

Андрей Скляр

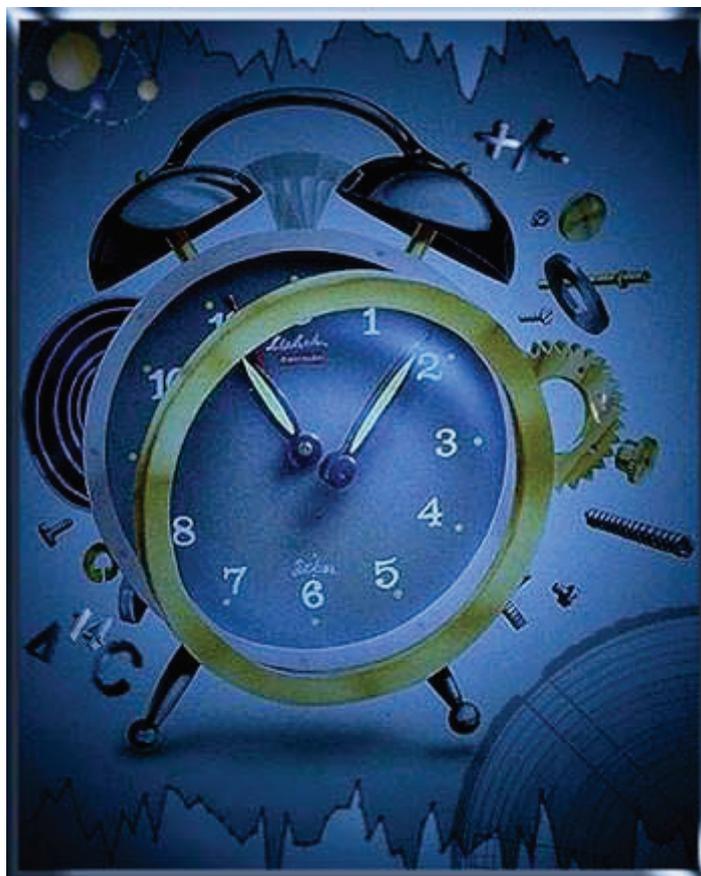
Чего изволите-с?..

Меню радиоуглеродного датирования и дендрохронологии.

Мощными экспериментальными средствами археологии и истории стали в последние полсотни лет радиоуглеродный метод датирования ископаемых находок и дендрохронология. Их широчайшее использование привело к тому, что мы мало задумываемся о достоверности данных, получаемых в результате использования этих методов, и о корректности выводов археологов и историков, построенных на основе таких данных.

Однако любое экспериментальное исследование обладает вполне определенной погрешностью, которую необходимо учитывать при объяснении получаемых результатов. И погрешность эта зачастую зависит не только и не столько от добросовестности исследователя и совершенства аппаратуры, сколько от специфики самого метода.

Как выясняется, метод радиоуглеродного датирования несет в себе неустранимые ошибки, значительно превышающие те, что представляются общественности измерительными лабораториями, историками и археологами. Но и дендрохронология, активно привлекаемая в помощь радиоуглеродным исследованиям, далеко не безгрешна.



"Поднимаю гирию - совершаю работу по преодолению гравитации;
 опускаю - ту же работу совершает гравитация.
 Энергия гири не изменилась... Почему же я при этом устаю?.." (Из "парадоксов" теории и практики)

* * *

Не столь обязательное, но все-таки полезное, почти лирическое введение

Мне с детства нравилось экспериментировать. Так и хотелось все "пощупать собственными руками"...

Может быть именно поэтому судьба занесла меня как-то в область экспериментальной физики. И еще в незапамятные т.н. "застойные годы" на лабораторных работах в институте пришлось столкнуться с тем, что в реальной науке имеют место два очень разных подхода к экспериментальным исследованиям.

Подход первый ("на заказ").

Одна преподавательница, дама средних лет, постоянно требовала от нас (студентов) предъявлять ей лишь такие результаты экспериментов, где погрешность не превышала бы нескольких процентов. Не приведи Господь (хоть я в него и не верю), представить ей результаты, разброс которых был бы процентов десять!.. А уж разброс процентов в двадцать и более трактовался ей просто как плохая подготовка к эксперименту и небрежное его проведение, - что, конечно же, беспощадно каралось оценкой.

