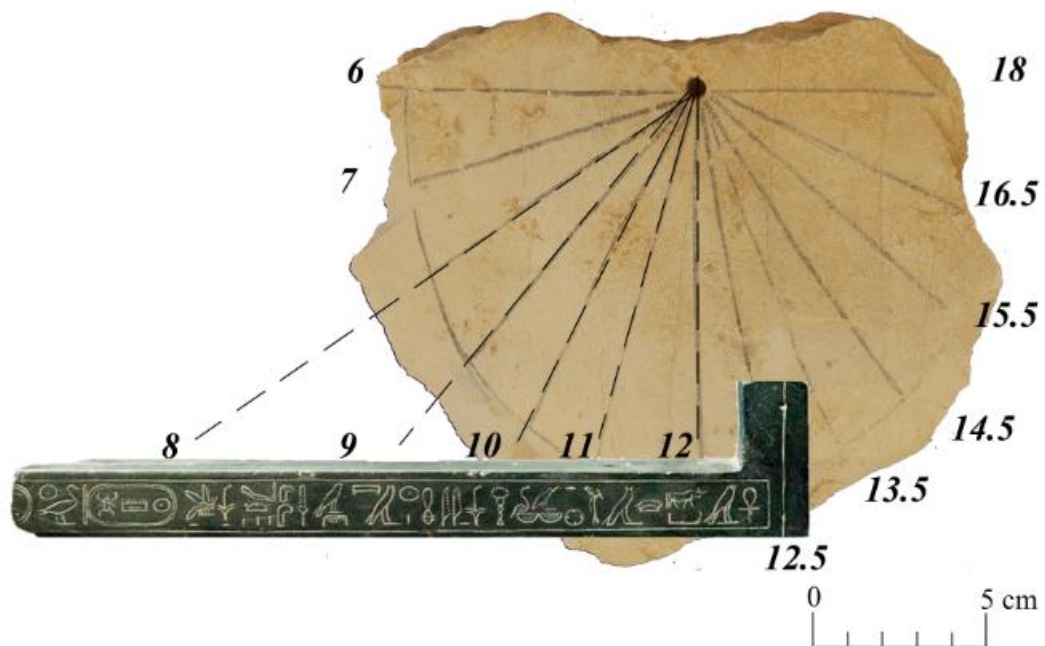


Рисунок 10. Комплекс из вертикальных солнечных часов, обнаруженных в Долине Царей, и L-образных солнечных часов №19744. Пунктирные линии иллюстрируют направления тени от гномона, соответствующие часовым линиям вертикальных солнечных часов.

В гробнице Сети I в Абидосе над изображением L-образных солнечных часов, рядом с метками, нанесены подписи в виде египетских цифр: 3, 6, 9, 12 (рис. 6). До сих пор не существует удовлетворительной гипотезы, позволяющей объяснить, как работали часы с такой разметкой, и что на самом деле обозначали эти числа. Мы предположили, что эти числа могут быть связаны с относительными длинами отрезков между соседними метками b_i в случае, когда отсчет начинается, с 12 часов, но первой часовой линии соответствует 12.5 часов (рис. 11). Расчет мы проводили по формуле 5:

$$b_i = \frac{(tg(H'_i) - tg(H'_{i-1}))}{tg(H'_1)} \quad (5)$$

где $t_i \in [12.5, 13.5, 14.5, 15.5]$

где H_i' - рассчитанный угол между полуденной линией и i -й часовой линией, H_1' - рассчитанный угол между полуденной линией и первой часовой линией; i – номер часовой линии, t_i – время, соответствующее часовой линии, b_i – относительная длина отрезка, соответствующего i -й часовой линии ($b_1=1$).

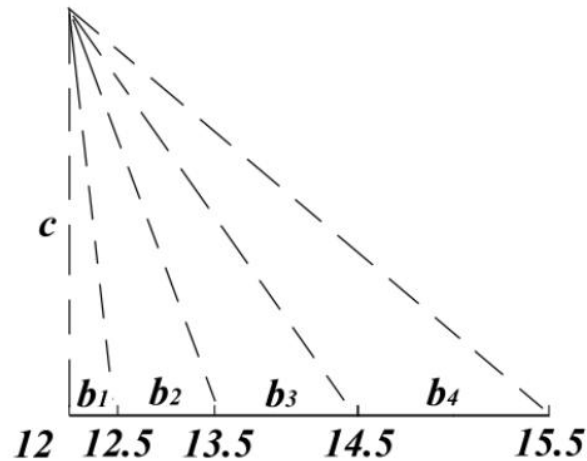


Рисунок 11. Схема, иллюстрирующая расположение отрезков, образованных проекциями соседних часовых линий вертикальных солнечных часов во временном диапазоне от 12.0 до 15.5 часов, c – расстояние до места крепления гномона.

