

Из истории техники
From the History of Technology

DOI: 10.31857/S0205960625010045

EDN: CNTSLY

**К ВОПРОСУ О РЕКОНСТРУКЦИИ ДРЕВНЕЕГИПЕТСКИХ
СОЛНЕЧНЫХ ЧАСОВ ИЗ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ РАСКОПОК
В ДОЛИНЕ ЦАРЕЙ**

ВОДОЛАЗЖСКАЯ Лариса Николаевна – Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Физико-технический институт; Россия, 295007, Республика Крым, Симферополь, просп. Академика Вернадского, д. 4;
эл. почта: vodolazhskayaln@cfuv.ru

© Л. Н. Водолажская

В статье изложены результаты анализа особенностей часовой разметки древнеегипетских вертикальных солнечных часов на известняковой плитке, обнаруженной в Долине Царей в 2013 г. археологической экспедицией Базельского университета (Швейцария). Приводятся расчеты углов, образуемых часовыми линиями с полуденной линией для вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном, и делается вывод о том, что разметка на плитке соответствует часовой разметке вертикальных солнечных часов со сдвигом на полчаса после полудня. Также выдвигается и доказывается гипотеза о совместном использовании вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном, аналогичных обнаруженным в Долине Царей, и древнеегипетских *L*-образных солнечных часов.

Ключевые слова: солнечные часы, наклонный гномон, часовая разметка, *L*-образные солнечные часы, папирус, Древний Египет, Долина Царей, Абидос.

Статья поступила в редакцию 9 октября 2023 г.

Принято к печати 2 апреля 2024 г.

**ON THE RECONSTRUCTION OF AN ANCIENT EGYPTIAN SUNDIAL FROM
ARCHAEOLOGICAL EXCAVATIONS IN THE VALLEY OF THE KINGS**

VODOLAZHSKAYA Larisa Nikolaevna – V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Physico-Technical Institute; Prospekt Vernadskogo, 4, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russia;
E-mail: vodolazhskayaln@cfuv.ru

© L. N. Vodolazhskaya

Abstract: The article analyzes hour marking on the ancient Egyptian vertical sundial made of a carved limestone slab, discovered in the Valley of the Kings in 2013 by the University of Basel's archaeological expedition. Calculations are given of the angles between hour lines and noon line for a vertical sundial with an inclined gnomon and it is concluded that the markings on the tiles correspond to the hour markings of the vertical sundial, with a half-hour shift after midday. A hypothesis is proposed and proved concerning simultaneous use of the vertical sundial with an inclined gnomon, similar to that discovered in the Valley of the Kings, and the ancient Egyptian L-shaped sundial.

Keywords: sundial, inclined gnomon, hour marking, L-shaped sundial, papyrus, Ancient Egypt, Valley of the Kings, Abydos.

For citation: Vodolazhskaya, L. N. (2025) К вопросу о реконструкции древнеегипетских солнечных часов из археологических раскопок в Долине Царей [On the Reconstruction of an Ancient Egyptian Sundial from Archaeological Excavations in the Valley of the Kings], *Voprosy istorii estestvoznaniia i tekhniki*, vol. 46, no. 1, pp. 61–74, DOI: 10.31857/S0205960625010045, EDN: CNTSLY.

Технологии Древнего Египта, в том числе в области измерения времени, достигали достаточно высокого уровня. Известно о существовании в Древнем Египте как водяных, так и солнечных часов различной конструкции. Наиболее раннее письменное свидетельство существования в Древнем Египте солнечных часов датируется временем царствования фараона Тутмоса III (1521–1473 гг. до н. э.). Этот фараон совершил несколько десятков походов как в Азию, так и в Нубию. В описании одной битвы при Мегиддо, которую он вел во время своего первого похода в Азию, имеется упоминание, что армия выступила в полдень, когда тень солнца «повертывается»¹. Считается, что определить этот момент можно было только по солнечным часам.

В гробнице Сети I (1300 г. до н. э.) также имеется изображение солнечных часов². В берлинском Египетском музее хранятся солнечные часы из зеленого сланца, датируемые эпохой правления Тутмоса III, а также часы из Файюма, датируемые 1000–600 гг. до н. э.³ Также известны солнечные часы времен царствования фараона Мернепта (1258–1239 гг. до н. э.), которые были найдены в Палестине (рис. 1)⁴.

В 2013 г. при археологических раскопках в Долине Царей экспедицией Базельского университета (Швейцария) под руководством С. Бикель и Э. Паулин-Гротте (*S. Bickel, E. Paulin-Grothe*) была обнаружена известняковая плитка с отверстием и веерообразно расходящимися от него линиями (рис. 2).

¹ *Antoniadi E.-M.* L'astronomie égyptienne: depuis les temps les plus reculés jusqu'à la fin de l'époque Alexandrine. Paris: Gauthier-Villars, 1934 (цит. по: *Пипуныров В. Н.* История часов с древнейших времен до наших дней. М.: Наука, 1982. С. 21).

² *Frankfort H.* The Cenotaph of Seti I at Abydos (Egypt Exploration Society. Excavation Memoirs 39). London: William Clowes and Sons, Limited, 1933. Vol. 2. Plate 33.