Но какое оборудование может быть в учебном заведении?.. Явно: весьма далекое от совершенного (хотя нам на наш институт - Московский физтех - было грех жаловаться; во многих других дело обстояло значительно хуже). Естественно, что большинство лабораторных работ исполнялось что называется "на левой коленке".

И как быть в подобной ситуации бедному студенту, которого оценка, конечно же, интересует куда больше, нежели "переоткрытие" давно известных зависимостей и величин?.. Понятное дело, что "плохие" результаты отправлялись в корзину, а более-менее близкие просто "подтягивались" к тому, что следовало из теории, за счет некоторых "корректировок" протоколов испытаний. Все равно эти протоколы никто не проверял...

Полное господство девиза: "Нужен результат?.. Будет вам результат!"

Подход второй ("поиск истины").

На следующем курсе даму сменил молодой и энергичный преподаватель. Его предъявление результатов с разбросом в несколько процентов просто приводило в ярость, и выработанная привычка к "корректировке" дорого нам обошлась...

Логика его сводилась к следующему.

Погрешность в 2-3% обеспечивают лишь самые лучшие лаборатории мира. Погрешность в 5-10% - отличный результат, если его действительно удастся обеспечить. Результат эксперимента - состоявшийся факт, сколь бы далек от теоретически расчетного значения он не оказался. Поэтому на имевшемся оборудовании студенты могут получать разброс хоть в 200, хоть в 300 процентов. Это - не важно. Важно: уметь объяснить полученный результат, найти причины погрешности, предложить способы ее уменьшения и определить практический предел этого уменьшения, исходя из конкретных условий эксперимента.

Как видите, данные два подхода к эмпирическому исследованию отличаются в корне...

Учебное заведение, конечно, - лишь учебное заведение... Но, как выяснилось в дальнейшем, в нем нам ясно продемонстрировали все то, что происходит и в реальной "взрослой" жизни.

Казалось бы: один из ведущих институтов космической отрасли (уже не образовательный!); современнейшее оборудование; установки, "пожирающие" столько энергии, сколько производит ДнепроГЭС; высочайшая ответственность за объективность результата... Но и здесь, как обнаружилось, находят себе место оба подхода. Более того, они "гармонично" сочетаются.

Когда требуется отладить работу экспериментальной установки, разобраться в методике получения необходимых объективных данных, - используется второй из перечисленных подходов - подход "поиска истины". Самого себя ведь обманывать не будешь, - результат есть результат. Да и остается все "внутри", - "сор из избы" не выносится...

Иное дело, когда речь идет о выполнении "внешнего" заказа (да еще связанного с живыми деньгами)!.. Какой же заказчик будет оплачивать сумасшедший разброс данных, даже если этот разброс имеет место быть в реальности?.. Вот и процветал здесь первый подход - подход "на заказ". "Неудачные" эксперименты шли в корзину, а заказчик получал то, что хотел...

(Автору пришлось однажды столкнуться даже с таким фактом. Через лет двадцать уже рутинной работы по налаженной процедуре исследования вдруг выяснилось, что один из основных энергетических параметров вследствие погрешностей технологии измерения систематически завышался на 30%. "Методисты" это обнаружили в процессе перехода на более точное измерительное оборудование. Но выводы "методистов" были отправлены в самый дальний ящик стола, поскольку никто бы не решился признаться внешнему заказчику и кормильцу, что тот на протяжении стольких лет получал заведомо ошибочный результат... Благо: ошибка не вела к катастрофическим последствиям, а только создавала излишний "запас прочности", вылетающий, правда, государству "в копеечку".)

* * *

В первое время, когда знакомишься с "официальной" литературой по истории и археологии, доминирует определенное доверие к приводимой в книгах информации. Да и как же иначе?.. Серьезные люди, посвятившие свою жизнь любимому делу, профессионально восстанавливают прошлое человечества. И в "помощниках" у них современные методы исследования и оснащенные лаборатории. Чего же сомневаться в их выводах?!

Когда встречается фраза типа "находка датирована с помощью радиоуглеродного метода таким-то возрастом плюс-минус столько-то лет", редко возникает сомнение в достоверности данных по "таким-то" и "столько-то". Читатель, глубоко не вдающийся в тонкости метода, вряд ли усомнится в прочитанном.

