

В. С. Савчук

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

РОЗВИТОК МЕТОДУ РАДІОВУГЛЕЦЕВОГО ДАТУВАННЯ І ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В ЄГИПТОЛОГІЇ

E-mail: varfolomey44@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6324-7567>

Анотація. *Вступ:* метод радіовуглецевого датування нині є загальноприйнятим для датування в археології. Однак, незважаючи на значне поліпшення точності методу в останні десятиліття, все ще широко поширена думка, що він не може бути корисним в уточненні дат єгипетської хронології, яка відома нам досить детально. **Мета дослідження:** розгляд основних етапів розвитку радіовуглецевого методу та впливу, який на нього справила єгипетська хронологія, а також наслідків, які спричинив цей вплив. **Методи дослідження:** аналітико-синтетичний, логічний та порівняльний. **Наукова новизна:** комплексність розгляду процесу становлення радіовуглецевого методу та взаємовпливу цього методу датування і єгипетської хронології та на її підставі обґрунтованість висновку щодо перспективності застосування цього методу датування. **Основні результати.** Радіовуглецевий метод датування пройшов довгий та складний шлях розвитку й поліпшення на основі «сталонних» даних, якими вважалися в основному дати з Династичного Єгипту. Залежність методу від єгипетських дат сприяло формуванню негативного ставлення єгиптологів та археологів до можливостей цієї методики датування. З приходом нового тисячоліття, коли досягнуто роздільної здатності в одне десятиліття, дати деяких періодів Династичного Єгипту змогли бути незалежно перевірені. Два масштабних проекти радіовуглецевого датування пам'яток Єгипту та Близькосхідного регіону виявили невідповідність результатів та історично очікуваних дат, причини якої в обох випадках все ще не встановлені. **Висновки.** Всебічне вивчення причин двох виявлених масштабних невідповідностей віку зразків із Середнього та Давнього царств може як підвищити точність радіовуглецевого методу, так і призвести до перегляду дат єгипетської хронології. Значне підвищення точності методу, досягнуте на сьогодні, поступово змінює ставлення до нього єгиптологів і в багатьох випадках дозволяє використовувати його для незалежної перевірки «відомих» дат єгипетської хронології.

Ключові слова: Стародавній Єгипет, єгипетська хронологія, радіовуглецеве датування, взаємний вплив, невідповідності.

V. S. Savchuk

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

DEVELOPMENT OF THE RADIOCARBON DATING AND ITS APPLICATION IN EGYPTOLOGY

Abstract. *Introduction:* The radiocarbon dating method is currently generally accepted for dating in archaeology. However, despite the significant improvement in its accuracy in recent decades, it is still widely believed that it cannot be useful in clarifying the dates of the Egyptian chronology, which is known to us in detail. The *purpose* of the study is to consider the main stages of the development of the radiocarbon dating and the influence that Egyptian chronology had on it, as well as the consequences that this influence caused. *Research methods:* analytical-synthetic, logical and comparative. *Scientific novelty:* the complexity of the consideration of the process of the formation of the radiocarbon method and the mutual influence of this dating method and Egyptian chronology and, on its basis, the validity of the conclusion about the prospects for the application of this dating method. *Main results:* The radiocarbon dating from the moment of

its inception to the beginning of the 21st century has gone through a long and difficult path of development and improvement on the basis of «known» data, which were mainly dates from Dynastic Egypt. The dependence of the method on Egyptian dates contributed to the formation of a negative attitude of Egyptologists and archaeologists to the possibilities of this dating technique. With the advent of the new millennium, when a resolution of one decade was achieved through the use of high-precision calibration curves, the introduction of regional corrections, the use of Bayesian modeling and improvements in the procedure for selecting and analyzing samples, the dates of some periods of Dynastic Egypt could be independently verified. Two large-scale radiocarbon dating projects of monuments of Egypt and the Near East region – the project of dating the Old Kingdom pyramids, initiated by the American Research Center in Egypt (ARCE) and the project «The Synchronization of Civilizations in the Eastern Mediterranean in the Second Millennium BC» (SCIEEM 2000), carried out at the Austrian Academy of Sciences, have revealed discrepancies between the results and the historically expected dates, the reasons for which in both cases are still not identified. *Conclusions:* A comprehensive study of the reasons for the two large-scale discrepancies in the ages of samples from the Middle and Old Kingdoms may both improve the accuracy of the radiocarbon dating and lead to a revision of the Egyptian historical chronology. The significant increase in the accuracy of the radiocarbon dating achieved to date is gradually changing the attitude of Egyptologists towards it and allows it to be used for independent verification of the «known» dates of the Egyptian chronology.

Keywords: Ancient Egypt, Egyptian chronology, radiocarbon dating, mutual influence, discrepancies

Вступ. Зародження єгиптології як науки пов'язано з Єгипетським походом Наполеона наприкінці XVIII ст. і подальшим розшифруванням єгипетської писемності Ж.-Ф. Шампольйоном у першій чверті XIX ст. Ці події започаткували систематичне вивчення спадщини Стародавнього Єгипту: його історії, мови, літератури, релігії, культури та архітектури.

Широко визнано, що хронологія є основою історії¹, тому реконструкція єгипетської хронології стала одним із першочергових завдань для єгиптологів. На середину XX ст. завдяки працям Р. Лепсіуса², А. Марієтта³, Л. Борхардта⁴, Е. Мейєра⁵, Дж. Брестеда⁶, Дж. Фаріні⁷, Г. Вінлока⁸ та В. Хелька⁹ наявні реконструкції хронології Династичного Єгипту досягли значної точності. Ці «відомі» дати періодів давньоєгипетської історії були використані для перевірки та коригування методу радіовуглецевого датування, запропонованого У. Ліббі у 1946 р.

Істотний розвиток методу в наступні кілька десятиліть, що виражалось у збільшенні його точності та ослаблення вимог до розміру зразка, дозволив на рубежі століть виявити кілька проблематичних випадків, для яких результати радіовуглецевого датування зразків істотно відрізнялися від історичних оцінок віку культурних шарів, з яких були вилучені ці зразки.