³ *Borchardt L.* Altägyptische Sonnenuhren // *Zeitschrift für ägyptische Sprache und Altertumskunde*. 1911. Bd. 48. S. 9–17.

⁴ *Пипуныров.* История часов... Рис. 5.



Рис. 1. Египетские часы (XIII в. до н. э.)



Рис. 2. Известняковая плитка, обнаруженная при археологических раскопках в Долине Царей⁵

В 2014 г. было опубликовано исследование С. Биккель и Р. Гаучо, в котором они отмечают, что наибольшее совпадение с линиями на плитке дают рассчитанные часовые линии вертикальных солнечных часов с кадром, ориентированным на юг, и с наклонным гномоном, ориентированным вдоль оси вращения Земли. При этом исследователи отметили, что хорошее совпадение наблюдается только в диапазоне от 7 до 12 часов дня. Объяснить плохое совпадение в диапазоне от 12 до 17 часов авторы исследования не смогли и сделали вывод, что линии на плитке нанесены приблизительно и, возможно, относятся к другому типу часов — вертикальным солнечным часам с горизонтальным гномоном, хотя рассчитанные ими для этого типа часов линии также плохо совпадали с большинством линий на плитке (рис. 3)⁶.

При изучении линий, изображенных на известняковой плитке, можно заметить асимметрию секторов полукруга относительно центральной линии (предполагаемой полуденной линии). В случае, если эти линии на плитке являются часовыми, центральная линия будет линией 12 часов, а симметричные относительно нее секторы, образованные прочерченными линиями, должны иметь равные угловые размеры. В рамках данного исследования, чтобы объяснить асимметрию секторов, была выдвинута гипотеза, что часовые линии могли быть нанесены не только для целых часов, но и для промежутков времени больших или меньших часа на величину половины часа. На то, что половину часа могли измерять и учитывать, указывают

⁵ Preliminary Report on the Work Carried out during the Season 2013. Fig. 5. Archived from the Original on 2016-12-28. Retrieved 2016-12-28 // <https://web.archive.org/web/20161228195941/https://aegyptologie.unibas.ch/forschung/projekte/university-of-basel-kings-valley-project/report-2013/>.

⁶ Bickel S., Gautschy R. Eine ramessidische Sonnenuhr im Tal der Könige // Zeitschrift für ägyptische Sprache und Altertumskunde. 2014. Bd. 141. Nr. 1. S. 3–14.

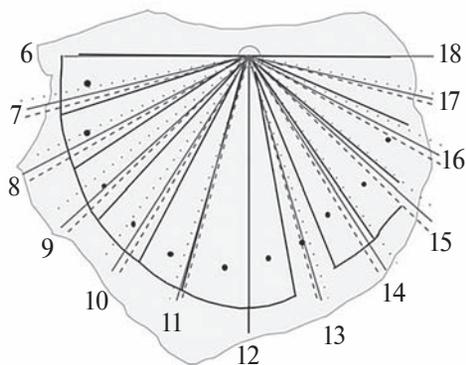


Рис. 3. Известняковая плитка из Долины Царей, чертеж с нанесенными часовыми линиями, рассчитанными для вертикальных солнечных часов с горизонтальным гномоном. Линии на известняковой плитке изображены на чертеже черными сплошными линиями, часовые линии, рассчитанные для равноденствия изображены серыми сплошными линиями, для летнего солнцестояния – серыми пунктирными линиями, для зимнего солнцестояния – серыми линиями из точек⁸

точки, нанесенные примерно посередине каждого сектора, связанного с часовыми линиями (рис. 2, 3). Для проверки гипотезы были проведены расчеты часовых углов через каждые полчаса по стандартной формуле для вертикальных солнечных часов, ориентированных строго на юг, с наклонным гномоном⁷:

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

$$H = 15 \cdot (t - 12), \quad (2)$$

где H – часовой угол Солнца (для полудня $t = 12$, $H = 0^\circ$), t – время (часы), H' – угол, образуемый часовой линией с полуденной линией (часовой угол солнечных часов), φ – широта местности (рис. 4).

Результаты расчетов величин часовых углов солнечных часов в диапазоне от 6 до 18 часов для географической широты Долины Царей (Египет) $\varphi = 25^\circ 44' N$ представлены

в табл. 1 и 2. Швейцарские исследователи измеряли и рассчитывали часовые углы солнечных часов относительно часовой линии шести часов, поэтому в таблице они пересчитаны относительно полуденной линии.

Среднее отклонение рассчитанных часовых углов солнечных часов от измеренных в диапазоне от 7 до 12 часов $\approx 0,8^\circ$ (табл. 1). В диапазоне от 12 до 17 часов среднее отклонение рассчитанных часовых углов солнечных часов для целых часов от измеренных равно $\approx 5,7^\circ$, а для половин часа $\approx 1^\circ$. Величина среднего отклонения рассчитанных часовых углов солнечных часов для половин часа от измеренных после полудня близка к значению величины среднего отклонения для целых часов до полудня.

На изображение плитки из Долины Царей⁹, в соответствии с расчетами, были нанесены часовые линии, соответствующие целым часам в промежутке от 6 до 12 часов, и часовые линии, соответствующие половинам часа в промежутке от 12,5 до 16,5 часов (рис. 5). При нанесении линий на фотографию вершины рассчитанных часовых линий совмещались с вершинами соответствующих линий на фотографии плитки.