Результаты расчетов по формуле 5 для идеальных вертикальных солнечных часов на широте $25^{\circ} 44'$ N (Долина Царей, Египет), во временном диапазоне от 12.0 до 15.5, часов представлены в таблице 7.

Таблица 7. Расчитанная относительная длина отрезков b_i для идеальных вертикальных солнечных часов во временном диапазоне от 12 до 15.5 часов. H_i' - рассчитанный угол между полуденной линией и i -й часовой линией, t_i – время, соответствующее i -й часовой линии, b_i – относительная длина отрезка на горизонтальной линии, соответствующего i -й часовой линии, $\approx b_i$ - относительная длина отрезка, округленная до целых единиц.

i	1	2	3	4
t_i , (час)	12.5	13.5	14.5	15.5
H_i' , ($^{\circ}$)	6.8	20.5	34.7	49.6
$tg(H_i')$	0.12	0.37	0.69	1.17
b_i	1.0	2.1	2.7	4.0
$\approx b_i$	1	2	3	4
$\approx b_i \times 3$	3	6	9	12

Расчитанные относительные длины отрезков b_i при округлении до целых и умножении на три дают такой же ряд чисел, как и на фреске в гробнице Сети I: 3, 6, 9, 12. Т.к. у этих чисел есть общий множитель – «три», то логично предположить, что на фреске были изображены,

все-таки, не относительные длины отрезков, а их абсолютные значения, например, длины в древнеегипетских дюймах (djeba).

Предложенный нами способ измерения времени с помощью L-образных солнечных часов не противоречит инструкции по их применению на древнеегипетском языке, размещенной на фреске в горбнице Сети I под рисунком солнечных часов, перевод которой выполнен только частично [30].

Рисунок 12 иллюстрирует совместную работу вертикальных солнечных часов (на примере солнечных часов из Долины Царей) и L-образных солнечных часов с получасовым первым временным промежутком.

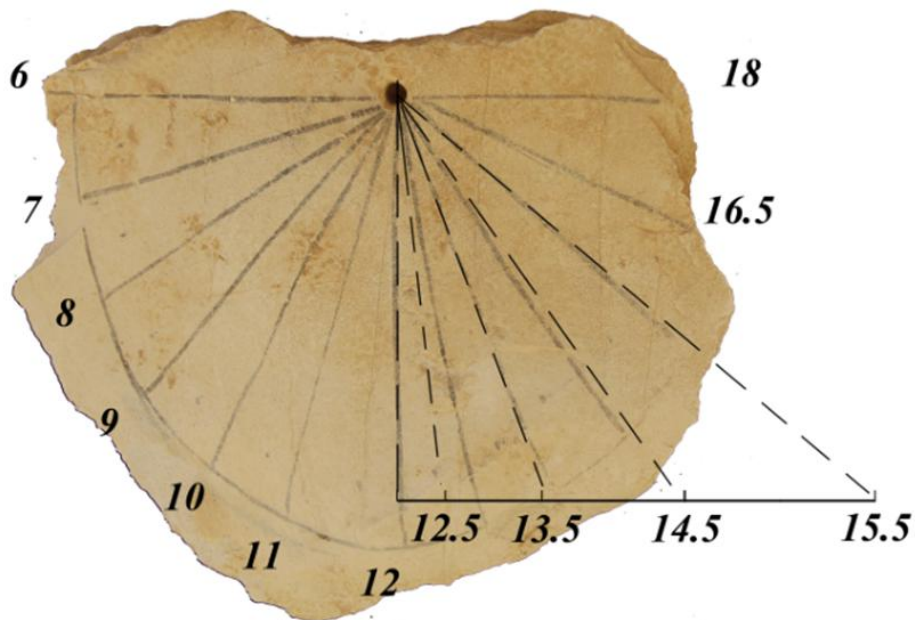


Рисунок 12. Комплекс из вертикальных солнечных часов, обнаруженных в Долине Царей, и L-образных солнечных часов с получасовым первым временным промежутком. Пунктирные линии иллюстрируют направления тени от гномона, соответствующие часовым меткам на L-образных солнечных часах.