Однако современное состояние истории и археологии характеризуется тем, что уже далеко не все так идеально вписывается в единую официально утвержденную картинку. Постепенно накапливаются артефакты, которые никак не хотят укладываться в ее прокрустово ложе. И вот тут-то, с некоторого момента некоторые "детали" начинают резать глаз.

Сначала, встречая цифры типа 2675 ± 50 год до н.э. или 4530 ± 170 год до н.э., испытываешь восхищение перед современными научными методами исследования (погрешность составляет всего чуть более 1% в первом случае и 2,5% во втором!). Но когда на подобную датировку накладываются факты, никак не вписывающиеся в стройную "академическую" картину, постепенно накапливается подозрение в том, что

столь точный результат, по меньшей мере "приукрашен", а датировка носит черты исполнения "на заказ", а не "поиска истины". И тут возникает желание разобраться в достоверности подобной точности.

* * *

Попутное замечание.

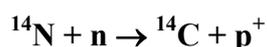
Я абсолютно не являюсь сторонником г-на Фоменко, сводящего официально принятый вариант истории к некоему "всемирному заговору фальсификаторов". Как не являюсь и сторонником креационистов, пытающихся втиснуть историю Земли и человечества в узкие рамки Библии. Скорее наоборот... И хотя некоторые данные этих направлений я использую далее, среди моих целей нет задачи сжать или растянуть временную шкалу, а есть лишь желание применить второй из упомянутых подходов к эмпирическому исследованию (подход, условно названный "поиском истины"), - т.е. просто понять реальное положение дел.

* * *

Теория метода радиоуглеродного датирования

Одним из основных химических элементов круговорота веществ в биосфере Земли является углерод, который встречается в виде трех изотопов: ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C . В атмосфере углерод присутствует в основном в виде углекислого газа. Есть и другие соединения, но их уровень незначителен по сравнению с CO_2 . Львиная доля углерода приходится на изотоп ^{12}C . На изотоп ^{13}C приходится примерно 0,1%, а доля ^{14}C - $1,18 \cdot 10^{-12}$.

Интересующий нас далее изотоп ^{14}C образуется в верхних слоях атмосферы из азота воздуха под воздействием космических лучей по реакции:



Из атмосферного воздуха изотоп ^{14}C в процессе обмена веществ попадает в биосферу Земли. При этом основным каналом поступления ^{14}C в живые организмы является фотосинтез растений, а далее - по пищевой цепочке - он попадает в организм животных. Через биосферу и непосредственно из атмосферы (хотя и менее интенсивно) ^{14}C попадает в почву и воду океанов.

Если изотопы ^{12}C и ^{13}C являются устойчивыми, то ^{14}C радиоактивен и с течением времени распадается по реакции:



Данная реакция (как и другие реакции радиоактивного распада) характеризуется зависимостью:

$$A/A_0 = \exp(-t/T)$$

где A_0 - концентрация ^{14}C в некотором образце в начальный момент времени; A - концентрация ^{14}C в момент времени t ; T - период полураспада, равный для радиоуглерода величине 5730 ± 40 лет.

Именно это свойство нестабильности и "склонности" к распаду и используется в радиоуглеродных методах исследования, которые можно разделить на задачи двух видов (это деление нам понадобится в дальнейшем).

Первый вид - **прямая задача**.

Если известно время t , т.е. если известен возраст образца, то по текущему содержанию ^{14}C (и вышеприведенной зависимости) можно определить содержание радиоуглерода в образце в начальный момент времени, т.е. во время t назад.

Взаимосвязь содержания радиоуглерода в биосфере и атмосфере Земли позволяет далее определять содержание ^{14}C в атмосфере планеты в прошлом, а через него и изменения различных факторов, влияющих на процесс образования ^{14}C (магнитного поля Земли, солнечной активности, мощности потока космических лучей и т.д. и т.п.).

Но, несмотря на всю увлекательность данного направления исследований, мы на них здесь не будем останавливаться, поскольку нас будет интересовать другой вид задачи.

Второй вид - **обратная задача**.

Если известно начальное содержание ^{14}C в образце, то, измерив его содержание в текущий момент времени, по той же вышеприведенной зависимости можно определить возраст образца. И здесь открываются привлекательные перспективы для археологов и историков.

В силу важности соответствующих задач Либби, первым применивший радиоуглеродный метод к датированию образцов еще 60 лет назад, был даже удостоен Нобелевской премии...

