

# Некоторые замечания по поводу оценки возраста органических остатков с помощью радиоуглеродного метода

А. Попов

Одной из проблем, стоящих перед сторонниками библейского сотворения, произошедшего относительно недавно (6-8 тыс. лет назад), являются оценки возраста органических остатков, произведенные с помощью радиоуглеродного метода датирования и заведомо превышающие возраст жизни на Земле, о котором говорит Библия. В настоящее время существуют оценки возраста некоторых образцов, составляющие 50-60 тыс. лет, что является практически предельным значением для этого метода и превышает библейский возраст жизни на Земле в 6-10 раз. Это расхождение оценок возраста требует своего объяснения сторонниками библейского креационизма. В данной работе приводится качественное описание одного из возможных объяснений этому расхождению. Материал статьи, с одной стороны, требует от читателя определенной математической подготовки (знание основ дифференциального счисления), но, с другой стороны, не претендует на полноту изложения методики радиоуглеродного датирования, ограничиваясь лишь «нулевым приближением», не учитывающим различных поправок, применяемых в этой методике. Но, несмотря на это, статья дает качественное представление о том, что может послужить причиной для существенного завышения «радиоуглеродного возраста» в классическом методе датирования.

## 1. Основное допущение метода – равновесное состояние по $^{14}\text{C}$

Одним из основных допущений метода радиометрического датирования с помощью радиоактивного углерода-14 (далее  $^{14}\text{C}$ ) является предположение, что равновесное состояние для отношения  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  давно установилось и его можно не принимать во внимание при расчетах, что все возможные значения возраста, полученные с помощью этого метода, заведомо лежат в рамках временного периода с уже установившимся равновесным состоянием. Разумеется, если считать, что биосфера Земли существует уже сотни миллионов лет, предположение о равновесии ( $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = \text{const.}$ ) на протяжении последних ~50000 лет выглядит вполне разумно. Но что произойдет с оценками возраста, если биосфера Земли, в её современном виде, образовалась только после библейского Всемирного потопа, примерно 5000 лет назад? В этом случае гипотеза о равновесном состоянии на протяжении всего «радиоуглеродного времени» (максимальный возраст, который может быть определен с помощью радиоуглеродного метода, ~60000 лет) уже неприменима и возраст органических остатков, измеренный «классическим» способом (в предположении о давно установившемся равновесии) может сильно отличаться от реального возраста этих остатков.

Рассмотрим вопрос о том, за какое время устанавливается равновесие  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  в биосфере Земли. Радиоактивный изотоп  $^{14}\text{C}$  образуется в результате взаимодействия вторичных нейтронов от космических лучей с ядрами атомов азота [1]. Предположим, что поток таких нейтронов в среднем равен  $j$ , а их сечение взаимодействия с ядрами атомов азота равно  $\sigma$ . Тогда в единице объема воздуха в единицу времени образуется в среднем  $j\sigma n_n$  атомов  $^{14}\text{C}$ , где  $n_n$  – концентрация атомов азота. В то же самое время, в результате радиоактивного распада распадается в среднем  $\lambda_c n_c$  атомов радиоактивного углерода, где  $\lambda_c$  – константа распада  $^{14}\text{C}$ , а  $n_c$  – концентрация атомов  $^{14}\text{C}$ .

(зависит от времени). Поскольку азот составляет более 70% от общего состава воздуха, его концентрацию можно считать постоянной ( $n_n = \text{const.}$ ), несмотря на его превращение в  $^{14}\text{C}$ . Кстати,  $^{14}\text{C}$  распадается обратно в азот ( $^{14}\text{N}$ ) в результате  $\beta$ -распада ( $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ ), так что предположение о постоянстве  $n_n$  еще более справедливо. Обозначив за  $\lambda \equiv j\sigma$ , мы можем записать для скорости изменения  $n_c$ :