Предмет дослідження. Метод радіовуглецевого датування і його застосування в єгиптології.

¹ Beckerath J. Chronologie des pharaonischen Ägypten. Mainz: von Zabern, 1997. P. IX; Hornung E., Krauss R., Warburton D. (eds). Ancient Egyptian Chronology. Leiden: Brill., 2006. S. 1.

² Lepsius R. Die Chronologie der Ägypter. Berlin: Nicolaische Buchhandlung, 1849.

³ Mariette A. Outlines of Ancient Egyptian History. London: J. Murray, 1892.

⁴ Borchardt L. Der zweite Papyrusfund von Kahun und die zeitliche Festlegung des mittleren Reiches der ägyptischen Geschichte. *Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde*. 1899. Band 37. № 1. S. 89–103.

⁵ Meyer E. Aegyptische Chronologie., Berlin: Verlag der Königl. Akademie der Wissenschaften, 1904.

⁶ Breasted J. Ancient Records of Egypt: Historical Documents from the Earliest Times to the Persian Conquest, collected, edited, and translated, with Commentary. Chicago: University of Chicago Press, 1906–1907.

⁷ Farina G. I. Il Papiro Dei Re, restaurato. Rome: G. Bardi, 1938.

⁸ Winlock H. The Rise and Fall of the Middle Kingdom in Thebes. New York: The MacMillian Company, 1947.

⁹ Helck W. Untersuchungen zu Manetho und den ägyptischen Königslisten. *Untersuchungen zur Geschichte und Altertumskunde Aegyptens*. Berlin: Akademie-Verlag, 1956. Band 18.

Мета дослідження. Розгляд основних етапів розвитку радіовуглецевого методу та впливу, який на нього справила єгипетська хронологія, а також наслідків, до яких цей вплив спричинив.

Єгипетська історична хронологія та принципи її реконструкції

Наявні реконструкції єгипетської історичної хронології базуються на інтерпретації давніх хронологічних та генеалогічних джерел, таких як: царські списки; звіти про ритуальну та господарсько-економічну діяльність; записи про астрономічні спостереження та ін. Оскільки послідовна нумерація років у єгиптян була відсутня (вони починали відлік років заново при сходженні кожного монарха), абсолютні дати єгипетської історії обчислюються за допомогою підсумовування встановлених тривалостей правлень у минуле від деяких відомих абсолютних дат астрономічних подій (так званих появ богині *Comic* – спостережень за першим у році ранковим сходом зірки Сіріус)¹⁰.

Через те що давні хронологічні джерела нечисленні, часто неповні через багаторазові копіювання та поганий ступінь збереження, наші знання про давніші періоди зазвичай більш фрагментарні. Наприклад, вважається, що дати деяких подій Пізнього періоду відомі напевно (нульова похибка для XXVI династії), тоді як дати Додинастичного періоду можуть включати похибку до трьох століть¹¹.

Потрібно також враховувати, що єгипетська історична хронологія є у своїй основі політичною, тобто заснованою на правлінні послідовності правителів та спадкоємності влади, а не на культурних чи технологічних змінах, тому вона не пов'язана з матеріально-культурними та археологічними фазами, які зазвичай датуються за допомогою наукових методів, таких як радіовуглецевий.

Основи радіовуглецевого методу

Принцип роботи радіовуглецевого методу полягає у вимірі співвідношення двох ізотопів вуглецю ^{12}C та ^{14}C у досліджуваних зразках органічних матеріалів, таких як: деревина, кістки, рослинні волокна та вироби з них тощо. Як відомо, елементарний вуглець складається з трьох ізотопів ^{12}C , ^{13}C і ^{14}C ; перші два з них не є радіоактивними, а останній розпадається з періодом напіврозпаду рівним приблизно 5 730 років (спочатку У. Ліббі визначив це значення як 5 568 років). Радіоактивний ізотоп вуглецю утворюється у верхніх шарах атмосфери з атмосферного азоту та поглинається рослинами у вигляді $^{14}\text{CO}_2$ у процесі фотосинтезу. При вживанні рослин цей радіоактивний ізотоп, кількість якого в навколишньому просторі є приблизно постійною, потрапляє в організм тварин і людини. Коли людина, тварина чи рослина вмирає, припиняється її обмін вуглецем, зокрема і радіоактивним, із довкіллям. Оскільки радіоактивний вуглець розпадається з плином часу, його кількість у загиблому організмі згодом зменшується, але кількість ^{12}C залишається постійною. Таким чином, чим менше співвідношення $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ у досліджуваному зразку, тим більший вік він має.

Більш ніж через десятиліття після відкриття методу виявили, що співвідношення $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ в атмосфері не є постійним (див. нижче). Це пов'язано зі зміною активності заряджених частинок, які проникають в атмосферу Землі, тобто із флуктуаціями активності Сонця, а також зі змінами в магнітному полі Землі. Зміна співвідношення ізотопів в атмосфері впливає на їхні рівні в організмах живих істот, таким чином задаючи їх початкове співвідношення на момент смерті і, зрештою, впливаючи на відносний вік, що визначається радіовуглецевим методом.

Щоб визначити співвідношення ізотопів у різні періоди використано природний «літопис» цих рівнів – річні кільця довгоживучих порід дерев. Ці кільця є для кожного року з моменту народження дерева і вік кожного з них може бути розрахований (тому що їх можна зіставити та порівняти) і виміряний одночасно. Крива, що допомагає перетворити радіовуглецевий вік зразка в його календарний вік, називається калі-

¹⁰ Meyer E. *Aegyptische Chronologie*. Berlin: Verlag der Königl. Akademie der Wissenschaften, 1904. S. 11–44.

¹¹ Kitchen K. The Chronology of Ancient Egypt. *World Archaeology*. 1991. Vol. 23. № 2. P. 202.

брувальною кривою (актуальну криву для північної півкулі¹²). Зміна співвідношення $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ в атмосфері з часом обумовлює звивисту форму калібрувальної кривої і зазвичай переводить радіовуглецеві роки в діапазони календарних років. Після встановлення факту зміни рівня радіоактивного вуглецю в атмосфері калібрувальна крива постійно уточнюється, тому вік раніше датованих зразків може бути незначно переглянутий на основі більш точних даних.