⁷ Rohr R. R. J. Sundials: History, Theory, and Practice. New York: Dover Publications, 1996. P. 65.

⁸ Ibid. Abb. 6.

⁹ Preliminary Report...

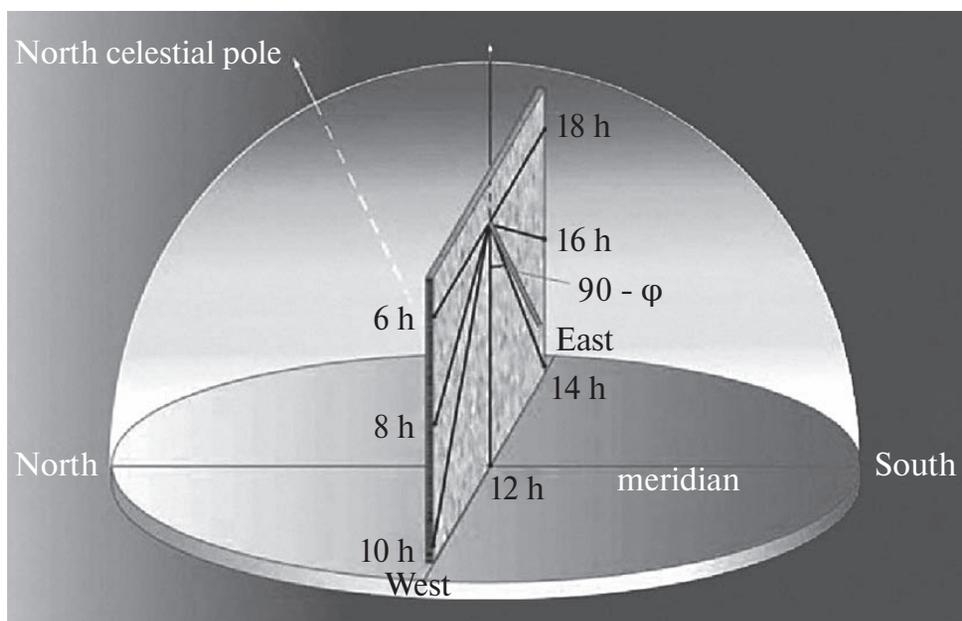


Рис. 4. Схема, иллюстрирующая принцип работы вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном¹⁰

Таблица 1. Часовые углы вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном до полудня для широты 25° 44' N (относительно полуденной линии): H – часовой угол Солнца, H' – часовой угол солнечных часов, рассчитанный по формуле (1), H_f – измеренный часовой угол солнечных часов на плитке из Долины Царей¹¹, H'' – часовой угол солнечных часов, рассчитанный для равноденствий (пересчитан относительно полуденной линии)¹², 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 , °	-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_f , °	–	–	-73,0	–	-57,0	–	-43,0	–	-30,0	–	-14,0	–	0,0
H' , °	-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
H'' , °	–	–	-73,5	–	-57,5	–	-42,0	–	-27,5	–	-13,5	–	0,0
$ H_f - H' $	–	–	0,4	–	0,3	–	1,0	–	2,5	–	0,4	–	0,0
$ H_f - H'' $	–	–	0,5	–	0,5	–	1,0	–	2,5	–	0,5	–	0,0

¹⁰ Savoie D. Sundials design Construction and Use. Chichester: Springer & Praxis Publishing. 2009. Fig. 7.2.

¹¹ Bickel, Gautschy. Eine ramessidische Sonnenuhr... Abb. 1.

¹² Ibid.

Таблица 2. Часовые углы вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном после полудня для широты $25^{\circ} 44' N$ (относительно полуденной линии): H – часовой угол Солнца, H' – часовой угол солнечных часов, рассчитанный по формуле (1), H_f – измеренный часовой угол солнечных часов на плитке из Долины Царей¹³, H'' – часовой угол солнечных часов, рассчитанный для равноденствий (пересчитан относительно полуденной линии)¹⁴, 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
$H_f, ^{\circ}$	0,0	10,0	10,0	21,0	21,0	34,0	34,0	49,0	49,0	66,0	66,0	–	–
$H'', ^{\circ}$	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
$H'', ^{\circ}$	0,0	–	13,5	–	27,5	–	42,0	–	57,5	–	73,5	–	–
$ H_f - H $	0,0	3,2	–	0,5	–	0,7	–	0,6	–	0,7	–	–	–
$ H_f - H'' $	0,0	–	3,5	–	6,5	–	8	–	8,5	–	7,5	–	–

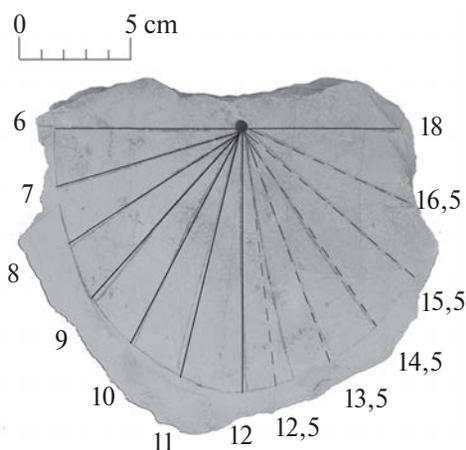


Рис. 5. Известняковая плитка из Долины Царей, фотография с нанесенными на нее часовыми линиями, рассчитанными для целых часов (сплошные линии) и для половин часа (пунктирные линии)

Необходимо также отметить, что часовая линия 12,5 часов нанесена на плитку достаточно небрежно. Возможно, что время с 12 до 13,5 часов соответствовало полуденному отдыху рабочих, рядом с каменным жилищем которых и были обнаружены эти солнечные часы. Похоже, что после 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 заканчивался, так как ни часовых линий, ни точечных меток после 16,5 и до 18 часов на плитке нет.

