

РАДИОУГЛЕРОДНАЯ ДАТИРОВКА ПАМЯТНИКОВ ДРЕВНЕГО И СРЕДНЕГО ЦАРСТВ

Джорджио Бонани(1), Херберт Хаас(2), Захи Хавасс(3), Марк Ленер(4), Шауки Нахла(5), Джон Нолан(6), Роберт Венке(7), Вилли Вёльфли(8)

Из памятников Древнего и Среднего Царств, в промежуток между 1984 и 1995 было собрано более 450 органических образцов. Выбирались образцы наиболее пригодные для датировки. Цель состояла в том, чтобы установить радиоуглеродный возраст образцов, собранных из «безопасного контекста» осторожными методами, принятыми при сборе образцов для радиоуглеродного анализа. Полученный возраст образцов был сопоставлен с исторической хронологией, принятой по восстановленным письменным документам.



Роберт Венке, Джон Нолан и Алаа Амран собирают и регистрируют образцы на пирамиде МенКауРа. Вдали – пирамида ХафРа. (Фото М.Ленера)

Сбор образцов

Радиоуглеродная датировка династических памятников Египта возвращает нас к самым истокам этого метода. ВФ Либби включал три образца времён Древнего и Среднего Царств в исходный набор тестовых образцов известного возраста для калибровки метода (Arnold and Libby 1949). За последовавшие двадцать лет по примеру Либби аналогичные образцы были проанализированы многочисленными лабораториями; и у опубликованных результатов часто не наблюдалось близких совпадений с исторической хронологией. Назрела необходимость пристального изучения этих несовпадений.

Американский Научно-исследовательский Центр в Египте (ARCE) в 1984 осуществил при финансовой поддержке Фонда Эдгара Кейси первое из двух мероприятий, о которых здесь идёт речь.

Интерес Фонда к проблемам датирования базировался на гипотезе Кейси о том, что пирамиды Гизы построены в 10500 году до Н.Э.

Пирамиды Гизы - мемориалы царей 4-й Династии, чьё правление датируется египтологами приблизительно 2500 годом до Н.Э. Наша работа, т.о., сконцентрировалась преимущественно вокруг памятников Древнего Царства.

Результаты подтверждали последовательность возведения памятников и их возраст как они были установлены историками, но совпадение результатов радиоуглеродных анализов и исторических дат было только приблизительным и оставлявшим возможность разночтения двух хронологий. Эти результаты были опубликованы в Haas et al. в 1987 году. Было необходимо собрать дополнительные данные и, поэтому, в 1995 году был начат второй цикл исследований. Его целью стало подтверждение и уточнение, или опровержение различий в хронологиях. Поддержка этого второго цикла, названного «Pyramids Radiocarbon Dating Project», осуществлялась Дейвидом Х.Кохом.

На полевых работах мы искали органические материалы, которые однозначно были связаны со строительством памятников.

Храмы и пирамиды строились из мадбриков (*саманных кирпичей*), давших нам траву, солому и фрагменты тростника, подмешивавшиеся в глину и почву перед формовкой. В каменных же строениях обнаружить подходящие материалы было большой удачей. В большинстве подобных памятников каменные строительные блоки выравнивались и скреплялись между собой при помощи производившегося на месте раствора. При его производстве требовались костры, для отжига гипса, или известняка. Отожжённые минералы и зола костров при смешивании добавлялись к раствору вместе со случайными фрагментами древесного угля.

Обычно материалом для датирования являются очень небольшие (1-2 мм) фрагменты. При изучении памятников мы проверяли швы между каменными блоками в поисках раствора и чёрных частиц древесного угля в нём.

В ходе отбора проб для обоих мероприятий (1984 и 1995 годов) велись подробные записи и были сделаны фотоснимки большинства точек отбора.