Имея L-образные солнечные часы обоих типов – с часовым и получасовым первым временным промежутком, можно было более тонко и сложно размечать вертикальные часы и организовывать рабочее время.

Заключение

Таким образом, в результате нашего исследования была проведена реконструкция и предложены новые модели функционирования древнеегипетских солнечных часов. Предлагаемая нами модель, описывающая вертикальные солнечные часы, представляет собой вертикальные солнечные часы с наклонным гномоном, учитывающим широту местности. Она основывается на допущении о существовании у древних египтян представлений о часе (и получасе) равной длительности на протяжении суток, не зависящей от времени года. Предположения о возможном измерении получасовых промежутков в древности уже высказывались [31].

Предлагаемая нами модель характеризуется разметкой часовых линий с 6 до 12 часов через каждый час. С 12 до 12.5 часов производится смещение в разметке часовых линий на полчаса. Мы связываем получасовое смещение в разметке с необходимостью маркировки полуторачасового временного промежутка полуденного отдыха для рабочих - традиционной сиесты, характерной для стран с жарким климатом. Аналогичное выделение полутора часов в полуденное время уже обнаруживали на солнечных часах XIII - XII века до н.э. [32].

В рамках предложенной нами модели средняя погрешность разметки солнечных часов из Долины Царей равна 0.9^0 , что соответствует средней точности измерения времени около 3.6 минут. Такая точность почти в четыре раза превышает точность модели, предложенной С. Бикель и Р. Гаучей (S. Bickel & R. Gautschi) и свидетельствует в пользу большей реалистичности предлагаемой нами модели, позволяющей с высокой степенью достоверности реконструировать и особенности конструкции солнечных часов из Долины Царей, и способ измерения времени с их помощью.

Как следствие реконструкции вертикальных солнечных часов, нами была разработана и предложена модель, описывающая конструктивные особенности и функционирование L-образных солнечных часов. Они должны были работать совместно с наклонным гномоном, как и у вертикальных солнечных часов или непосредственно с вертикальными солнечными часами. В таком случае, L-образные солнечные часы могли дополнять вертикальные солнечные часы, предоставляя возможность читать подписи к часовым меткам и интерпретировать показания вертикальных солнечных часов, т.к. на вертикальных солнечных часах надписи отсутствовали.

В процессе исследования мы обнаружили, что существовало, как минимум, два типа L-образных солнечных часов. У первого типа метки на бруске L-образных солнечных часов отмечали место падения тени от гномона через каждый час, начиная с 12 часов. У второго типа – первый промежуток между метками соответствовал получасу, а остальные по часу.

Предположительно, L-образные солнечные часы могли использоваться и для разметки вертикальных солнечных часов. Совместное использование L-образных солнечных часов обоих, выделенных нами типов, позволяло бы делать более сложную разметку вертикальных солнечных часов и, тем самым, например, более оптимально организовывать рабочее время и его учет.

Литература

1. Пипуныров В. Н. История часов с древнейших времен до наших дней. Москва: Наука, 1982, с. 21.
2. Frankfort H. The Cenotaph of Seti I at Abydos (Egypt Exploration Society. Excavation Memoirs 39), London, 1933, vol.2, plate 33.
3. Borchardt L. Altägyptische Sonnenuhren, ZÄS, 1911, vol. 48, pp. 9-17.
4. Пипуныров В. Н. История часов с древнейших времен до наших дней. Москва: Наука, 1982, рис. 5.
5. Пономаренко В.О., Сарычев Д.А., Водолажская Л.Н. Применение рентгенофлуоресцентного анализа для исследования химического состава амфорной керамики // Вестник Южного Научного Центра РАН, Том. 8, №1, 2012. с. 9-17.