Время полудня было выделено и связано с отдыхом и 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 времени¹⁵. Обеденное время в Древнем Риме¹⁶ приходилось на период, близкий к полудню¹⁷. Во многих странах с жарким климатом до сих пор широко распространен полуденный отдых – сиеста.

¹³ Ibid.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Anthologia Palatina, X, 43.

¹⁶ Marcus Valerius Martialis, IV, 8.

¹⁷ Ideler L. Lehrbuch der Chronologie. Berlin: A. Rucker, 1831. P. 260.

Возможно, разметка солнечных часов, обнаруженных в Долине Царей, является одним из старейших свидетельств о существовании этой традиции еще в эпоху Древнего Египта.

L-образные солнечные часы

Хорошо известно изображение солнечных часов в виде L-образного бруска из гробницы Сети I (рис. 6). Солнечные часы L-образной конструкции из зеленого сланца, датированные эпохой правления Тутмоса III, хранятся в берлинском Египетском музее под инвентарным номером 19744, а часы из Файюма, датированные 1000–600 гг. до н. э., — под номером 19743¹⁸ (рис. 7).

Также 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 солнечных часов (рис. 8а)¹⁹. Фрагмент папируса с верхней частью L-образных солнечных часов и центром веерообразно расходящихся линий, к сожалению, отсутствует.

В рамках данного исследования была предложена реконструкция — восстановление более полного изображения, которое проиллюстрировано на рис. 8б. В нижней части рисунка серым цветом изображены L-образные солнечные часы, как на рис. 7, без какой-либо дополнительной перекладки или бруска. В верхней части рисунка, в точке, к которой сходятся веерообразные линии, предполагается отверстие/место крепления гномона, а веерообразные линии являются часовыми линиями вертикальных солнечных часов, аналогично линиям на плитке из Долины Царей.

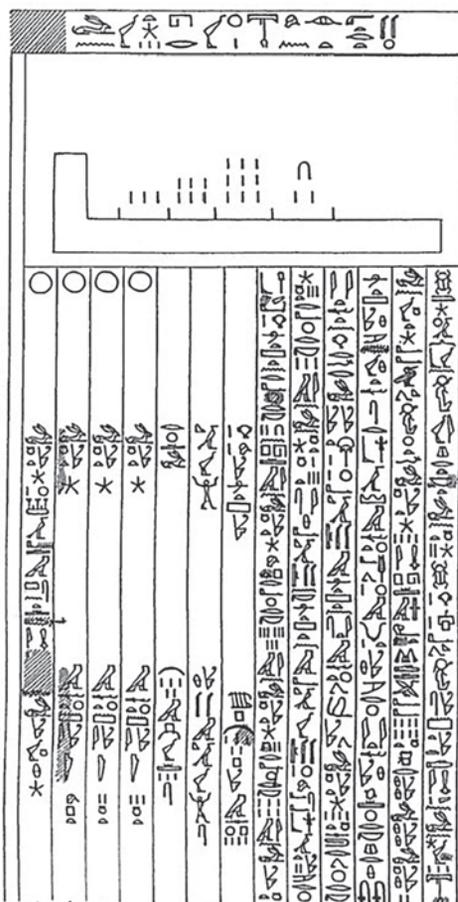


Рис. 6. Изображение солнечных часов из гробницы Сети I в Абидосе²⁰

¹⁸ Borchardt. Altägyptische Sonnenuhren... P. 9–17.

¹⁹ Symons S. Ancient Egyptian Astronomy: Timekeeping and Cosmography in the New Kingdom. Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy. Department of Mathematics and Computer Science, University of Leicester. Leicester, 1999. P. 133.

²⁰ Frankfurt. The Cenotaph of Seti I... Plate 33.

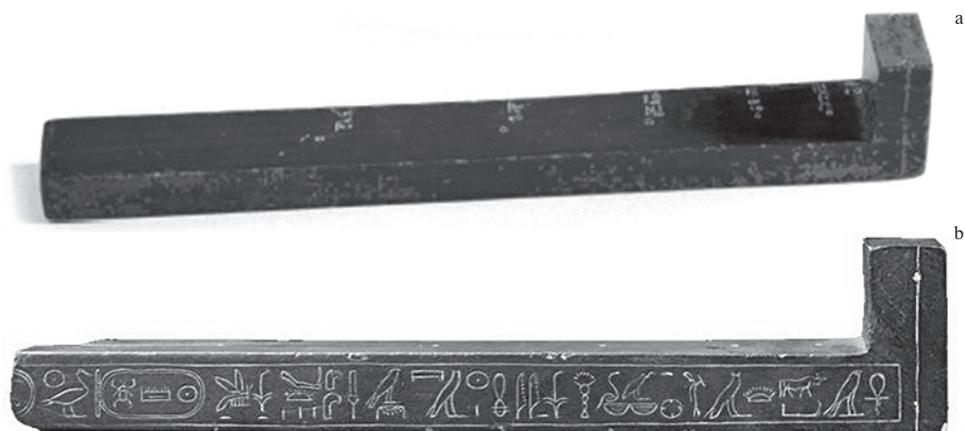


Рис. 7. L-образные солнечные часы с линейной шкалой: а – солнечные часы с инвентарным номером 19743²¹, б – солнечные часы с инвентарным номером 19744²²

