

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТА МАТЕРИАЛОВ  
БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ  
ПО СОДЕРЖАНИЮ  $C^{14}$** 

Несколько лет тому назад было высказано предположение<sup>1</sup>, что в атмосфере Земли и во всех углеродсодержащих веществах, обменивающихся своим углеродом с атмосферой, должно содержаться некоторое количество радиоактивного изотопа углерода  $C^{14}$ , образованного космическими лучами. В результате распада  $C^{14}$  удельная активность его должна быть меньше в материалах биологического происхождения, не обменивающихся углеродом с атмосферой, чем в живых организмах, запас  $C^{14}$  в которых непрерывно обновляется за счет обмена с атмосферой, в верхних слоях которой происходит непрерывное образование  $C^{14}$ . Специально поставленные опыты подтвердили это предположение<sup>2</sup> и позволили авторам выразить надежду, что по степени уменьшения удельной активности в «старых» биологических материалах удастся определить время, прошедшее с момента их отмирания. В самое последнее время<sup>3</sup>, благодаря усовершенствованию и упрощению методики измерения, этим способом удалось определить возраст ряда материалов в пределах от 1370 до 4600 лет, причём полученные данные весьма удовлетворительно согласуются с определениями возраста, произведёнными на основе исторических и иных исследований. Предложенный метод представляет определённый интерес для специалистов самых различных областей и в будущем, при дальнейшем упрощении, может превратиться в ценное орудие исследования.

Ниже рассматриваются несколько подробнее основные моменты обсуждаемого метода.

Нейтроны космических лучей, как считают, в основном поглощаются в верхних слоях атмосферы Земли в результате реакции  $N^{14}(n, p)C^{14}$ . Образующийся  $C^{14}$  радиоактивен и испускает мягкие электроны с максимальной энергией  $E_{\text{макс}} = 150 \text{ кэв}$ ; период полураспада  $\tau = 5700$  лет. Этот углерод окисляется до углекислого газа и, наряду с общей массой углекислого газа атмосферы, участвует в обмене с живыми организмами (главным образом в результате фотосинтеза растений) и также с углекислыми солями, растворёнными в океанах. Если предположить что такой обмен происходит за интервал времени, малый по сравнению с периодом полураспада  $C^{14}$  (заметим, что полный круговорот углерода атмосферы, обусловленный одним только фотосинтезом, происходит за 600—800 лет), то удельная активность таких углеродсодержащих веществ, обменивающихся углеродом с атмосферой, должна практически совпадать с удельной активностью углерода атмосферы.

Нетрудно оценить эту активность. Для этого необходимо, во-первых, предположить, что за последние 10—15 тысяч лет (2—3τ) интенсивность потока нейтронов космических лучей существенно не изме-

нилась. Тогда число образующихся в единицу времени атомов  $C^{14}$  будет равняться числу распадающихся атомов. Если, далее, предположить, что поглощение нейтронов космических лучей происходит только за счет реакции  $N^{14}(\alpha, p)C^{14}$  (другие возможные реакции типа  $N^{14}(n, H^3)C^{12}$  и  $N^{14}(n, H^3)3He$  имеют место только для энергичных нейтронов и в сотни раз менее вероятны), то число образующихся, а следовательно, и распадающихся в единицу времени атомов  $C^{14}$  будет равняться полному потоку нейтронов, падающих на землю. Взяв экспериментально измеренное значение этой последней величины и поделив его на количество обменивающегося углерода атмосферы, биосферы и океанов, известное из биогеохимических исследований, можно получить удельную активность углерода, обусловленную радиоактивностью  $C^{14}$ . С учетом неопределенности потока нейтронов и количества обменивающегося углерода соответствующее значение получается порядка 1—10 распадов в минуту на 1 г углерода.

Опыты, поставленные для непосредственного определения удельной активности, дали значение 10,5 распада/мин. на один грамм углерода при наполнении счетчика метаном «свежего» биологического происхождения (метан вырабатывался из отходов канализационной системы большого города). Контрольные опыты показали, что обнаруженная активность обусловлена именно  $C^{14}$ . В метане же из старых источников (нефти, угля) заметных количеств  $C^{14}$  обнаружено не было. Таким образом, подтвердилось основное предположение о равномерном распределении в атмосфере и биосфере радиоактивного углерода, образованного нейтронами космических лучей.

Далее были поставлены опыты для определения возраста по содержанию  $C^{14}$ . Возраст  $T$  предмета с удельной активностью  $I_t$  вычисляется по формуле  $T = \tau \ln(I_t/I_0)$ , где  $I_0$  — удельная активность углерода атмосферы. Измерение активности производилось с помощью счетчика с катодом в виде сетки. Углерод распределялся на внутренней поверхности цилиндра, окружавшего счётчик. Площадь этого цилиндра равнялась  $400 \text{ см}^2$ ; рабочая длина счетчика была 20 см. Большой фон счетчика (около 400 имп./мин.) снижался до 7,5 имп./мин. путём экранировки слоем железа толщиной 10 см и внешней свинцовой оболочкой толщиной 5 см. Кроме того, измерительный счетчик окружался 11 антисовпадательными счетчиками.