В 1984 году на каждую пробу заполнялся лист данных. Образцам последовательно присваивались номера, которым предшествовал префикс «ARCE» (Американский Научно-исследовательский Центр в Египте, обеспечивавший материально-техническую поддержку мероприятия). В 1995 в графы книги вносились подробные данные об образце и месте его происхождения. Пробы обозначались трехзначными номерами без префикса.

Таким образом, каждая проба по графе «field nr.» может быть привязана к конкретному мероприятию (1984/1995) благодаря этим двум чётким системам нумерации.

Пробы упаковывались прямо в полевых условиях, и не вскрывались вплоть до доставки в лабораторию. «Свободные» фрагменты древесного угля запечатывались в контейнеры для фотоплёнки или пластиковые флаконы. Кусочки раствора и фрагменты саманных кирпичей заворачивались в алюминиевую фольгу (или пластиковую обёртку) и укладывались в пластиковый мешок. К каждому пакету с образцом прилагалась этикетка с полными данными о его происхождении.

В «кампанию» 1984 года Роберт Венке и Марк Ленер собрали 76 образцов. Полевой сезон начался 12 декабря 1983 и завершился 22 марта 1984. Детали исследования этих образцов опубликованы в Haas et al. (1987).

В сезоне 1995 года Роберт Венке, Джон Нолан, Марк Ленер, и Херберт Хаас участвовали в сборе образцов, который продолжался с 26 декабря 1994 года до 27 февраля 1995. Краткое изложение результатов этого полевого сезона области опубликовано в Lehner et al. (1999).

Подготовка образцов

Весной 1984 года все образцы были отправлены в Southern Methodist University (SMU) в Далласе, штат Техас, в лабораторию радио-датировки; в течение лета и далее для датирования были отобраны 64 образца, и была проведена их предварительная обработка. Древесный уголь и волокнистые образцы (трава, солома, и тростник), подверглись обычной обработке «кислота-щёлочь-кислота».

Более ранние попытки датировки египетских памятников по образцам аналогичных материалов показали, что целостность древесного угля совершенно нарушалась даже при малой концентрации химических реагентов. Чтобы по возможности сохранять максимум материала образца, обработка щёлочью велась слабыми растворами едкого натра (0.05% - 0.1%).

Как правило, проводилось последовательно от трёх до пяти таких воздействий, пока не прекращали проявляться типичные коричневые кислотные реакции.

Растворением образцов саманных кирпичей в дистиллированной воде и мокрым просеиванием полученного жидкого раствора производилось извлечение их волокнистого заполнения. А фрагменты раствора растворялись в разбавленной хлористо-водородной кислоте, и этот постепенный процесс продолжался несколько дней...

.....
Далее – подробности о предварительной подготовке образцов.

Процедуры измерения ^{14}C

Здесь – о собственно методике измерений.

.....
...Вычисление возраста ^{14}C было выполнено стандартным методом, описанным в Stuiver и Polach (1977).

В 1984 году отношения $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ образцов, датированных AMS, были определены относительно второстепенных стандартов древесного угля, подготовленных так же, как и неизвестные образцы, и приведённых к стандарту «NBS oxalic acid I» посредством точно рассчитанного бета-разрушения (Bonani et al. 1984).

Соответственно, и $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, и $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ отношения пакета образцов 1995 года были определены относительно стандартных уровней «NBS oxalic acid I» (Bonani et al. 1987).

Фон определялся химически чистыми образцами, подготовленными из антрацита (мертвого углерода) так же как неизвестные.

Все образцы (неизвестные, стандартные, и чистые) одной серии обмерялись по несколько раз (типично – 3-4 раза*1). Общее время обмера образца было ограничено в пределах 30-40 минут, которое давало статистическую погрешность около 1-2% для образцов 1985 года и 0,5-0,6% для образцов 1995 года...

Отчет о возрасте образцов

Отчёт представлен в двух приложениях. В «Приложении 1» - образцы из каждого отдельного памятника размещены в последовательности их сбора, то есть под полевым номером.

