

Исторические науки

УДК 930.1

А.Р. МЕЛЬНИКОВА

(alna.melnikova.2000@list.ru)

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина

МЕТОД РАДИОУГЛЕРОДНОГО ДАТИРОВАНИЯ В СВЕТЕ СИМБИОЗА ТОЧНЫХ НАУК И ИСТОРИИ*

Статья посвящена вопросам применимости точных (математических, химических и метрологических) научных методов в исторических исследованиях. В частности, в статье описывается сущность метода радиоуглеродного датирования, который был изобретен У.Ф. Либби. Данное исследование является междисциплинарным синкретизмом, т. к. при написании статьи мы использовали факты из таких наук, как археология, история, химия и математика. Рассматривается вклад профессора У.Ф. Либби в развитие археологической науки.

Ключевые слова: У.Ф. Либби, метод радиоуглеродного датирования, исследование, изотоп ^{14}C , углерод, археология.

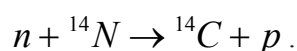
Метод радиоуглеродного датирования был предложен в 1949 г. американским химиком Уилларом Франком Либби (1908–1980) – профессором Чикагского университета. Этот метод применяется для определения возраста каких-либо предметов, имеющих биологическое происхождение или останков. Метод радиоуглеродного датирования производится посредством измерения радиоактивного изотопа ^{14}C по отношению к стабильному углероду ^{12}C , который содержится в представленном материале. В 1960 г. У.Ф. Либби стал Нобелевским лауреатом по химии за изобретение данного метода. Официальная формулировка номинации звучала так: «За введение метода использования углерода-14 для определения возраста в археологии, геологии, геофизике и других областях науки».

Необходимо отметить, что методика исследователя У.Ф. Либби гораздо упростила работу ученым во всем мире. Еще в XIX в. и начале прошлого столетия, когда археологи в определении точного возраста предмета, связывали керамические или каменные инструменты в разных географических локациях сходством формы и рисунка. Основываясь на идее о том, что стили объектов с течением времени совершенствуются, археологи размещали их по предположительному таймлайну. Конечно же, этот подход сложно назвать точным, возникало множество погрешностей, которые не допустимы в исторической науке.

До открытия У.Ф. Либби, археологи производили свои измерения, например, возраста дерева, путем вычисления количества годичных колец. Разумеется, это довольно трудоемкая и кропотливая работа. Еще сложнее приходилось работать с другими материалами, возраст которых важен для точного датирования исторического артефакта. Названный изотоп ^{14}C содержится в костях животных, в Туринской плащанице и в остатках еды первобытных людей. Теоретическое исследование У.Ф. Либби положило начало применению метода радиоуглеродного датирования на практике, при археологических работах. Метод У.Ф. Либби позволил устанавливать исторические периоды с большей точностью, а также помог бороться с подделками.

Необходимо сказать, что углерод является важной и неотъемлемой частью любого биологического организма. Он содержится в атмосфере Земли не только в виде стабильных изотопов ^{12}C (98,89%) и ^{13}C (1,11%), но и радиоактивного изотопа ^{14}C . При столкновении вторичных нейтронов от космических лучей с ядрами атмосферного азота на высотах от 12 до 15 км образуется изотоп ^{14}C :

* Работа выполнена под руководством Ляпина Д.А., доктора исторических наук, доцента кафедры истории и историко-культурного наследия ЕГУ им. И.А. Бунина.



Всего, в течение секунды над 1 дм² земной поверхности в среднем образуется около 240 атомов ¹⁴C. В конечном счете, за один год в атмосфере планеты Земля образуется примерно 8 кг ¹⁴C.

Оба изотопа появляются в диоксиде углерода, который входит в ткани всех растений, животных, в том числе и человека. Когда организм умирает, то поступление углерода ¹⁴C внутрь организма прекращается.

Экспериментальным путем установлено, что радиоактивные вещества, такие как плутон, уран или углерод ¹⁴C, распадаются на определенный процент от их массы за некоторую единицу времени.