Відкриття радіовуглецевого методу. Докалібрувальна епоха

У 1949 р. Дж. Арнольд і У. Ліббі опублікували свою статтю «Визначення віку за радіовуглецевим аналізом: перевірка зі зразками відомого віку» як попередній доказ того, що метод радіовуглецевого датування в загальному вигляді працює для останніх 5000 років¹³. Автори повідомили про виміри шести різних зразків, які, як зазначено в назві статті, були «зразками відомого віку»: два з них були деревиною, взятою з деревних кілець, а чотири – деревиною зі стародавніх знахідок (три зі Стародавнього Єгипту та одна із Сирії). Найстаріший з єгипетських зразків походив з Давнього царства і фактично складався з двох незалежних частин: перша – з гробниці Джосера в Саккарі, а друга – з гробниці Снеферу в Мейдумі. Цікавим є той факт, що деревина Снеферу виявила меншу питому активність, ніж деревина Джосера, що, всупереч очікуванням, має вказувати на більший її вік (мабуть, з цієї причини зразки були об'єднані та їх результати усереднені).

Слід звернути увагу, що на той час радіовуглецевий вік розраховувався за простим співвідношенням актуальної питомої активності ^{14}C у навколишньому середовищі до зареєстрованої питомої активності зразка, а радіовуглецеві роки дорівнювали календарним. Автори зробили висновок, що результати радіовуглецевого методу відповідають очікуванням і таким чином є прийнятними. Ця робота підтвердила працездатність методу, а також два основні припущення, на яких він ґрунтувався: а) «приблизну сталість» інтенсивності космічного випромінювання, що досягає верхніх шарів атмосфери; б) незмінність показників зразків з часом.

Протягом наступного десятиліття виявлено, що метод переставав бути достатньо точним на деяких часових діапазонах конкретних регіонів. Так, у 1963 році У. Ліббі опублікував результати радіовуглецевих вимірювань для Вавилонії, Риму, Сирії, Кіпру, Норвегії та Єгипту¹⁴. Виявилось, що для всіх регіонів, крім останнього, результати в межах допустимої похибки відповідають історично встановленому віку зразків аж до віку в 5000 років (тобто до 3000 р. до н. е.). Однак для Єгипту відзначено систематичну розбіжність між результатами радіовуглецевого датування й очікуваним віком деяких періодів, в основному це стосувалося третього тисячоліття до н. е., де помилка була кумулятивною. У. Ліббі дійшов висновку, що «радіовуглецеві дати для Єгипту для періоду від 4000 до 5000 років тому можуть бути завжди надто молодими порівняно з історичними датами, але два набори дат є узгодженими до 4000 років тому [...] історичні дати після 4000 років тому можуть бути децю занадто старими, майже на 5 століть більш старими для 5000 років тому зі зменшенням помилки до нуля при 4000 років тому»¹⁵, тобто результати потребували додаткової корекції.

Введення калібрувальної кривої та підвищення точності даних

У 60-ті роки ХХ ст. визнано, що радіовуглецеві дати потребують калібрування, щоб відобразити мінливість у рівнях вуглецю в різні часові періоди. У середині десятиліття були проаналізовані річні кільця європейського дуба, північноамериканської ялиці Дугласа та секвої в Ла-Хойї та опубліковані таблиці радіовуглецевих поправок – по суті, перша калібрувальна крива радіовуглецевого датування, що охоплювала період

¹² Reimer P. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. 2020. Vol 62. № 4. P. 725–757.

¹³ Arnold J., Libby W. Age determinations by radiocarbon content; checks with samples of known age. *Science*. 1949. Vol. 110. № 2869. P. 678–680.

¹⁴ Libby W. Accuracy of radiocarbon dates. Apparent discrepancies are examined for geophysical significance and for a general principle of correction. *Science*. 1963. Vol. 140. № 3564. P. 278–280.

¹⁵ Ibid. P. 278.

з 1000 до 1800 років н. е.¹⁶. Точні вимірювання ¹⁴C у річних кільцях дерев з Європи, обох Америк, Південної Африки та Індії для дослідження можливості географічних відмінностей в атмосферному ¹⁴C, проведені в Університеті Гронінгена¹⁷, виявили, що значення в Північній півкулі були схожими для всіх місць, що дало можливість використовувати лише дві калібрувальні криві: одну – для північної, а другу – для південної півкулі.

Перша калібрувальна крива була заснована на сосні остистій¹⁸, проте її результати викликали суперечки. Хоча історичні очікування та калібровані дати, отримані за допомогою неї, здебільшого відповідали одні одним, заявлено, що для зразків, молодших, ніж 2000 до н.е., після калібрування спостерігалася систематична помилка, яка завищувала дати на три століття¹⁹. Зазначено, що прийняття дат, отриманих методом радіовуглецевого датування на основі річних кілець сосни остистої, змусило б переглянути як єгипетську хронологію, так і месопотамську, яка була реконструйована незалежно від єгипетської, але відповідає їй²⁰. Деякі інші дослідники, навпаки, наполягали на тому, що календарні дати з урахуванням калібрувальної кривої сосни остистої сумісні з єгипетською загальноприйнятою хронологією протягом усього періоду 3100–300 роки до н. е.²¹.

Ситуація значно поліпшилася після публікації високоточної калібрувальної кривої за 6000 років, заснованої на річних кільцях ірландських дубів²². Це досягнення мало важливе значення у трьох аспектах: по-перше, ця крива могла бути застосовна до всієї північної півкулі; по-друге, оскільки річні кільця дуба і ялиці ширші, ніж у сосни остистої, були можливі точніші виміри; по-третє, розрахункова похибка цієї кривої не перевищувала двадцяти років, що дозволило підвищити точність калібрування єгипетських радіовуглецевих дат²³. Після цього достовірність калібрувальної кривої та наявність коливальних природних рівнів вуглецю перестали бути головною турботою археологів. З моменту встановлення високоточної кривої основними джерелами помилок стали методи збирання та аналізу зразків.