Даты в каждой группе тестировались для проверки предположения вероятности принадлежности их к одному и тому же событию, а именно - к строительству данного памятника. Для этого теста использовался критерий «Хи-квадрат»*2. Его числовое значение и связанная вероятность в процентах приведены в конце таблицы образцов из каждого памятника, там же приведены средневзвешенное*3 значение возраста, значение 1σ и отклонение (для всей группы проб, относящейся к данному памятнику).

В составе некоторых памятников оказались образцы с возрастом гораздо большим, или меньшим, чем средневзвешенный. В попытке исключить из обзора данные образцов, которые, вероятно, примешались из «другого контекста», было использовано «просеивание» результатов.

Чтобы сигнализировать о явных промахах использовалась разность между средневзвешенным значением всех возрастов и индивидуальными возрастами (конкретных) образцов, делённая на корень квадратный из 2 и ошибку в датировке. В результате были последовательно удалены все значения возрастов (в таблицах соотв. строки отмечены «*» и «+»), где результат вычисления превышал число 5.0.

Иногда некоторые образцы группой демонстрируют отчетливо другой возраст. В подобных случаях такие образцы описаны отдельно и с отдельной статистикой.

Pyramid of Khufu at Giza							
lab nr.	field nr.	collection site	material	corr. ¹⁴ C age y BP	error 1 sigma	δ ¹³ C permil	
ETH-0302	ARCE 1	2nd course, N face, ~26 m W of NE corner	charcoal	4260	80	-24.3	
ETH-0303	ARCE 2	2nd course, N face, ~44 m E of NW corner	charcoal	4300	90	-25.4	
ETH-0304	ARCE 3	2nd course, N face, ~60 m E of NW corner	charcoal	4245	85	-24.2	
ETH-0305	ARCE 4	2nd course, N face, ~60 m E of NW corner	charcoal	4355	90	-23.5	
ETH-4228	ARCE 4	same sample as ETH-0305	charcoal	4195	105	-28.5	
ETH-0306	ARCE 5	2nd course, N face, ~20 m E of NW corner	charcoal	4320	85	-25.0	
ETH-0226	ARCE 13	5th course, near SE corner	charcoal	4350	125	-24.8	
SMU-1418	ARCE 13	same sample as ETH-0226	charcoal	4258	273	-26.7	
ETH-4229	ARCE 13	same sample as ETH-0226	charcoal	4195	105	-26.0	
SMU-1417	ARCE 14	5th course, S face, ~5 blocks E of SW corner	charcoal	4359	241	-25.8	
ETH-0227	ARCE 14	same sample as SMU-1417	charcoal	4360	125	-26.6	
ETH-13762	362	9th course, ~210 m S of NW corner	charcoal	3927	58	-24.5	
ETH-13754	354	10th course, near NW corner	charcoal	3980	57	-22.3	
ETH-13756	356	10th course, ~30 m S of NW corner	charcoal	4143	61	-23.9	
ETH-13757	357	10th course, ~35 m S of NW corner	charcoal	4225	79	-26.5	
ETH-13761	361	10th course, ~200 m S of NW corner	charcoal	3928	54	-30.8	
ETH-13763	363	10th course, above location of ETH-13762 on 9th	charcoal	3937	61	-29.2	
ETH-0307	ARCE 6	between 25th & 26th course, ~4 m S of NW corner	charcoal	4440	90	-21.4	
ETH-4227	ARCE 6	same sample as ETH-0307	charcoal	4215	105	-24.8	
ETH-13770	370	49th course, ~4 m S of NE corner	charcoal	4087	53	-26.3	
ETH-13771	371	same location as ETH-13770, #370	charcoal	4187	60	-25.0	
ETH-13775	375	same location as ETH-13770, #370	charcoal	4190	52	-28.7	
ETH-13777	377	51st course, ~3 m S of NE corner	charcoal	4313	57	-23.0	
ETH-13778	378	52nd course, near NE corner	charcoal	4156	58	-24.6	
ETH-13779	379	52nd course, near NE corner	charcoal	4062	61	-22.7	
ETH-0308	ARCE 7	65th course, near NW corner	charcoal	4300	85	-24.1	
ETH-4228	ARCE 7	same sample as ETH-0308	charcoal	4390	110	-27.9	
ETH-13783	383	76th course, 1.5 m N of SE corner	charcoal	4237	62	-19.6	
ETH-13784	384	same context as sample 383	charcoal	4088	54	-24.8	
ETH-13785	385	same context as sample 383	charcoal	4083	53	-27.7	
ETH-13782	382	77th course, ~2 m N of SE corner	charcoal	3984	55	-25.2	
ETH-13787	387	81st course, 1 block N of SE corner	charcoal	4197	49	-26.4	
ETH-13791	391	86th course, 1 m N of SE corner, surface	charcoal	3810	60	-22.2 *	
ETH-0309	ARCE 8	108th course, near NW corner	charcoal	4420	100	-23.9	
ETH-13800	400	141st course, on SW corner	charcoal	4195	55	-31.1	
ETH-13799	399	143rd course, ~3 m E of SW corner	charcoal	4128	58	-26.5	
ETH-13801	401	same context as sample 399	charcoal	4189	60	-21.2	
ETH-13802	402	145th course, ~3 m E of SW corner	charcoal	4174	61	-27.3	
ETH-13803	403	same context as sample 402	charcoal	4062	60	-25.6	
ETH-13804	404	same context as sample 402	charcoal	4254	59	-27.1	
ETH-13805	405	146th course, 1 m E of SW corner	charcoal	4267	57	-25.5	
ETH-0311	ARCE 10A	198th course, near SW corner (preserved top)	charcoal	4395	85	-24.5	
ETH-0312	ARCE 10B	198th course, near SW corner (preserved top)	charcoal	5020	130	-22.6 +	
ETH-0334	ARCE 10B	same context as ETH-0312	charcoal	4440	320	-19.7	
ETH-0313	ARCE 11	top of pyramid, on S side	reed	4330	125	-24.7	
ETH-13900	500	top of pyramid, on E side	charcoal	4068	60	-21.4	
				mean	1 sigma	variance	
C14 Mean age (weighted) without +				BP	4147	10	21
				Chi square	4.2246	probability	12.10 %
C14 Mean age (weighted) without + & *				BP	4157	10	20
				Chi square	3.5683	probability	16.79 %