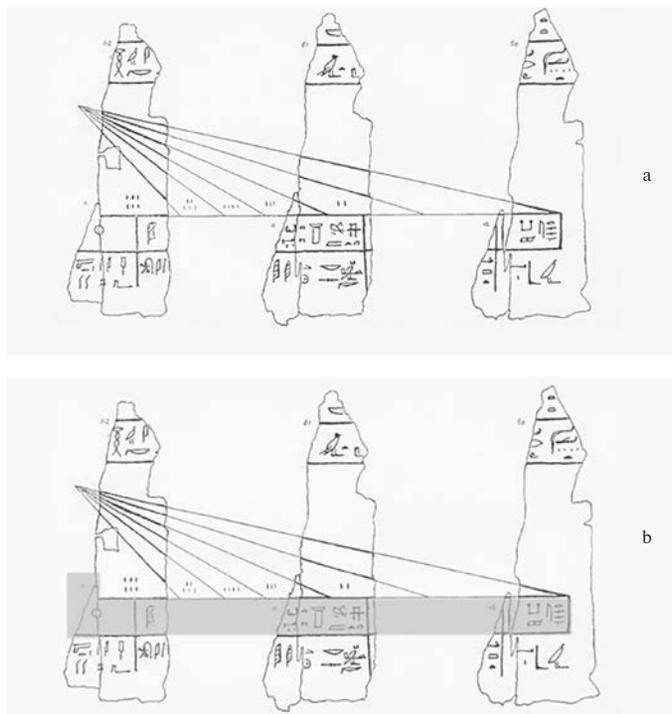


Рис. 8. Фрагмент папируса, на котором предположительно изображены вертикальные солнечные часы (частичная реконструкция Флендерса Питри (Flinders Petrie): а – рисунок фрагмента папируса, б – реконструкция изображения L-образных солнечных часов (выделено темно-серым цветом) на том же фрагменте папируса

²¹ Couprie D. L. The Qumran Roundel and the Mr̥ḥyt: A Comparative Approach // Dead Sea Discoveries. 2013. Vol. 20. No. 2. P. 264–306. Fig. 9.

²² Archäologische Promenade. Verein zur Förderung des Ägyptischen Museums Berlin e. V. // <http://www.aegyptisches-museum-berlin-verein.de/c31.php>.

Исходя из такой интерпретации изображения, можно сделать вывод, что вертикальные солнечные часы могли использоваться совместно с L -образными солнечными часами. Для проверки такого предположения были проведены расчеты отношений a_i/a_1 , где отрезки a_i образуются пересечением соседних часовых линий вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном в диапазоне от 8 до 11 часов с линией, перпендикулярной полуденной линии (рис. 9), по формуле (3):

$$a_i/a_1 = (tg(H'_i) - tg(H'_{i-1})) / tg(H'_1) \quad (3)$$

$$i \in [1, 2, 3, 4]$$

$$t_{ai} \in [11, 10, 9, 8],$$

где i – номер часовой линии; t_{ai} – час времени, соответствующий i -й по номеру часовой линии в диапазоне от 8 до 11 часов; H'_i – угол между полуденной линией ($H'_0 = 0$) и i -й по номеру часовой линией, рассчитанный по формуле (1); H'_{i-1} – угол между полуденной линией и $(i - 1)$ -й часовой линией; H'_1 – угол между полуденной линией и 1-й часовой линией, соответствующей 11 часам; a_i – длина отрезка ограниченного $(i - 1)$ -й и i -й по номеру часовыми линиями.

Результаты расчетов по формуле (3) представлены в табл. 3.

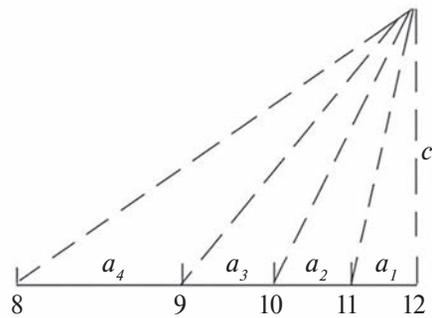


Рис. 9. Схема, иллюстрирующая расположение отрезков a_i , образованных пересечением соседних часовых линий от 8 до 12 часов с линией, перпендикулярной полуденной линии, c – расстояние от места крепления гномона до линии, перпендикулярной полуденной линии

Таблица 3. Расчитанные длины отрезков a_i относительно a_1 для вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном для широты $\varphi = 25^\circ 44' N$: H'_i – угол между полуденной линией и i -й по номеру часовой линией, рассчитанный по формуле (1), t_i – время, соответствующее i -й по номеру часовой линии, a_i – длина отрезка, ограниченного $(i - 1)$ -й и i -й часовыми линиями.

i	1	2	3	4
t_i , час.	11	10	9	8
H' , °	13,6	27,5	42	57,3
$tg(H'_i)$	0,24	0,52	0,90	1,56
a_i/a_1	1,00	1,15	1,57	2,72

Аналогичные расчеты были проведены и для часовой разметки на плитке, обнаруженной в Долине Царей (таб. 4).