$$\frac{dn_c}{dt} = \lambda n_n - \lambda_c n_c. \quad (1)$$

Решим это уравнение относительно  $n_c(t)$ . Введем обозначение  $x = \lambda_c n_c - \lambda n_n$ . Тогда справедливы соотношения  $\frac{dx}{dt} = \lambda_c \frac{dn_c}{dt}$ ,  $\frac{dn_c}{dt} = \frac{1}{\lambda_c} \frac{dx}{dt}$  и выражение (1) запишется в виде:

$$\frac{dx}{dt} = -\lambda_c x. \quad (2)$$

Решением уравнения (2) будет функция:

$$x(t) = x_0 \cdot e^{-\lambda_c t}, \quad x_0 = x(t=0). \quad (3)$$

Если первоначальная (на момент  $t = 0$ ) концентрация  $^{14}\text{C}$  была  $n_{0c}$ , то  $x_0 = \lambda_c n_{0c} - \lambda n_n$ , а  $x(t) = \lambda_c n_c(t) - \lambda n_n$ . Выражая отсюда  $n_c(t)$  с помощью функции (3) получим:

$$n_c(t) = \frac{\lambda n_n}{\lambda_c} + \left( n_{0c} - \frac{\lambda n_n}{\lambda_c} \right) \cdot e^{-\lambda_c t}. \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что при  $t \rightarrow \infty$  концентрация  $n_c(t)$  стремится к равновесному состоянию  $n_{ec} = \frac{\lambda n_n}{\lambda_c}$ . Для наглядности перепишем выражение (4), введя следующие обозначения:  $\tau_c = 1/\lambda_c$  –

среднее время жизни атома  $^{14}\text{C}$ , обуславливаемое его радиационным распадом ( $\tau_c = \frac{T_c^{1/2}}{\ln 2}$ , где  $T_c^{1/2}$  – период полураспада  $^{14}\text{C}$ , равный  $5715 \pm 30$  лет, соответственно  $\tau_c = 8245$  лет [2]);  $W = n_{ec}/n_{cc}$ ,  $n_{cc}$  – концентрация атомов  $^{12}\text{C}$ , т.е.  $W$  – отношение  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  в состоянии равновесия;  $n_{0c}/n_{cc} \equiv a \cdot W$ , т.е.  $a$  – процентное соотношение  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  на момент  $t = 0$  по отношению к  $W$ ;  $\Omega(t) = n_c(t)/n_{cc}$  – отношение  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  в текущий момент времени  $t$ . Тогда, поделив (4) на  $n_{cc}$  и используя введенные выше обозначения, мы можем окончательно записать:

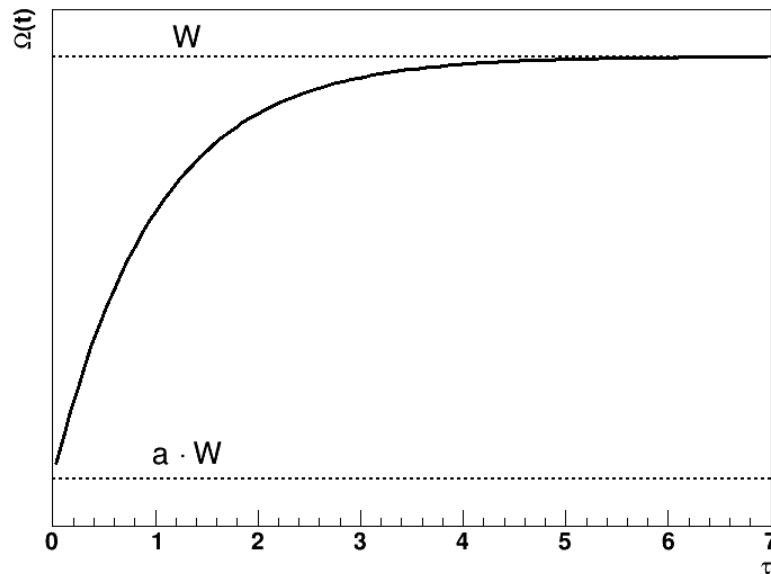
$$\Omega(t) = W + (a \cdot W - W) \cdot e^{-t/\tau_c} = W \cdot [1 - (1 - a) \cdot e^{-t/\tau_c}]. \quad (5)$$

Напомним, что это выражение описывает изменение со временем отношения концентраций  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  в биосфере Земли для случая, когда значение этого отношения в равновесии равно  $W$ , а в момент  $t = 0$  его отношение к равновесному было равно  $a$ , при среднем времени жизни атома  $^{14}\text{C}$ , равном  $\tau_c$ .