Пирамида Хуфу, Гиза

1- точка отбора образца,

2 - образцы полевого сезона 1984 года,

3 - образцы полевого сезона 1995 года,

4 - промах (слишком «молодая» дата), обозначенный (*) в конце строки.

5 - промах (слишком «старая» дата), обозначенный (+) в конце строки

6 - средневзвешенное значение возраста по всем образцам, значение «1sigma», значение отклонения, значение «критерия Хи-квадрат» и связанной вероятности для средневзвешенного значения возраста, не учитывающего значений только грубых промахов.

7 - средневзвешенное значение возраста, значение «1-sigma» и отклонения, значение «критерия Хи-квадрат» и связанной вероятности для средневзвешенного значения возраста, не учитывающего значений обоих видов промахов.

Результаты калибровки показаны в «Приложении 2». Для этой публикации все калибровки выполнены программой, разработанной в ЕТН и описанной в Niklaus et al. (1992). Калибровочная программа использует самые последние данные по древесным кольцам, опубликованные Stuiver et al. (1998).

Памятники приведены в той же последовательности, что в первом приложении. Для привязки к традиционному периоду правления царя - строителя памятника использовалась хронология Клейтона (1994).

В калибровке использованы вычисленные (Приложение 1) значения радиоуглеродного возраста и ошибки; в качестве значения ошибки выбрано большее из пары «1sigma» и «отклонение».