Сучасні вимоги до методів збирання та аналізу зразків

Для досягнення точності радіовуглецевого датування згідно з сучасними вимогами необхідно виконати низку вимог:

а) по-перше, зразки повинні відображати археологічну цілісність; високоточні датування будуть марними, якщо зразки не підкріплені точною стратиграфією²⁴;

б) по-друге, слід враховувати проблему «старої» деревини, оскільки матеріал, що використовується для датування, може походити від довго живучих дерев, таких як кедр²⁵. Крім того, внутрішні частини ствола великого дерева можуть припинити обмін вуглецем з навколишнім середовищем значно раніше, ніж помре все дерево, оскільки внутрішній ствол може розкладатися, поки зовнішній ствол ще живий²⁶. Більш того,

¹⁶ Stuiver M., Suess H. On the relationship between radiocarbon dates and true sample ages. *Radiocarbon*. 1966. Vol. 8. P. 534–540.

¹⁷ Lerman J., Mook W., Vogel J. ¹⁴C in tree rings from different localities. In: Olsson I. (ed.). *Radiocarbon variations and absolute chronology*. New York: J. Wiley and Sons, 1970. P. 257–299.

¹⁸ Stuiver M., Suess H. On the relationship between radiocarbon dates and true sample ages. *Radiocarbon*. 1966. Vol. 8. P. 534–540.

¹⁹ McKerrell H. Correction Procedures for C-14 Dates. In: Watkins T. (ed.). *Radiocarbon: Calibration and Prehistory*. Edinburgh: Edinburgh U. P., 1975. P. 70.

²⁰ Watkins T. (ed.). *Radiocarbon: Calibration and Prehistory*. Edinburgh, Edinburgh U. P. 1975. P. 3.

²¹ Clark R. Bristlecone Pine and Ancient Egypt: A Re-Appraisal. *Archaeometry*. 1978. Vol. 20. P. 16.

²² Pearson G., Baillie M. High-Precision ¹⁴C Measurement of Irish Oaks to Show the Natural ¹⁴C Variations from 200 BC to 4000 BC. *Radiocarbon*. 1983. Vol. 25. № 2. P. 179–186.

²³ Shaw I. Egyptian Chronology and the Irish Oak Calibration. *Journal of Near Eastern Studies*. 1985. Vol. 44. № 4. P. 297.

²⁴ Ibid. P. 298.

²⁵ Hassan F., Robinson S. High Precision Radiocarbon Chronometry of Ancient Egypt and Comparisons with Nubia, Palestine and Mesopotamia. *Antiquity*. 1987. Vol. 61. P. 119–120.

²⁶ Bowman S. *Radiocarbon dating*. Berkeley: University of California, 1990. P. 51.

можливе відкладене або повторне використання деревини: процес сушіння матеріалу міг статися задовго до фактичного використання; великі колоди могли бути повторно використані в будівництві²⁷;

в) по-третє, зразки та їх передбачуваний історичний контекст мають бути тісно пов'язані: необхідно забезпечити набір кількох вимірів для кожної цільової події; бажані множинні набори для однієї і тієї ж події²⁸;

г) по-четверте, серія зразків має пройти статистичну перевірку для виявлення аномальних викидів; після видалення викидів вимірювання мають бути статистично усереднені²⁹.

Радіовуглецеве датування та єгиптологія

З моменту його винаходу в середині ХХ ст. і до сьогодні метод радіовуглецевого датування пройшов великий шлях вдосконалення: покращилося розуміння процесів, в які залучено вуглець у навколишньому середовищі; значно посилилися вимоги до відбору та обробки датованої органіки; лічильники бета-випромінювання змінилися мас-спектрометрами і це дозволило суттєво знизити вимоги до розміру зразків; останнім часом запропоновано регіональні корекції радіовуглецевого віку (для Єгипту корекція становить 19 ± 5 ^{14}C років)³⁰. Усе це дозволило перейти від початкової роздільної здатності методу в масштабі століття до роздільної здатності в масштабі десяти років³¹.

Навпаки, єгипетська історична хронологія за цей час змінилася дуже несуттєво: тільки-но з'явилася й набрала силу тенденція до омолодження календарних дат Давнього і Ранняго царств, обумовлена коригуванням тривалості правлень – так звана низька хронологія ставала все більш «модною» (наприклад, дати початку I династії змінювалися так: 3050 р. до н. е.³². – > 3000 р. до н. е.³³. – > 2950 р. до н. е.³⁴. – > 2900 р. до н. е.³⁵..

Вплив єгиптології на метод радіовуглецевого датування складно переоцінити: можна сказати, що цей метод до певного часу розвивався на даних єгипетської хронології, яка реконструйована набагато точніше за інші і тому могла виступати своєрідним еталоном на різних етапах його розвитку.

Коли Дж. Арнольд і У. Ліббі опублікували свою «Криву відомих даних» як попередній доказ працездатності методу радіовуглецевого датування, три з шести датованих зразків належали давньоєгипетським контекстам (див. вище). Криву, отриману на цих даних, можна розглядати не тільки як підтвердження працездатності методу, а й як першу незалежну, хоча й дуже грубу перевірку коректності дат Середнього (Сенусрет III) і Давнього царств (Джосер, Снеферу)³⁶.

Розбіжність радіовуглецевих та історичних дат для Єгипту III тис. до н. е. (див. вище) зумовила усвідомлення необхідності додаткової корекції. Дослідження причин розбіжності виявило мінливість концентрації ^{14}C в атмосфері та зумовило введення процедури калібрування. Перші калібрувальні криві були отримані в результаті дендрохронологічних праць Е. Шульмана та К. Фергюсона в Аризоні та Х. Суесса

²⁷ Bowman S. *Radiocarbon dating*. Berkeley: University of California, 1990. P. 53.

²⁸ Hassan F., Robinson S. High Precision Radiocarbon Chronometry of Ancient Egypt and Comparisons with Nubia, Palestine and Mesopotamia. *Antiquity*. 1987. Vol. 61. P. 120.