Иначе говоря, радиоактивные вещества распадаются со скоростью, пропорциональной их массе.

Пусть $c(t)$ – концентрация углерода ¹⁴C в мертвом органическом материале в момент времени t , отсчитываемом с момента смерти.

Тогда $c(t)$ удовлетворяет следующему дифференциальному уравнению с начальным условием:

$$\frac{dc(t)}{dt} = -\theta c(t), \quad t > 0, \quad c(0) = c_0, \quad (1),$$

где время в момент смерти $t=0$, c_0 – концентрация изотопа ¹⁴C, которую хранил живой организм и $\theta = 1,2410^{-4}$ – константа.

Имеем дифференциальное уравнение первого порядка, представленное разделяющимися переменными. Если мы разделим переменные, получим

$$\frac{dc(t)}{c(t)} = -\theta dt.$$

Интегрируя обе части последнего равенства по переменной t , будем иметь

$$\ln c(t) = -\theta t + \ln K.$$

Откуда получаем

$$\ln c(t) - \ln K = -\theta t$$

или

$$\ln \frac{c(t)}{K} = -\theta t.$$

Откуда следует, что

$$c(t) = Ke^{-\theta t}.$$

Очевидно, что $c(0) = K$, что в силу условия $c(0) = c_0$ влечет появление равенства

$$c(t) = c_0 e^{-\theta t}.$$

Выразим теперь из него время t :

$$e^{-\theta t} = \frac{c(t)}{c_0}.$$

Прологарифмировав обе части последнего соотношения, будем иметь

$$-\theta t = \ln\left(\frac{c(t)}{c_0}\right)$$

или

$$-\theta t = -\ln\left(\frac{c_0}{c(t)}\right).$$

Окончательно получаем

$$t = \frac{1}{\theta} \ln\left(\frac{c_0}{c(t)}\right).$$

Напомним, что период полураспада радиоактивного вещества определяется как время t_h , в течение которого количество ядер уменьшается до половины от первоначальной величины.

Если период полураспада радиоактивного элемента известен и составляет t_h , то радиоактивное вещество распадается по закону:

$$N(t) = N(0) 2^{-\frac{t}{t_h}} = \frac{N(0)}{2^{\frac{t}{t_h}}}, \quad (2)$$

где $N(t)$ – масса радиоактивной субстанции ко времени t и $t_h = \frac{\ln 2}{\theta}$.

Известно, что период полураспада углерода ^{14}C приблизительно 5730 лет. 27 февраля 1940 г. американские химики *Мартин Кеймен* (1913–2002) и *Сэмюэль Рубен* (1913–1943), работавшие в лаборатории Калифорнийского университета в Беркли, подтвердили существование изотопа углерода ^{14}C . Они обнаружили радиоактивность в образце углекислого газа, полученном путем сжигания графитовой мишени, которая была бомбардирована дейтронами в циклотроне их лаборатории.

Экспериментальным путём было подтверждено, что содержание ^{14}C в образцах древесины свежесрубленных деревьев, произрастающих в разных широтах нашей планеты, оказалось одинаковым: в итоге в течение одной минуты в каждом грамме углерода, который выделился из живого организма, распадается приблизительно 15,3 атома ^{14}C и образуется столько же бета-частиц или электронов. Полученный результат демонстрирует исключительно слабую радиоактивность [2].

Проведя измерение радиоактивности различных годовых колец деревьев, живущих около пяти тысяч лет, У.Ф. Либби смог удостовериться в точности своего метода. Необходимо добавить, что между кольцами деревьев нет обмена углеродом. Для того чтобы определить радиоактивность, необязательно пилить деревья. Вполне достаточно будет вырезать из него длинный керн малого диаметра.