Процесс установления равновесия графически представлен на Рис. 1. На нем показано, как с течением времени растет отношение  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = \Omega(t)$ , начиная с начального значения (в момент  $t = 0$ ), равного  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = a \cdot W$ , и заканчивая равновесным состоянием  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = W$ .

Как хорошо видно из Рис. 1, равновесие практически полностью достигается за время  $3 - 5 \tau$  (более точно, оно достигается на 95% за время  $3 \tau$ , и на 99% за время  $4.6 \tau$ ). Если считать, что убыль радиоактивного  $^{14}\text{C}$  в биосфере Земли идет только за счет его радиационного распада, то время установления равновесия составляет, соответственно ( $\tau = 8245$  лет), 25000 – 40000 лет, что существенно больше времени, предположительно прошедшего с момента Всемирного потопы.

### Process of reaching equilibrium



**Рис. 1:** Иллюстрация процесса достижения равновесного состояния  $W$  (см. выражение (5)). По оси абсцисс отложено время в единицах  $\tau$  (среднего времени жизни); по оси ординат – величина  $\Omega(t)$ . Также горизонтальными пунктирными линиями обозначены величины  $W$  ( $\Omega$  в равновесном состоянии) и  $a \cdot W$  (начальное значение  $\Omega$ ).

На самом деле основная убыль радиоактивного  $^{14}\text{C}$  в биосфере Земли происходит не за счет его радиационного распада, а за счет поглощения его земными океанами. Как показывают последние исследования, среднее время жизни для атомов  $^{14}\text{C}$  в биосфере Земли составляет всего  $\tau = 375$  лет [3,4], а равновесие, соответственно, устанавливается за время 1100 – 2000 лет и за время, прошедшее после Всемирного потопы, равновесие уже должно было установиться.

## 2. Оценка возраста ископаемых остатков в двух предположениях: наличие или отсутствие радиационного равновесия в момент смерти живого существа

Но остается еще один вопрос: в «классическом» методе оценки возраста предполагается, что равновесие для  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  уже установилось к моменту смерти живого существа. Но, если мы принимаем библейскую модель, то нам надо принять во внимание тот факт, что для живых существ, умерших в течение 1100 – 2000 лет после Потопа (когда равновесие еще не установилось), предположение «классического» метода оценки не верно. Как это скажется на оценке возраста ископаемых остатков?

В этом случае нам надо учитывать два отрезка времени: время от момента  $t = 0$  до момента смерти живого организма, обозначим этот временной отрезок через  $T_d$ , и время от момента  $t = 0$  до момента измерения  $T_c$  (обычно этот момент привязывают к концу эпохи, в течение которой воздействие человека на содержание  $^{14}\text{C}$  в атмосфере было минимальным). Очевидно, что искомое нами время от момента смерти живого существа до момента измерения равно  $t = T_c - T_d$  и  $T_d = T_c - t$ . Также важно отметить, что теперь у нас появляются два средних времени жизни вместо одного:  $\tau_b$  отвечает за процесс установления равновесия между  $^{14}\text{C}$  и  $^{12}\text{C}$  в биосфере Земли (а этот процесс, как мы уже отмечали выше, происходит не за счет радиоактивного распада, а за

счет поглощения  $^{14}\text{C}$  в океанах), а  $\tau_c$  – за изменение отношения  $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}$  в датируемой окаменелости, происходящее за счет радиоактивного распада. Введем также величину  $t_R$  – возраст окаменелости, полученный «классическим» образом (не принимающим во внимание времени установления равновесия между  $^{14}\text{C}$  и  $^{12}\text{C}$  в биосфере). Тогда мы можем записать следующие выражения:

$$\Omega = W \cdot e^{-t_R/\tau_c} \quad (6)$$

(это в классической интерпретации, не принимающей во внимание времени установления равновесия между  $^{14}\text{C}$  и  $^{12}\text{C}$  в биосфере). Если же принять во внимание процесс установления равновесия, мы получим несколько другое выражение, следующее из выражения (5):

$$\Omega = W \cdot \left[ 1 - (1 - a)e^{-\frac{T_d}{\tau_b}} \right] \cdot e^{-t/\tau_c} \quad (7)$$