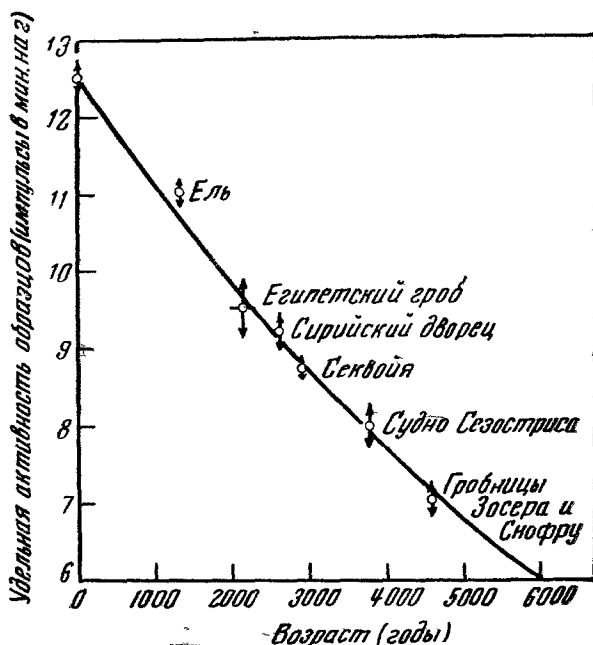
До сих пор опубликованы результаты определения возраста семи образцов. Все образцы были из дерева. Для измерения их активности сжигалось около 30 г исследуемого образца, и углекислый газ восстанавливался до элементарного углерода с помощью горячего металлического магния. Получившиеся 8 г углерода распределялись далее равномерным слоем на внутренней поверхности внешнего цилиндра.

Определялся возраст следующих образцов:

- 1) Кусок ели, средний возраст которой оценивался по кольцам ствола в  $1372 \pm 50$  лет ( $577 \pm 50$  г. н. э.).
- 2) Кусок дерева из закаменелого египетского гроба, возраст которого оценивался по историческим данным в  $2149 \pm 150$  лет ( $200 \pm 150$  лет до н. э.).
- 3) Кусок дерева с пола дворца в северо-западной Сирии, возраст которого согласно историческим данным считался равным  $2624 \pm 50$  лет ( $675 \pm 50$  лет до н. э.).
- 4) Внутренняя часть дерева секвойя, кольца которого соответствовали интервалу времени от 1031 до 928 лет до н. э., т. е. среднему возрасту  $2928 \pm 52$  лет.
- 5) Кусок доски от похоронного судна египетского царя Сезостриса. Возраст этого образца оценивался в  $3792 \pm 50$  лет ( $1843 \pm 50$  лет до н. э.).

6) Последние два образца имели приблизительно одинаковый возраст 4600 лет  $\pm$  75 лет (2650  $\pm$  75 лет до н. э.). Первый образец представлял собой кусок кипариса из гробницы Снофру в Мейдуме, второй — кусок акации с гробницы Зосера в Саккаре.

Результаты измерения удельной активности углерода этих образцов показаны на рисунке.



Удельная активность образцов различного возраста.

Указанные на рисунке ошибки — статистические. Сплошная кривая даёт зависимость возраста от измеренной активности и вычислена в предположении  $\tau = 5720 \pm 47$  лет и  $I_0 = 10,5$  импульсов в минуту на грамм углерода.

Согласие радиоактивного метода определения возраста с прочими методами, как видно из рисунка, вполне удовлетворительное.

Эти результаты доказывают пригодность описываемого метода для определения возраста биологических материалов по крайней мере для значений до 4600 лет. Следует думать, что этот метод будет применим для периодов времени вплоть до 20 000 лет (3—4  $\tau$ ). В настоящее время, однако, непосредственная проверка в этой области времени затруднена отсутствием образцов достаточно точно известного возраста.

В заключение следует заметить, что полученные результаты указывают, что интенсивность космического излучения (во всяком случае нейтронной его компоненты) существенно не изменилась за последние 15—20 тысяч лет, поскольку справедливость предположения о постоянстве интенсивности космических лучей является одним из основных условий применимости предлагаемого метода.

Л. Белл

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. W. F. Libby, Phys. Rev. **69**, 671 (1946).
  2. E. C. Anderson, W. F. Libby, S. Weinhouse, A. F. Reid, A. D. Kirshenbaum and A. V. Grosse, Science **105**, 576 (1947); Phys. Rev. **72**, 931 (1947).
  3. J. R. Arnold and W. F. Libby, Science **110**, 678 (1949).
-