Почти для всех памятников калибровка даёт несколько вероятных возрастных диапазонов, вплоть до пяти, для большинства памятников IV Династии. Приводим все диапазоны, полученные как из расчёта для 1-сигма, как и из расчёта для 2-сигма. Статистический вес каждого диапазона указан в процентах, сумма же всех диапазонов составляет 100 процентов.

Pyramid of Khufu at Giza			
Historical Range		2589 - 2566	BC
Sample details: number dated: 46		number used for mean: 45	
C14 Mean age (weighted)		4147	BP
1 sigma		10	
variance		21	used for calibration
Chi square		4.2246	
probability		12.10	%
Calibrated Age BC			
ranges			probability of range %
one sigma	2862 - 2837		19.7
	2818 - 2808		8.1
	2776 - 2774		1.8
	2758 - 2719		32.1
	2704 - 2664		32.0
	2647 - 2638		6.3
two sigma	2871 - 2828		19.2
	2823 - 2801		8.8
	2783 - 2658		60.0
	2653 - 2623		11.4
	2606 - 2604		0.5

Пирамида Хуфу, Гиза

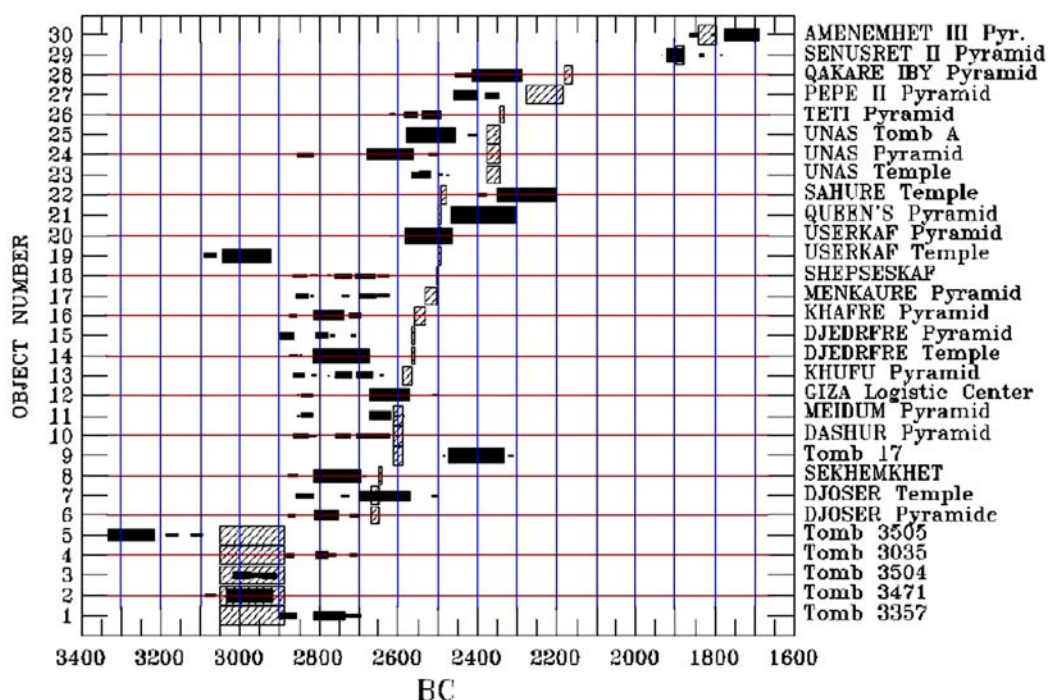
1 – диапазон возраста памятника в соответствии с историческими источниками,

2 – данные о возрасте из приложения 1 (BP, Before Present, т.е. до наших дней),

3 – данные о диапазонах возрастов, полученные в результате калибровки (BC, Before Christ, т.е., до нашей эры) с вероятностью...

4 – данные о диапазонах возрастов, полученные в результате калибровки (BC, Before Christ, т.е., до нашей эры) с вероятностью...