Апробировали также и образцы, в которых возраст удалось установить при помощи археологических данных. Это были различные изделия и продукты, произведенные в разные периоды времени: дерево из гробниц фараонов (3900–5600 лет); хлеб из дома в Помпеях (79 н. э.), ткань, которая была предназначена для перевязки свитков Мертвого моря, а также древесный уголь из Стоунхенджа и др. В результате проведенных измерений, теория У.Ф. Либби оправдала себя и была официально подтверждена. Помимо всего прочего, ученому удалось установить, что последний ледниковый период в Северной Америке окончился не 25000 лет назад, как предполагали ранее, а 10000 лет назад. Главным достижением метода У.Ф. Либби считается именно точное определение времени последних ледниковых периодов на нашей планете [Там же].

Таким образом, возвращаясь к математическим подсчетам, У.Ф. Либби определил, что возраст опытного образца устанавливается следующим образом: если один грамм исследуемого вещества углерода выделяет в минуту около $15,3/2=7,65$ бета-частицы, то такому образцу 5730 лет (прошло время T), если же 3,8 частицы – 11460 лет (прошло время $2T$) и т. д.

По формуле $c(t) = c_0 e^{-\theta t}$ (где c_0 и c – концентрации в начальный момент и через время t), то по формуле $t = \frac{1}{\theta} \ln \left(\frac{c_0}{c(t)} \right)$ можно рассчитать возраст образца при любой его концентрации. Для ^{14}C получа-

ется, что: $\frac{1}{\theta} = \frac{t_h}{\ln 2} = \frac{5730}{\ln 2} = 8270$ лет.

Предположим, что концентрация какого-либо образца старой древесины ниже в 2,17 раза, если проводить сравнение с концентрацией «свежей» древесины, тогда возраст исследуемого артефакта равен $t = 8270 \times \ln(2,17) = 8270 \times 0,775 \approx 6400$ лет.

Современные методы измерения используют этот метод для углеродсодержащих материалов возрастом до 50000 лет.

В 1959 г. в голландском городе Гронинген прошёл первый международный симпозиум, посвященный методу радиоуглеродной хронологии.

Метод радиоактивного датирования оказал огромное воздействие на развитие археологии, т. к. позволил более точно датировать артефакты из большого временного промежутка.

Рассмотрим далее краткую историю появления метода радиоуглеродного датирования.

По определению изотопов с периодами распада, которые находились в органических веществах, еще в 1939 г. начали эксперименты Мартин Камен и Сэмюэль Рубен. Изучалось вещество, в котором было достаточно изотопов для представления ценности в биомедицинских исследованиях. После того, как ученым удалось синтезировать ^{14}C с применением лабораторного циклотронного ускорителя было установлено, что период полураспада атома более длительный по времени, чем предполагалось ранее. Профессору Гельсингфорского университета – С.А. Корфу удалось установить, что в верхних слоях атмосферы проявляется ^{14}C за счет взаимодействия тепловых нейтронов с ^{14}N . У.Ф. Либби, опираясь на воззрения С.А. Корфа в 1945 г., сделал вывод, что радиоуглеродный метод можно применять для датировки [1].

После такого умозаключения в том же году в чикагском университете У.Ф. Либби организовал группу, которая активно работала над реализацией на практике радиоуглеродного метода датирования. В 1946 г. появилась публикация, в которой шла речь о том, что углерод в живом веществе может включать в себя как ^{14}C , так и нерадиоактивный углерод. Уже в 1947 г. в журнале Science была напечатана статья, в которой произвели обобщение всех наблюдений. В представленной статье отмечалось, что результаты наблюдений тесно связаны с датированием материалов органического происхождения [Там же].

Итак, в качестве подтверждения своей теории датирования У.Ф. Либби и Джеймс Арнольд провели анализ образцов, возраст которых был известен. Образцы были взяты из могил двух египетских фараонов Джосера и Снофру. Впоследствии результаты радиоуглеродного лабораторного анализа показали дату 2800 год до нашей эры с некой погрешностью в 250 лет, хотя до этого останки были приурочены к 2625 г. до нашей эры с погрешностью в 75 лет. Итог проведенного эксперимента был опубликован в журнале Science в 1949 г., а уже в 1960 г. ученый У.Ф. Либби получил Нобелевскую премию в области химии [Там же].