²⁹ Hassan F., Robinson S. High Precision Radiocarbon Chronometry of Ancient Egypt and Comparisons with Nubia, Palestine and Mesopotamia. *Antiquity*. 1987. Vol. 61. P. 129.

³⁰ Dee M., Ramsey Shortland, A. Higham T., Rowland J. Reanalysis of the Chronological Discrepancies Obtained by the Old and Middle Kingdom Monuments Project. *Radiocarbon*. 2009. Vol. 51. № 3. P. 1061–1070.

³¹ Taylor R. Radiocarbon dating, In: Taylor R., Aitken M., (eds.) *Chronometric dating in archaeology*. New York, 1997. P. 65–96.

³² Kemp B. *Ancient Egypt: anatomy of a civilization*. London: Routledge, 1989. P. 14.

³³ Murnane W. Three kingdoms and thirty-four dynasties. In: Silberman D. (ed.), *Ancient Egypt*. New York: Oxford University Press, 1997. P. 20–39.

³⁴ Beckerath J. *Chronologie des pharaonischen Ägypten*. Mainz: von Zabern, 1997. P. 187.

³⁵ Hornung E., Krauss R., Warburton D. (eds). *Ancient Egyptian Chronology*. Leiden: Brill., 2006. P. 490.

³⁶ Arnold J., Libby W. Age determinations... P. 678, Таблица 1.

в Ла-Хойї, Каліфорнія на основі радіовуглецевого датування кілець секвої та сосни остистої (спочатку для діапазону 1000–1800 рр. н. е.³⁷; потім для діапазону 4100–1500 рр. до н. е.³⁸; для діапазону 5200 р. до н. е. – 1970 р. н. е.). Через запровадження процесу калібрування допустимі похибки обчислених календарних дат значно збільшилися.

Водночас радіовуглецеве датування все ще залишалося дуже дорогим і висувало значні вимоги до обсягу зразків, тому єгиптологи неохоче бралися за цей новий метод датування. Незважаючи на це, набір єгипетських дат, зібраних Г. Мартіном на різних ділянках, був датований лабораторіями Британського музею та Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі (UCLA) в межах одного з перших великомасштабних між-лабораторних порівнянь³⁹. У 1971 році Р. Деррікур також опублікував велику кількість даних щодо Єгипту та інших країн північної Африки, щоб вивчити міжрегіональну хронологічну синхронізацію⁴⁰. Трохи пізніше оновлена добірка єгипетських ¹⁴C дат була опублікована Р. Лонгом⁴¹. Єгиптологи не сумнівалися в корисності калібрувальної кривої для сосни остистої, проте її точність вважалися недостатньою.

Наступна публікація додаткових калібрувальних кривих, заснованих головним чином на роботі в Ла-Хойї, Філадельфії та Тусоні, мало що зробила для покращення ситуації. На симпозіумі в Единбурзі в 1974 р. основна увага була приділена суперечці про причини коливань кривої Х. Суесса для сосни остистої; в результаті не вдалося досягти згоди щодо точної форми калібрування.

Крім питань про те, яку калібрувальну криву слід використовувати для єгипетських зразків (деякі дослідники пропонували навіть сконструювати альтернативну калібрувальну криву для Єгипту, щоб скоригувати помилки ¹⁴C датування єгипетських зразків і привести їх у відповідність до їхнього «відомого» віку⁴²), єгиптологи здебільшого мало уваги приділяли цьому методу й залишалися скептично налаштовані стосовно використання його в польових умовах. Так, І. Едвардс зазначив, що радіовуглецеве датування ще не вплинуло на реконструкцію єгипетської хронології⁴³, а Р. Лонг зробив висновок, що цей метод не є прийнятним інструментом для уточнення єгипетських дат, тому що для них існують інші точніші методи⁴⁴. Той факт, що абсолютні календарні дати історичної хронології були незалежно (хоч і приблизно) підтвержені, визнавали рідко.

Сумніви, висловлені Р. Лонгом і Г. МакКерреллом, були розвіяні, коли Р. Кларк в 1978 р. представив статистичні аргументи на користь застосування поправки на сосну остисту до єгипетських дат⁴⁵. Використовуючи таку ж базу даних, як і Г. МакКеррелл,

³⁷ Stuiver M., Suess H. On the relationship between radiocarbon dates and true sample ages. *Radiocarbon*. 1966. Vol. 8. P. 534–540.

³⁸ Suess H. Bristlecone pine calibration of the radiocarbon time scale from 4100 BC to 1500 BC. *Radioactive dating and methods of low-level counting: Proc. of a Symp., Monaco, 2–10 March 1967*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1967. P. 143–151.

³⁹ Berger R., Libby W. UCLA Radiocarbon dates VI. *Radiocarbon*. 1967. Vol. 9. P. 477–504; Berger R., Fergusson G., Libby W. UCLA Radiocarbon Dates IV. *Radiocarbon*. 1965. Vol. 7. P. 336–371; Barker H., Burleigh R., Meeks N. British Museum natural radiocarbon measurements VI. *Radiocarbon*. 1969. Vol. 11. № 2. P. 278–294; Edwards I. Absolute Dating from Egyptian Records and Comparison with Carbon-14 Dating. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 1970. Vol. 269, № 1193. P. 16.

⁴⁰ Derricourt R. Radiocarbon Chronology for Egypt and North Africa. *Journal of Near Eastern Studies*. 1971. Vol. 30. № 4. P. 271–292.

⁴¹ Long R. Ancient Egyptian Chronology, Radiocarbon Dating and Calibration. *Zeitschrift für ägyptische Sprache*. 1976. Vol. 103. P. 30–48.

⁴² McKerrell H. Correction Procedures for C-14 Dates. In: Watkins T. (ed.). *Radiocarbon: Calibration and Prehistory*. Edinburgh: Edinburgh U. P., 1975

⁴³ Edwards I. Absolute Dating from Egyptian Records and Comparison with Carbon-14 Dating. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 1970. Vol. 269. № 1193. P. 11.

⁴⁴ Long R. Ancient Egyptian Chronology, Radiocarbon Dating and Calibration. *Zeitschrift für ägyptische Sprache*. 1976. Vol. 103. P. 35.