Таблица 4. Расчитанные относительные длины отрезков a_i для часовой разметки на плитке из Долины Царей: $H'_i = H_{fi}$ – измеренный угол между полуденной линией и i -й по номеру часовой линией, t_i – время, соответствующее i -й по номеру часовой линии, a_i – длина отрезка, ограниченного $(i - 1)$ -й и i -й часовыми линиями.

i	1	2	3	4
t_i , час.	11	10	9	8
H' , °	14	30	43	57
$tg(H'_i)$	0,25	0,58	0,93	1,54
a_i/a_1	1,00	1,36	1,47	2,51

Учитывая линейные параметры L -образных солнечных часов из берлинского музея, по фотографиям были определены расстояния между часовыми метками (табл. 5), а также рассчитаны относительные длины отрезков a_i между соседними часовыми метками (табл. 6).

Таблица 5. Линейные параметры L -образных солнечных часов: a_i – расстояние между соседними часовыми $i-1$ и i -метками

Музейный номер часов	Расстояние от начала бруска до первой метки, см	a_1 , см	a_2 , см	a_3 , см	a_4 , см	Расстояние от последней метки до края бруска, см	Общая длина бруска ²³ , 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 6. Длины отрезков солнечных часов: a_i/a_1 – относительная длина отрезка, соответствующего i -й по номеру часовой линии для вертикальных солнечных часов или относительная длина отрезков между соседними метками на L -образных солнечных часах. I – вертикальные солнечные часы с наклонным гномоном для широты 25° 44' N (Долина Царей, Египет), II – вертикальные солнечные часы, обнаруженные в Долине Царей, III – L -образные солнечные часы № 19743, IV – L -образные солнечные часы № 19744²³

	a_1/a_1	a_2/a_1	a_3/a_1	a_4/a_1
I	1,00	1,15	1,57	2,72
II	1,00	1,36	1,47	2,51
III	1,00	1,52	2,04	2,52
IV	1,00	1,42	1,79	2,38

Для сравнения была также рассчитана абсолютная длина первого отрезка для вертикальных солнечных часов на уровне их нижнего края по формуле (4):

$$l_1 = c \cdot tg(H'_1), \quad (4)$$

где $c = 11,8$ см – высота крепления гномона относительно нижнего края плитки из Долины Царей (длина полуденной линии), H'_1 – угол 11 часов (между полуденной линией и линией 11 часов).

²³ Couprie. The Qumran Roundel... P. 264–306; Archäologische Promenade...

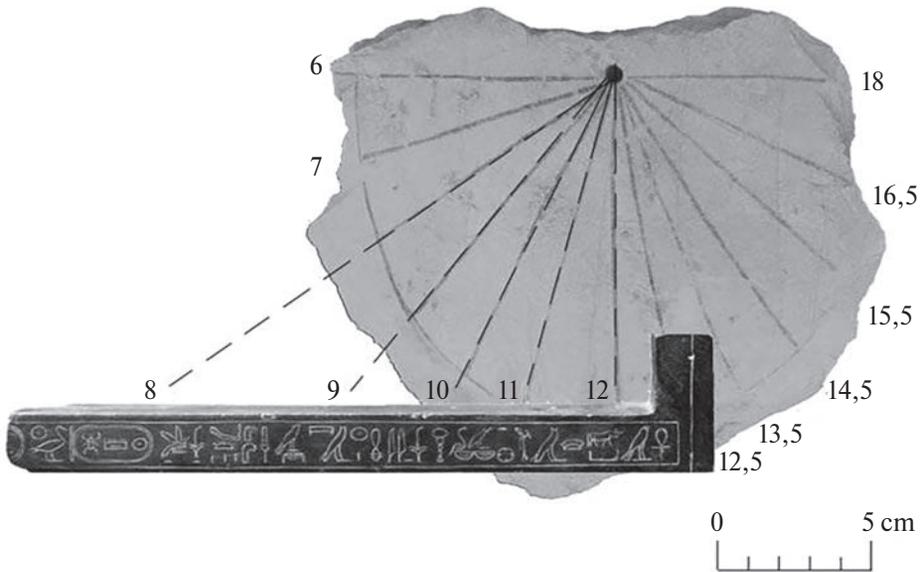


Рис. 10. Комплекс из вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном, обнаруженных в Долине Царей, и L-образных солнечных часов № 19744, иллюстрирующий принцип их совместного использования

В результате расчетов по формуле 4 для широты $25^{\circ} 44' N$ получаем для вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном $l_1 = 2,86$ см, а для разметки на плитке 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 $18,7$ мм²⁴, высота крепления гномона (относительно верхней грани L-образных солнечных часов) будет $c = 9,93$ см. В таком случае для вертикальных солнечных часов получаем $l_1 = 2,4$ см (как у L-образных солнечных часов № 19744), а для плитки из Долины Царей $l_1 = 2,5$ см (как у L-образных солнечных часов № 19743).