С момента появления в археологии метода радиоуглеродного датирования, многие исследователи изменили свое представление о возрасте археологических находок. Долгое время в истории бытовало мнение, что цивилизация зародилась в Европе, а затем уже распространилась на всех континентах. Ис-

пользуя радиоуглеродный метод датирования при изучении артефактов Европы, Америки, Азии, Африки и Океании археологам удалось установить, что большинство цивилизации развивались во многих независимых местах. Археологи стали все больше задаваться вопросом об эволюции человеческого поведения в доисторические времена.

В настоящее время метод радиоуглеродного датирования активно используется учеными и археологами. С помощью данного метода исследователи успешно определяют датировку захоронения, останков людей, предметов и даже наскальных рисунков. Стоит сказать, что на современном этапе в археологии выделяются и другие методы датирования объектов. Одним из таких является палеомагнитный метод, т. е. измерение остаточной намагниченности предметов. Другой метод – термолуминесцентное датирование позволяет измерить количество радиоактивного излучения, которому когда-либо подвергался объект. Однако метод радиоуглеродного датирования на сегодняшний день является наиболее точным методом, позволяющим определять периодизацию предметов из прошлого. Однако необходимо упомянуть, что данный метод не направлен на решение глобальных вопросов, таких как определение возраста планеты Земля. Некоторые ученые не считают данный метод датирования совершенным, отказываются применять его в своих исследованиях.

Метод радиоуглеродного датирования может скоро потерять свою актуальность, т. к. объекты, которые умерли, например, в 1940-е годы и дальше, могут иметь другое соотношение углерода-14. Стоит учитывать тот факт, что взрывы ядерных бомб или работа реакторов привели к искажению количества поглощаемого вещества. Также, на исследование большое воздействие оказывают климатические изменения – уровень выбросов ископаемого топлива может привести к искажению соотношения углерода в материале, что непременно приведет к неправильной интерпретации результатов датирования.

В заключение необходимо сказать, что исследование физико-химика Уилларда Франка Либби – открытие метода радиоуглеродного датирования сыграло важную роль в археологической науке. Результат, казалось бы, простого научного любопытства способствовал научно-метрологической революции и появлению новых исследований в области археологии. Метод радиоуглеродного датирования предоставляет исследователям более точные сведения о предмете или периоде истории. Метод в некоторой степени облегчил процесс работы археолога и обогатил историческую науку.

Литература

1. Вагнер Г.А. Научные методы датирования в геологии, археологии и истории. М.: Техносфера, 2006.
2. Леенсон И.А. Уиллард Либби и его радиоуглерод // Химия и жизнь 2014. № 6. С. 64–65.
3. Орлова Л.А. Радиоуглеродный метод датирования в археологии // Методы естественных наук в археологических реконструкциях. Новосибирск, 1995. Ч. I. С. 87–97.
4. Рублевский В.П., Голенецкий С.П., Кирдин Г.С. Радиоактивный углерод в биосфере. М.: Атомиздат, 1979.
5. Тишкин А.А. Методика отбора проб для радиоуглеродного и дендрохронологического датирования. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2001.

ALENA MELNIKOVA

Bunin Yelets State University

METHOD OF CARBON DATING IN TERMS OF THE SYMBIOSIS OF STEM SUBJECTS AND HISTORY

The article deals with the issue of the implementation of STEM scientific methods in the historical researches. There is described the essence of the method of the carbon dating that was invented by W.F. Libby. The research is an interdisciplinary syncretism because there were used the facts of such sciences as Archeology, History, Chemistry and Mathematics in the process of writing the article. There is considered the contribution of the professor W.F. Libby in the development of Archeology.

Key words: *W.F. Libby, method of carbon dating, research, isotope ^{14}C , carbon, archeology.*