В этом выражении множитель в квадратных скобках описывает установление равновесия в биосфере на момент смерти живого существа. Важно также отметить, что в выражениях (6) и (7), в отличие от выражения (5), описывается процесс изменения  $\Omega$  в тканях живого организма после его смерти, а не в биосфере Земли. Приравнивая (6) и (7), мы можем выразить  $t_R$  через  $t$ :

$$t_R = t - \tau_c \cdot \ln \left[ 1 - (1 - a)e^{-\frac{T_d}{\tau_b}} \right], \text{ где } T_d = T_c - t. \quad (8)$$

Если предположить, что  $a = 0.01$  (1%),  $\tau_b = 375$  лет,  $\tau_c = 8245$  лет,  $T_c = 5350$  лет (дата Всемирного потопы, рассчитанная по Септуагинте) [5], то можно составить следующую таблицу соотношения между  $t_R$  и  $t$ :

**Таблица 1: Пересчет оценок возраста между «классическим» и «креационистским» подходами к вопросу установления равновесия  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  (детали в тексте)**

| $t_R$ (классический), лет | $t$ (креационистский), лет |
|---------------------------|----------------------------|
| 500                       | 500                        |
| 1000                      | 1000                       |
| 1500                      | 1500                       |
| 2001                      | 2000                       |
| 3016                      | 3000                       |
| 3559                      | 3500                       |
| 4226                      | 4000                       |
| 5393                      | 4500                       |
| 9066                      | 5000                       |
| 10953                     | 5100                       |
| 14183                     | 5200                       |
| 16957                     | 5250                       |
| 21898                     | 5300                       |
| 43320                     | 5350                       |

Из таблицы хорошо видно, что оба подхода дают почти одинаковые оценки возраста, если этот возраст не превышает ~3500-4000 лет, то есть в том случае, когда равновесное состояние на момент смерти живого существа уже установилось в обоих подходах. Но если это живое существо умерло в течение ~2000 лет после Всемирного потопы, еще в процессе достижения равновесного состояния,

«классический» метод дает завышенные оценки для его возраста, причем, чем больше  $t_R$ , тем больше соответствующее расхождение.

Хотелось бы сразу отметить, что в этой статье представлено очень упрощенное описание метода, не учитывающее многих его тонкостей и, соответственно, полученные числа надо воспринимать как весьма приблизительные. Но, с другой стороны, общая тенденция завышения «радиоуглеродного» возраста по причине того, что процесс установления равновесного состояния  $\Omega$  не принимается во внимание в «классическом» методе, остается верной и Таблица 1, при всей приблизительности приведенных в ней чисел, дает правильное представление о том, насколько большим может быть это завышение «радиоуглеродного возраста».

## Литература

1. Вагнер Г. А., «Научные методы датирования в геологии, археологии и истории», Москва, Техносфера, 2006.
2. D. R. Lide, and H. P. R. Frederikse, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 75<sup>th</sup> ed., 1994, p. 11-36.
3. V. Hesselmer, M. Helmann, and I. Levin, “Radiocarbon Evidence for a Smaller Ocean Carbon Dioxide Sink Than Previously Believed”, *Nature* 370, 1994, p. 201-203.
4. P. B. Duffy *et al.*, “The Global Budget of Bomb Radiocarbon”, *EOS Transactions of the American Geophysical Union* 76(46):F83, Abstract A21E-2, 1995.
5. H. G. Coffin, R. H. Brown, and R. J. Gibson, “Origin by Design” *Rev. Ed.*, Review and Herald Publishing Association, 2005, p. 360-361.