Все эти результаты подтверждают гипотезу о возможном совместном использовании египетских L-образных солнечных часов и вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном. Рис. 10 иллюстрирует такое совместное использование на примере солнечных часов, обнаруженных в Долине Царей, и L-образных солнечных часов из берлинского Египетского музея, которые дополняют вертикальные солнечные часы, предоставляя возможность читать надписи вблизи часовых меток и соответственно интерпретировать показания вертикальных солнечных часов. Возможно, такое комплексное использование двух типов солнечных часов было задумано, чтобы ограничить круг людей, способных определять время по вертикальным солнечным часам, в том числе время начала и окончания работ в течение дня.

²⁴ Claggett M. *Ancient Egyptian Science: A Source Book*. Philadelphia: The American Philosophical Society Press, 1999. Vol. 3: *Ancient Egyptian Mathematics*. P. 7–8.

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 измеряли время солнечные часы с такой разметкой и что на самом деле обозначали эти числа.

Предположим, что они могут быть связаны с относительными длинами отрезков между соседними метками b_i в случае, когда отсчет начинается от полуденной линии, первая часовая линия соответствует 12,5 часам, вторая – 13,5 часам и т. д. (рис. 11). Расчет проведем по формуле (5):

$$b_i/b_1 = (tg(H'_i) - tg(H'_{i-1})) / tg(H'_1) \quad (5)$$

$$i \in [1, 2, 3, 4]$$

$$t_{bi} \in [12.5, 13.5, 14.5, 15.5],$$

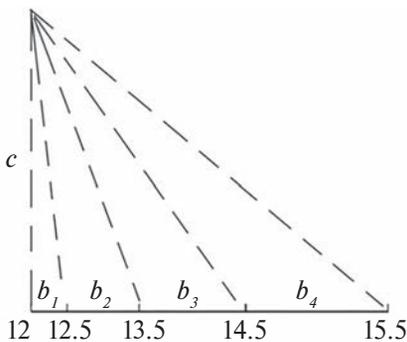


Рис. 11. Схема, иллюстрирующая расположение отрезков b_i , образованных пересечением соседних часовых линий от 12 до 15,5 часов с линией, перпендикулярной полуденной линии, c – расстояние от места крепления гномона до линии, перпендикулярной полуденной линии

где i – номер часовой линии; t_{bi} – час времени, соответствующий i -й по номеру часовой линии в диапазоне от 12,5 до 15,5 часам; H'_i – угол между полуденной линией ($H'_0 = 0$) и i -й по номеру часовой линией, рассчитанный по формуле (1); H'_{i-1} – угол между полуденной линией и $(i-1)$ -й по номеру часовой линией; H'_1 – угол между полуденной линией и 1-й часовой линией, соответствующей 12,5 часам; b_i – длина отрезка ограниченного $(i-1)$ -й и i -й часовыми линиями.

Результаты расчетов по формуле (5) для вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном на широте $25^\circ 44' N$ (Долина Царей, Египет), во временном диапазоне от 12,5 до 15,5 часов представлены в табл. 7.

Таблица 7. Расчитанные длины отрезков b_i относительно b_1 для вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном для широты $\varphi = 25^\circ 44' N$: H'_i – угол между полуденной линией и i -й по номеру часовой линией, рассчитанный по формуле (1), t_i – время, соответствующее i -й по номеру часовой линии, b_i – длина отрезка, ограниченного $(i-1)$ -й и i -й часовыми линиями.

i	1	2	3	4
t_i , час.	12,5	13,5	14,5	15,5
H'_i , °	6,8	20,5	34,7	49,6
$tg(H'_i)$	0,12	0,37	0,69	1,17
b_i/b_1	1,0	2,1	2,7	4,0
$\approx b_i/b_1$	1	2	3	4
$\approx b_i/b_1 \times 3$	3	6	9	12

Рассчитанные относительные длины отрезков b_i при округлении до целых и увеличенные в три раза дают такой же ряд чисел, как и на фреске в гробнице Сети I: 3, 6, 9, 12. Так как у этих чисел есть общий множитель (в данном случае «три»), то логично предположить, что на фреске были написаны числа, которые означали не относительные длины отрезков, а их абсолютные значения, например длины в древнеегипетских дюймах (*djeba*).

Таким образом, ряд чисел на фреске в гробнице Сети I также можно рассматривать как подтверждение существования древнеегипетских солнечных часов с послеполуденной часовой разметкой, смещенной на половину часа.

Предложенный способ измерения времени с помощью L-образных солнечных часов не противоречит инструкции по их использованию на древнеегипетском языке, размещенной на фреске в гробнице Сети I под рисунком солнечных часов, перевод которой выполнен и опубликован только частично²⁵.

Рис. 12 иллюстрирует совместное использование вертикальных солнечных часов (на примере солнечных часов из Долины Царей) и L-образных солнечных часов с послеполуденной часовой разметкой, смещенной на половину часа.