⁴⁵ Clark R. Bristlecone Pine and Ancient Egypt: A Re-Appraisal. *Archaeometry*. 1978. Vol. 20. P. 5–17.

він довів, що крива сумісна з єгипетською загальноприйнятою хронологією протягом усього періоду 3100–300 рр. до н.е.

У 1979 році Дж. Меллаарт вперше запропонував зміну наявних хронологічних рамок на основі результатів радіовуглецевих вимірів. Він зазначив, що набір ^{14}C дат для Стародавнього Єгипту відповідає вищій хронології, тому дати для історичної хронології мають бути підвищені⁴⁶, проте його висновки були рішуче відкинуті єгиптологами⁴⁷.

У 1985 році наявний набір даних переглянув Я. Шоу з використанням нової кривої калібрувальної на основі даних ірландського дуба (див. вище)⁴⁸. Він вважав, що для багатьох розбіжностей між результатами ^{14}C датування та очікуваною датою помилку слід шукати в методах збирання та аналізу зразків. Таким чином, у середині 80-х років ХХ століття загальноприйнятою, як і раніше, залишалася думка про мінімальну цінність радіовуглецевих дат⁴⁹.

Ситуація почала поступово змінюватися наприкінці 1980-х років: Ф. Хасан та С. Робінсон визнали, що досягнуто етапу, коли починається перевірка та коригування загальноприйнятої хронології Єгипту за допомогою радіовуглецевого датування⁵⁰.

У 1984 році Американський дослідний центр у Єгипті (ARCE) за фінансової підтримки Фонду Едгара Кейсі розпочав реалізацію проекту датування пірамід Давнього царства⁵¹. Зібрано та виміряно 80 зразків з пірамід та пов'язаних з ними пам'яток III–VI династій. Результат дослідження вразив: калібровані радіовуглецеві дати зразків виявилися в середньому на 374 роки старшими від очікуваних дат згідно з Кембридзькою хронологією стародавньої історії⁵², використовуваної авторами для порівняння. Через цю істотну розбіжність знадобилися додаткові дані, і в 1995 році розпочато наступний проєкт, розроблений на підтвердження, коригування чи усунення розбіжності між двома хронологіями. Підтримку цьому проєкту надав Д. Кох, засновник проєкту радіовуглецевого датування пірамід. У 2001 році Дж. Бонані та його колеги опублікували результати роботи цього проєкту, в результаті якого зібрано понад 450 зразків (переважно деревного вугілля), що належать до Давнього та Середнього царств, та опубліковано результати вимірювань для 269 з них⁵³. Багато отриманих каліброваних дат значно відрізнялися від історичних оцінок. Найбільші розбіжності спостерігалися для IV династії, де програма датування була найсуворішою. Для цього періоду проведено 158 вимірювань на 12 різних ділянках відбору проб, при цьому більшість дат виявилися на 200–300 років старшими за очікувані⁵⁴. Незважаючи на те що всі результати за окремими датами були опубліковані, на жаль, результати проєкту були переважно проігноровані і тому його вплив на єгиптологію був дуже обмежений.

Наступні два проєкти, проведені в першому десятилітті ХХІ ст., ставили за мету ретельно сформульовану стратегію відбору проб та системний підхід до аналізу даних. Перший з них називався «*Радіовуглецеве датування та історична хронологія Єгипту*»

⁴⁶ Mellaart, J. Egyptian and Near Eastern Chronology: A Dilemma? *Antiquity*. 1979. Vol. 53. P. 6–19.

⁴⁷ Kemp B. Egyptian Radiocarbon Dating: A Reply to James Mellaart. *Antiquity*. 1980. Vol. 54. P. 25–28.

⁴⁸ Shaw I. Egyptian Chronology and the Irish Oak Calibration. *Journal of Near Eastern Studies*. 1985. Vol. 44, № 4.

⁴⁹ Ibid. P. 304.

⁵⁰ Hassan F., Robinson S. High Precision Radiocarbon Chronometry of Ancient Egypt and Comparisons with Nubia, Palestine and Mesopotamia. *Antiquity*. 1987. Vol. 61. P. 119.

⁵¹ Radiocarbon chronology and the historical calendar in Egypt / Haas H., Devine J., Wenke R., Lehner M., Wölfli W., Bonani G. In: Aurenche O., Evin J., Hours F., (eds.), *Chronologies in the Near East. BAR International Series*. 1987. Vol. 379. P. 585–606.

⁵² Hayes W. Chronology: Egypt to the end of the Twentieth Dynasty. In: Edwards I., Gadd C., Hammond N., (eds.), *Cambridge Ancient History*. 3rd ed. Vol. 1, pt. 1. Cambridge: Cambridge Univ Press, 1973. P. 173–193.

⁵³ Bonani G., Haas H., Hawass Z., Lehner M., Nakhla S., Nolan J., Wenke R., Wölfli W. Radiocarbon Dates of Old and Middle Kingdom Monuments in Egypt. *Radiocarbon*. 2001. Vol. 43. № 3. P. 1297–1320.

⁵⁴ Dee M., Ramsey Bronk, Shortland A., Higham T., Rowland J. Reanalysis of the Chronological Discrepancies Obtained by the Old and Middle Kingdom Monuments Project. *Radiocarbon*. 2009. Vol. 51. № 3. P. 1061.

і був виконаний К. Рамзі, М. Ді та їх колегами з Оксфордського університету⁵⁵. Цей проєкт був першим, у якому систематично застосовувався байєсівський аналіз великих наборів радіовуглецевих дат та історичних обмежень замість порівняння окремих каліброваних радіовуглецевих визначень з абсолютними датами, запропонованими для єгипетської історичної хронології. Зразки короткоживучих рослин і виробів з них довелося шукати в музейних колекціях в усьому світі, оскільки експорт зразків для деструктивного аналізу з Єгипту був неможливим. Якщо не вдаватися в особливості проаналізованих наборів даних, можна сказати, що цей проєкт дав результати, які більш-менш узгоджуються з історичною хронологією Єгипту.