Сводная таблица датировки памятников.



В таблице показаны возрасты памятников после калибровки. Все диапазоны даны в пределах +/- «1-sigma» относительно осреднённого результата.

Протяжённость черных областей соответствует диапазонам возраста BC, а их толщина пропорциональна статистическому весу областей. Для сравнения диапазоны возраста памятников в соответствии с историческими источниками показаны штрихованными прямоугольниками.

Применение стандартного отклонения «2-sigma» к результатам датировки памятника расширяет диапазоны, но наблюдаемые между двумя хронологиями различия, меняет незначительно.

Авторские примечания к «Приложению 1»

+ промах (слишком «старая» дата)

* промах (слишком «молодая» дата)

1) данные приведены без оценки

2) большинство образцов объединены: большой разброс данных не способствует дальнейшему анализу

3) образец и часть каната, обнаруженные под развалинами

4) на уровне современной откопанной поверхности

5) возможна поздняя последующая деятельность

6) свободные обломки, контекст неизвестен

7) возможно не относится к храму

8) данные не анализировались

9) для обоих образцов - возможность поздней последующей деятельности в обломках пирамиды, данные далее не анализировались,

10) данные показывают более старые органические включения в глине, использованной для получения кирпича

«Приложение 1» и «Приложение 2»:

http://www.refill.ru/egypt/oleg-pdfs/radiocarbon_dating_append_1_2.pdf

Примечания переводчика.

К сожалению, разъяснений о способах вычислений статистических величин, применявшихся в ходе исследований в отчёте нет. В примечаниях - разъяснения способов «как удалось их понять»...

***1.** Среднеквадратическое отклонение (*I*sigma) возраста каждого образца, таким образом, вычислялось всего по трём-четырёх точкам.

***2.** «Хи-квадрат» - статистический критерий, позволяющий определить, является ли распределение результатов измерений «нормальным» (распределением Гусса).

***3.** Вес - величина обратно пропорциональная квадрату сигмы каждого образца. Для получения средневзвешенного значения сумма произведений возраста каждого образца и его веса делится на сумму весов. Суммирование - по всем образцам группы.

Тогда сигма для средневзвешенного возраста определяется из соотношения:

$$1/\text{СИГМА}_{\text{ср}}^2 = (1/\text{СИГМА}_1^2 + 1/\text{СИГМА}_i^2 + \dots + 1/\text{СИГМА}_n^2)$$

Перевод, примечания и комментарии О. Кругляков

Оригинал публикации:

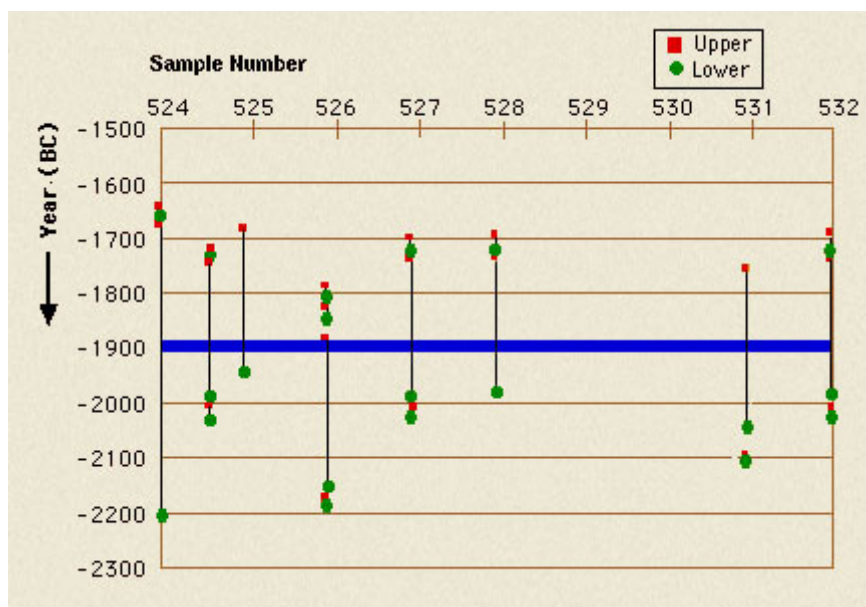
<http://www.2dcode-r-past.com/1995Radiocarbonproject.pdf>

Дополнительные замечания от авторов проекта датировок.