Таким образом, в результате данного исследования была предложена новая интерпретация часовой разметки на плитке, обнаруженной в Долине Царей. Был сделан вывод о том, что она представляет собой часовую разметку солнечных часов с наклонным гномоном для широты Долины Царей, со смещением на половину часа в послеполуденное время. Получасовое смещение могло быть связано с полуторачасовым (от 12 до 13,5 часов) отдыхом рабочих после полудня — традиционной системой, характерной для стран с жарким климатом. К тому же аналогичное выделение полуторачасового промежутка после полудня уже встречалось на солнечных часах XIII—XII вв. до н. э.²⁶

В рамках предложенной в данной статье модели средняя погрешность разметки солнечных часов из Долины Царей равна $\approx 1^\circ$, или ≈ 4 минутам. Точность предлагаемых Биккель и Гаучо моделей — для вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном без получасового смещения после

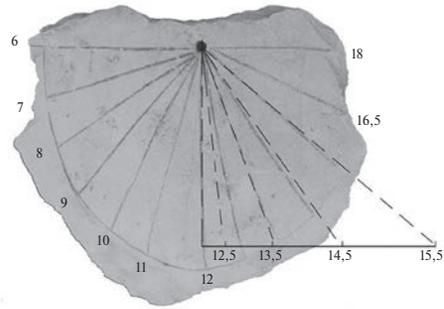


Рис. 12. Комплекс из вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном, обнаруженных в Долине Царей, и L-образных солнечных часов с послеполуденной часовой разметкой, смещенной на половину часа. Пунктирные линии иллюстрируют направления тени от гнома, соответствующие часовым меткам на L-образных солнечных часах

²⁵ Symons. Ancient Egyptian Astronomy... P. 130.

²⁶ Vodolazhskaya L. Analemmatic and Horizontal Sundials of the Bronze Age (Northern Black Sea Coast) // Archaeoastronomy and Ancient Technologies. 2013. Vol. 1. No. 1. P. 68–88.

полудня $\approx 3,9^\circ$, или $\approx 15,6$ минут, а с горизонтальным гномоном $\approx 6,6^\circ$, или $\approx 42,8$ минут. Таким образом, точность предлагаемой в данной статье модели солнечных часов со смещением в разметке на полчаса после полудня заметно выше, чем точность моделей, предлагаемых в статье Биккель и Гаучо, что свидетельствует в пользу истинности модели, описанной в данной статье.

В статье также представлена реконструкция технологии совместного измерения времени с помощью одновременного использования L -образных солнечных часов и вертикальных солнечных часов с наклонным гномоном. В процессе исследования было обнаружено, что существовали два типа L -образных солнечных часов: с часовой разметкой без смещения до полудня и со смещением на половину часа после полудня. Они дополняли вертикальные солнечные часы без символьных обозначений часовых линий, предоставляя возможность определять время, считывая названия часов или информацию, связанную с ними, на L -образных солнечных часах.

References

- Antoniadi, E.-M. (1934) *L'astronomie égyptienne: depuis les temps les plus reculés jusqu'à la fin de l'époque Alexandrine*. Paris: Gauthier Villars.
- Bickel, S., and Gautschi, R. (2014) Eine ramessidische Sonnenuhr im Tal der Könige, *Zeitschrift für ägyptische Sprache und Altertumskunde*, vol. 141, no. 1, pp. 3–14.
- Borchardt, L. (1911) Altägyptische Sonnenuhren, *Zeitschrift für ägyptische Sprache und Altertumskunde*, vol. 48, pp. 9–17.
- Clagett, M. (1999) *Ancient Egyptian Science: A Source Book*. Philadelphia: The American Philosophical Society Press, vol. 3: Ancient Egyptian Mathematics.
- Coupric, D. L. (2013) The Qumran Roundel and the Mrhyt: A Comparative Approach, *Dead Sea Discoveries*, vol. 20, no. 2, pp. 264–306.
- Frankfort, H. (1933) *The Cenotaph of Seti I at Abydos*. London: William Clowes and Sons, Limited, vol. 2.
- Griffith, F. Ll., Flinders, P. W. M., and Brugsch, H. (1889) *Two Hieroglyphic Papyri from Tanis*. London: Trübner & Co.
- Ideler, L. (1831) *Lehrbuch der Chronologie*. Berlin: A. Rücker.
- Pipunynov, V. N. (1982) *Istoriya chasov s drevneishikh vremen do nashikh dnei [History of Clocks from Ancient Times to the Present Day]*. Moskva: Nauka.
- Rohr, R. R. J. (1996) *Sundials: History, Theory, and Practice*. New York: Dover Publications.
- Savoie, D. (2009) *Sundials Design Construction and Use*. Chichester: Springer & Praxis Publishing.
- Symons, S. (1999) *Ancient Egyptian Astronomy: Timekeeping and Cosmography in the New Kingdom. Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy. Department of Mathematics and Computer Science, University of Leicester*. Leicester, 1999.
- Vodolazhskaya, L. (2013) Analemmatic and Horizontal Sundials of the Bronze Age (Northern Black Sea Coast), *Archaeoastronomy and Ancient Technologies*, vol. 1, no. 1, pp. 68–88.

Received: November 9, 2023.

Accepted: April 2, 2024.