Другий проєкт, виконаний в Австрійській академії наук під керівництвом М. Бієтака, називався «*Синхронізація цивілізацій у Східному Середземномор'ї в другому тисячолітті до н.е.*» (SCIEM 2000). Він дозволив отримати найповнішу послідовність радіовуглецевих дат, доступну сьогодні для Телль-ель-Даба, стародавнього Аваріса, у східній частині дельти Нілу⁵⁶. Радіовуглецеві дати (47 зразків усього) для Телль-ель-Даба продемонстрували перевищення історичних дат на величину приблизно 120 років. Питання про причини цієї розбіжності й досі остаточно не вирішене, тому деякі дослідники вказали на необхідність серйозної переоцінки датування археологічних фаз та синхронізмів у Єгипті та на Близькому Сході (див., наприклад⁵⁷).

Висновки. Підбиваючи підсумки короткого розгляду взаємовпливу радіовуглецевого датування та єгипетської хронології, можна констатувати таке: протягом усього періоду співіснування точність радіовуглецевого методу вважалася єгиптологами недостатньою для істотного впливу на єгипетську хронологію. На початкових етапах досить точні єгипетські календарні дати використовувалися для налаштування та покращення радіовуглецевого методу. На початку XXI століття, коли калібрувальна крива стала досить точною та зменшилися вимоги до розміру датованого зразка, запущено кілька масштабних проєктів датування єгипетських пам'яток і у двох випадках виявлено, що результати радіовуглецевого датування суттєво перевищують історично очікуваний вік об'єктів (до двох століть у разі пірамід IV династії; до 120 років у випадку Телль-ель-Даба). Оскільки другий випадок належить до Середнього царства, для якого існує тверда астрономічна прив'язка⁵⁸, дуже сумнівно, що дослідження причин розбіжності призведе до істотних змін загальноприйнятих дат цього періоду. Навпаки, оскільки Давнє царство астрономічних прив'язок не має, не можна виключати перегляду дат єгипетської хронології для цього періоду та збільшення його віку в результаті майбутніх досліджень, і тоді вплив радіовуглецевого методу та єгипетської хронології можна буде назвати взаємним.

Інформація про використання інструментів генеративного штучного інтелекту. При написанні статті автор не використовував інструменти генеративного штучного інтелекту.

REFERENCES

1. Arnold, J., Libby, W. (1949). Age determinations by radiocarbon content; checks with samples of known age. *Science*, 110(2869), 678–680.
2. Barker, H., Burleigh, R., Meeks, N. (1969). British Museum natural radiocarbon measurements VI. *Radiocarbon*, 11(2), 278–294.
3. Barker, H., Burleigh, R., Meeks, N. (1971). British Museum natural radiocarbon measurements VII. *Radiocarbon*, 13(2), 157–188.

⁵⁵ Ramsey C., Dee M., Rowland J., Higham T., Harris S., Brock F., Quiles A., Wild E., Marcus E., Shortland A. Radiocarbon-Based Chronology for Dynastic Egypt. *Science*. 2010. Vol. 328, № 5985. .P. 1554–1557; Radiocarbon and the Chronologies of Ancient Egypt / Shortland A., Bronk Ramsey C. (eds.). Oxford: Oxbow Books, 2013.

⁵⁶ Kutschera et al. 2012.

⁵⁷ Manning et al. 2014; Höflmayer 2015.

⁵⁸ Parker R. The Sothic dating of the Twelfth and Eighteenth Dynasties. In: *Studies in honor of George R. Hughes*. Chicago: Oriental Institute of the University of Chicago, 1977. P. 177–184.

4. Beckerath, J. von (1997). *Chronologie des pharaonischen Ägypten*, von Zabern, Mainz.
5. Berger, R., Fergusson, G., Libby, W., (1965). UCLA Radiocarbon Dates IV. *Radiocarbon*, 7, 336–371.
6. Berger, R., Libby, W. (1967). UCLA Radiocarbon dates VI. *Radiocarbon*, 9, 477–504.
7. Bonani, G., Haas, H., Hawass, Z., Lehner, M., Nakhla, S., Nolan, J., Wenke, R., Wölfli, W. (2001). Radiocarbon Dates of Old and Middle Kingdom Monuments in Egypt. *Radiocarbon*, 43(3), 1297–1320.
8. Borchardt, L. (1899). Der zweite Papyrusfund von Kahun und die zeitliche Festlegung des mittleren Reiches der ägyptischen Geschichte. *Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde*, 37(1), 89–103.
9. Bowman, S. (1990). *Radiocarbon dating*, University of California, Berkeley.
10. Breasted, J. (1906–1907). *Ancient Records of Egypt: Historical Documents from the Earliest Times to the Persian Conquest, collected, edited, and translated, with Commentary*. University of Chicago Press, Chicago.
11. Bronk, Ramsey C., Dee, M., Rowland, J., Higham, T., Harris, S., Brock, F., Quiles, A., Wild, E., Marcus, E., Shortland, A. (2010). Radiocarbon-Based Chronology for Dynastic Egypt. *Science*, 328(5985), 1554–1557.
12. Clark, R. (1978). Bristlecon Pine and Ancient Egypt: A Re-Appraisal. *Archaeometry*, 20, 5–17.
13. Dee, M., Ramsey, Shortland, A., Higham T., Rowland J. (2009). Reanalysis of the Chronological Discrepancies Obtained by the Old and Middle Kingdom Monuments Project. *Radiocarbon*, 51(3), 1061–1070.
14. Derricourt, R. (1971). Radiocarbon Chronology for Egypt and North Africa. *Journal of Near Eastern Studies*, 30(4), 271–292.
15. Edwards, I. (1970). Absolute Dating from Egyptian Records and Comparison with Carbon-14 Dating. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 269, 11–18.
16. Farina, G. (1938). *Il Papiro Dei Re, restaurato*, G. Bardi, Rome.
17. Haas, H., Devine, J., Wenke, R., Lehner, M., Wölfli, W., Bonani, G. (1987). Radiocarbon chronology and the historical calendar in Egypt. In: Aurenche O., Evin J., Hours F., (eds.), *Chronologies in the Near East. BAR International Series*, 379, 585–606.
18. Hassan, F., Robinson, S. (1987). High Precision Radiocarbon Chronometry of Ancient Egypt and Comparisons with Nubia, Palestine and Mesopotamia. *Antiquity*, 61, 119–135.
19. Hayes, W. (1973). Chronology: Egypt to the end of the Twentieth Dynasty. In: Edwards I., Gadd C., Hammond N., (eds.). *Cambridge Ancient History*, 3rd ed, vol. 1, pt. 1. Cambridge, Cambridge Univ Press, 173–193.
20. Helck, W. (1956). Untersuchungen zu Manetho und den ägyptischen Königslisten. *Untersuchungen zur Geschichte und Altertumskunde Aegyptens*, 18, Akademie-Verlag, Berlin.
21. Hornung, E., Krauss, R., Warburton, D. (eds), (2006). *Ancient Egyptian Chronology*. Brill, Leiden.
22. Höflmayer, F. (2015). Carbone-14 Comparé: Middle Bronze Age I (IIA) Chronology, Tell el-Dabca and Radiocarbon Data. In: Mynářová, J., Onderka, P., Pavúk, P. (eds.). *There and Back Again – The Crossroads II: Proceedings of an International Conference Held in Prague*, September 15–18, 2014. Prague, Charles University in Prague, 265–295.
23. Höflmayer, F. (2016). Radiocarbon Dating and Egyptian Chronology – From the ‘Curve of Knowns’ to Bayesian Modeling. In: *Oxford Handbooks Online. Archaeology*, Oxford University Press.
24. Kemp, B. (1980). Egyptian Radiocarbon Dating: A Reply to James Mellaart. *Antiquity*, 54, 25–28.
25. Kemp, B. (1989). *Ancient Egypt: anatomy of a civilization*. London, Routledge.
26. Kitchen, K. (1991). The Chronology of Ancient Egypt. *World Archaeology*, 23(2), 201–208.
27. Kutschera, W., Bietak, M., Wild, E., Bronk, Ramsey Ch., Dee, M., Golser, R., Kopetzky, K., Stadler, P., Steier, P., Thanheiser, U., Weninger, F. (2012). The Chronology of Tell el-Daba: A Crucial Meeting Point of 14C Dating, Archaeology, and Egyptology in the 2nd Millennium BC. *Radiocarbon*, 54(3–4), 407–422.
28. Lepsius, R. (1849). *Die Chronologie der Ägypter*. Nicolaische Buchhandlung, Berlin.
29. Lerman, J., Mook, W., Vogel, J. (1970). ¹⁴C in tree rings from different localities. In: Olsson I., (ed.). *Radiocarbon variations and absolute chronology*. New York, J. Wiley and Sons, 257–299.