.....

Соответствие датировок.

Для гробниц 1-й Династии в Северной Саккаре у нас есть прекрасное соответствие между «историческими» датировками, предшествующими (1985 года) и нашими радиоуглеродными датировками тростникового материала. Такие же прекрасные соответствия между нашими радиоуглеродными и «историческими» датировками и для образцов Среднего Царства. Восемь калиброванных дат по соломе из пирамиды Сенусерта-II (1897-1878 BC) колеблются в диапазоне от «на 103 года старше» до «на 78 лет младше» «исторического» времени его правления. Четыре же из датировок Сенусерта-II имели отклонение всего в 30, 24, 14, и три года. А по древесному углю получились значительно более давние даты (см. ниже «Проблема СТАРОЙ ДРЕВЕСИНЫ»).



Результаты исследования пирамиды Среднего Царства (царь Сенусерт-II)

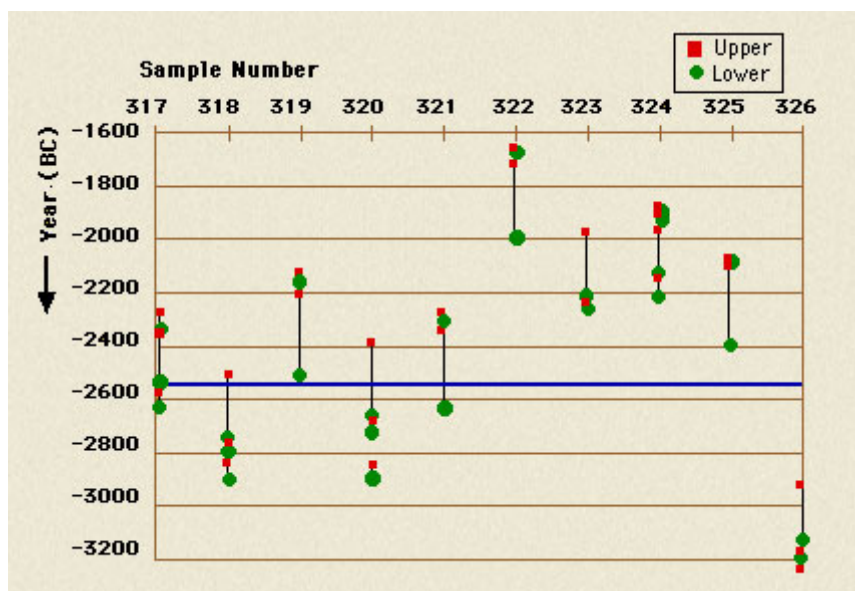
Проблема «СТАРОЙ ДРЕВЕСИНЫ»

Народ древнего Египта был расселён в узких границах слабо покрытой деревьями Нильской долины. И всё же, похоже, что к началу века пирамид египтяне уже издавна интенсивно использовали древесину в качестве топлива. Из-за малого количества доступной древесины и её большого расхода египтяне вынуждены были, насколько это возможно, многократно повторно её использовать. Некоторое количество повторных использований приходилось на сжигание, например, при приготовлении строительных растворов. Если деревянный обломок к моменту сжигания был уже столетним, радиоуглеродный возраст получившегося древесного угля должен оказаться на столетие больше, чем раствор, для которого он был сожжён. Думается, маловероятно, что строители пирамид убеждённо использовали именно столетнюю древесину в качестве топлива при приготовлении раствора. Результаты 1984 года оставили нас со слишком малым количеством данных, чтобы постановить, что историческая хронология Древнего царства имела ошибку почти в 400 лет, но мы, по крайней мере, допускали такую возможность. С другой стороны, если бы по некой причине ошибочными оказались наши радиоуглеродные оценки, мы должны были бы допустить, что многие другие датировки, полученные из египетских («исторических») материалов были также подозрительны. Вот это нас и подтолкнуло к повторным, более углублённым исследованиям 1995 года.