6. Водолажская Л.Н., Невский М.Ю. Археoaстрономические исследования святилища Каратаево-Ливенцовского комплекса // Методика исследования культовых комплексов. Барнаул: ООО «Пять плюс», 2012, с. 5-13.
7. Vodolazhskaya L., Larenok V. Archaeoastronomical analysis of Levinsadovka sacrificial complex (South Russia) // *Archaeoastronomy and Ancient Technologies* 2013, 1(1), pp. 5-25.
8. Vodolazhskaya L. Reconstruction of Heron's formulas for calculating the volume of vessels, in Posluschny, Axel; Lambers, Karsten; Herzog, Imela, *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, Berlin, April 2–6, 2007., *Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte*, Bd. 10, Berlin: Habelt; Propylaeum-DOC, 2008, pp. 1–7.
9. Водолажская Л.Н., Водолажский Д.И., Ильюков Л.С. Методика компьютерной фиксации графического материала археологических раскопок на примере Каратаевской крепости // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер», 2003, № 31, с. 248-258.
10. Водолажская Л.Н., Водолажский Д.И., Мягкова Ю.Я. Компьютерная археозоологическая информационная система ARCHEZOO – 2000 // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер», 2004, № 32, с. 188-189.
11. Bickel S., Gautschy R. Eine ramessidische Sonnenuhr im Tal der Könige. *Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde* 2014, Volume 96, Issue 1, pp. 3-14.
12. Бикерман Э. Хронология древнего мира. Ближний Восток и античность. Москва: Наука, 1975, с. 11.
13. Borchardt L. *Die altägyptische Zeitmessung*. Berlin, Leipzig, W. de Gruyter & co., 1920, 70 p.
14. Bickel S., Gautschy R. Eine ramessidische Sonnenuhr im Tal der Könige. *Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde* 2014, Volume 96, Issue 1, pp. 3-14.
15. Bickel S., Gautschy R. Eine ramessidische Sonnenuhr im Tal der Könige. *Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde* 2014, Volume 96, Issue 1, pp. 3-14.
16. Savoie D. *Sundials design construction and use*. Springer, 2009, p. 91.
17. Savoie D. *Sundials design construction and use*. Springer, 2009, fig. 7.2.
18. Bickel S., Gautschy R. Eine ramessidische Sonnenuhr im Tal der Könige. *Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde* 2014, Volume 96, Issue 1, pp. 3-14.
19. Ideler L., *Lehrbuch der Chronologie*. Publisher: A. Rücker, 1831, p. 260.
20. Frankfort H. *The Cenotaph of Seti I at Abydos* (Egypt Exploration Society. Excavation Memoirs 39), London, 1933, vol.2, plate 33.
21. Borchardt L. *Die altägyptische Zeitmessung*. Berlin, Leipzig, W. de Gruyter & co., 1920, 70 p.
22. Borchardt L. *Altägyptische Sonnenuhren*, ZÄS, 1911, vol. 48, pp. 9-17.
23. Bruins E.M. *The Egyptian shadow clock*. *Janus* 52, 1965, pp. 127-137.
24. Symons S. *Ancient Egyptian astronomy: timekeeping and cosmography in the new kingdom*. University of Leicester, 1999, pp. 136-151.

25. Rau H. Berlin instruments of the old Egyptian time of day destination. Berlin. <http://members.aon.at/sundials/berlin-egypte.htm> (accessed on 02.08.2014)
26. Couprie D.L. The Qumran roundel and the mrhyt: a comparative approach. *Dead Sea Discoveries*, 2013, vol. 20, No. 2, p. 264-306.
27. Symons S. Ancient Egyptian astronomy: timekeeping and cosmography in the new kingdom. University of Leicester, 1999, p. 133.
28. Griffith F. Ll., Flinders Petrie W. M., Brugsch H. Two Hieroglyphic Papyri from Tanis. London, Trübner & Co., 1889, pl. XV.
29. Clagett M. Ancient Egyptian Science: Ancient Egyptian mathematics. American Philosophical Society, 1999, pp. 7-8.
30. Symons S. Ancient Egyptian astronomy: timekeeping and cosmography in the new kingdom. University of Leicester, 1999, p. 130.
31. Potemkina T.M. Sanctuary of Eneolithic and Bronze Age in Western Siberia as a source of astronomical knowledge and cosmological ideas in antiquity. // *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*, 2014, 2(1), pp. 50-89.
32. Vodolazhskaya L. Analemmatic and horizontal sundials of the Bronze Age (Northern Black Sea Coast) // *Archaeoastronomy and Ancient Technologies* 2013, 1(1), pp. 68-88.