30. Libby, W. (1963). Accuracy of radiocarbon dates. Apparent discrepancies are examined for geophysical significance and for a general principle of correction. *Science*, 140(3564), 278–280.
31. Long, R. (1976). Ancient Egyptian Chronology, Radiocarbon Dating and Calibration. *Zeitschrift für ägyptische Sprache*, 103, 30–48.
32. Manning, S. (2014). *A Test of Time and A Test of Time Revisited: The Volcano of Thera and the Chronology and History of the Aegean and East Mediterranean in the Mid-second Millennium BC*. Oxford, Oxbow Books.
33. Mariette, A. (1892). *Outlines of Ancient Egyptian History*. J. Murray, London.
34. McKerrell, H. (1975). Correction Procedures for C-14 Dates. In: Watkins T. (ed.). *Radiocarbon: Calibration and Prehistory*, (pp. 47–100). Edinburgh, Edinburgh U. P.
35. Mellaart, J. (1979). Egyptian and Near Eastern Chronology: A Dilemma? *Antiquity*, 53, 6–19.
36. Meyer, E. (1904). *Aegyptische Chronologie*, Verlag der Königl. Akademie der Wissenschaften, Berlin.
37. Murnane, W. (1997). Three kingdoms and thirty-four dynasties. In: Silberman D. (ed.), *Ancient Egypt*. New York, Oxford University Press, (pp. 20–39).
38. Parker, R. (1977). The Sothic dating of the Twelfth and Eighteenth Dynasties. In: *Studies in honor of George R. Hughes*. Oriental Institute of the University of Chicago, (pp. 177–189).
39. Pearson, G., Baillie M. (1983). High-Precision 14C Measurement of Irish Oaks to Show the Natural 14C Variations from 200 BC to 4000 BC. *Radiocarbon*, 25(2), 179–186.
40. Reimer, P. et al. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725–757.
41. Reimer, P. (2022). Evolution of radiocarbon calibration. *Radiocarbon*, 64(3), 523–539.
42. Shaw, I. (1985). Egyptian Chronology and the Irish Oak Calibration. *Journal of Near Eastern Studies*, 44(4), 295–317.
43. Shortland, A., Bronk Ramsey C. (eds.) (2013). *Radiocarbon and the Chronologies of Ancient Egypt*. Oxford, Oxbow Books.
44. Stuiver, M., Suess H. (1966). On the relationship between radiocarbon dates and true sample ages. *Radiocarbon*, 8, 534–540.
45. Suess, H. (1967). Bristlecone pine calibration of the radiocarbon time scale from 4100 BC to 1500 BC. In *Radioactive dating and methods of low-level counting* (pp. 143–151). Monaco, International Atomic Energy Agency.
46. Suess H. (1970). Bristlecone pine calibration of the radiocarbon timescale 5200 B.C. to the present. In: Olsson I. (ed.), *Proceedings of the Twelfth Nobel Symposium*. Uppsala, Sweden, 303–311.
47. Taylor, R. (1997). Radiocarbon dating, In: Taylor R., Aitken M., (eds.) *Chronometric dating in archaeology*. New York, 65–96.
48. Watkins, T. (ed.), (1975). *Radiocarbon: Calibration and Prehistory*. Edinburgh, Edinburgh U. P.
49. Winlock, H. (1947). *The Rise and Fall of the Middle Kingdom in Thebes*. The Macmillian Company, New York.

Надійшла до видання 01.02.2026.

Прийнята до друку після рецензування 10.03.2026.