Проблема ДРЕВНЕГО ЦАРСТВА

Если радиоуглеродные датировки Среднего Царства хороши, почему датировки Древнего столь проблематичны? Строители пирамид часто повторно использовали старый культурный материал, возможно из экономии, или, чтобы сознательно подчеркнуть преемственную связь между их царём и его предшественниками. Под пирамидой царя 3-й Династии Джосера ранние исследователи обнаруживали более 40000 каменных сосудов. На этих сосудах встречались имена большинства царей 1-й и 2-й Династий, а имя Джосера обнаружилось только на одном. Может быть, Джосер собрал и повторно использовал двухсотлетние вазы - приношения из гробниц Северной Саккары? Аменемхет-I (1991-1962 BC), царь 12-ой Династии, оставил ясное свидетельство вторичного использования подобного типа. Он взял части молелен при гробницах Древнего Царства и припирамидальных храмов (включая храмы пирамид Гизы) и забутовал ими сердцевину своей пирамиды в Лиште.

Радиоуглеродные датировки трёх из восьми образцов, взятых при наших раскопках в Потерянном Городе («Стена Ворона» и посёлок строителей около неё), - почти прямые проекции исторических дат МенКауРа: 2532-2504 BC. Другие пять датировок - на 350 – 100 лет старше. Результаты радиоуглеродного анализа образцов из зоны Потерянного Города имеют такой же широкий разброс по возрасту древесного угля, как и у пирамид. Многие даты – старше, чем их «историческая» оценка. Жители (*Потерянного Города*) очень похожим способом использовали свои собственные развалины в течение 85 (или около того) лет, пока они строили пирамиды.



Результаты исследования пирамиды 5-ой Династии (царь Сахура)

Выводы

Возможно, было бы преждевременным не обращать внимания на старую «древесную» проблему в нашем исследовании 1984 года. Радиоуглеродное датирование способно сообщить нам только когда дерево умерло, но не когда оно в последний раз было использовано. Дерево, особенно в сухом климате Египта, может пролежать столетия, прежде чем окажется сожжённым. Кроме того, в любом живом лесу, или роще, найдутся и старые деревья, и очень молодые побеги. Само дерево тоже будет иметь и старые части (внутренние кольца), и очень молодые части (внешние кольца и небольшие ветки).

Может быть, наш радиоуглеродный анализ отражают обезлесение Египта времён Древнего Царства? Может быть, строители пирамид использовали любую древесину, которую они могли добыть? Разве они должны были только собирать древесный мусор для обжигания тонн известняка при получении раствора,ковки медных долот и выпечки хлеба для тысяч набранных рабочих? Гигантские каменные пирамиды раннего Древнего Царства отмечают собой главный момент истощения египетских запасов дельной древесины.

Всё названное вкупе и может быть причиной широкого разброса в «исторически» неблагоприятных результатах радиоуглеродного анализа образцов Древнего Царства. Пока многочисленные «старо-древесные» эффекты создают трудности в получении оценки возраста пирамид, «Радиоуглеродный Проект Датировки Пирамид» Дэвида Коха, кроме прочего, заставляет нас задуматься о лесной экологии, процессах формирования территории, о древней промышленности и ее воздействии на окружающую среду, а в сумме - об обществе и экономике, которая оставила египетские пирамиды как знаки для всего позднего человечества.

Перевод О. Кругляков

Оригинал публикации:

http://www.aeraweb.org/how_old.asp