Но, как говорится: гладко было на бумаге, да забыли про овраги...

Теория - это одно, а практика - совершенно другое. И вслед за первыми успехами метода радиоуглеродного датирования последовали и его неудачи. Начали обнаруживаться серьезные расхождения между известным возрастом (определенным другими методами) образцов и радиоуглеродным возрастом этих же образцов; радиоуглеродные измерения давали противоречивые результаты и т.д. и т.п. Все это заставило исследователей всерьез потрудиться над усовершенствованием самой методики радиоуглеродного датирования.

Дело в том, что для возможности определения возраста образца, необходимо выполнить целый ряд требований.

Во-первых, должна быть сведена к минимуму ошибка в определении текущей концентрации ^{14}C в исследуемом образце.

Во-вторых, необходимо знать начальную концентрацию ^{14}C в образце.

И в-третьих, нужно быть уверенным, что за период, прошедший с начального момента времени, с образцом не происходило процессов, которые могли бы привести к изменению содержания ^{14}C в образце, помимо процесса радиоактивного распада. Либо быть уверенным, что существующие методы учета влияния таких процессов в достаточной степени корректны.

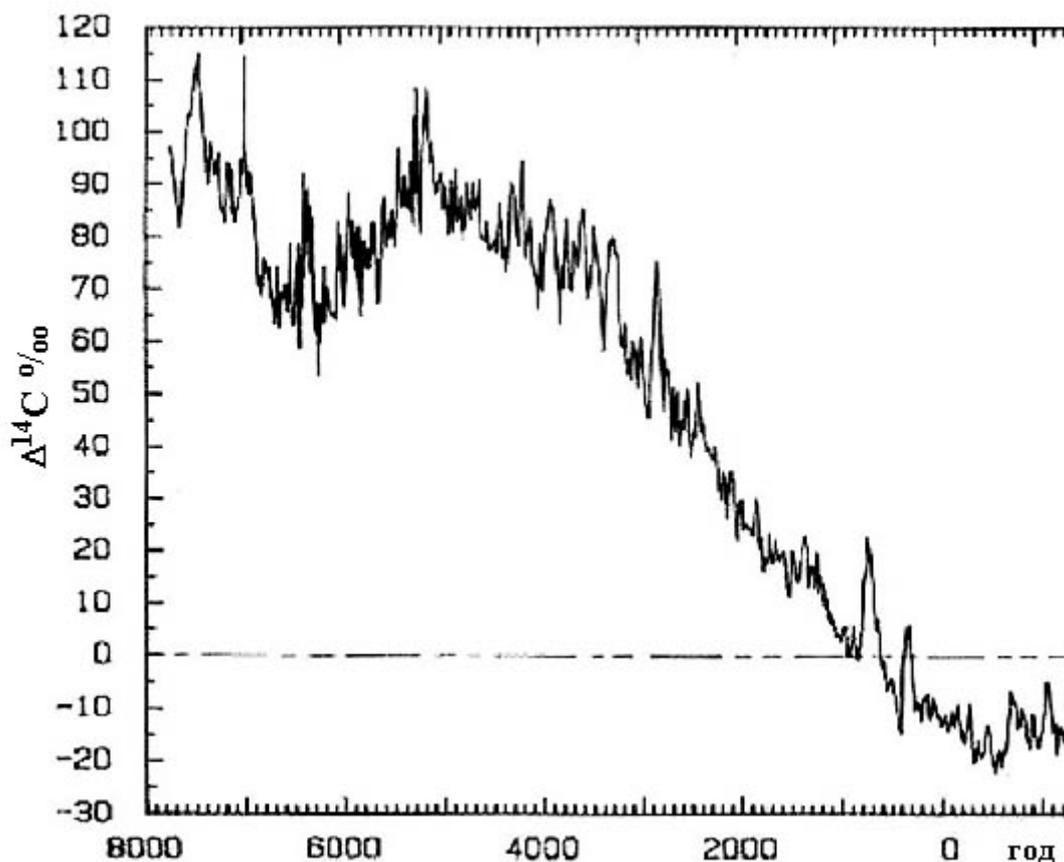
Проще всего оказалось решить первую задачу. В настоящее время масс-спектрометрические методы позволяют определять содержание ^{14}C в очень малых образцах (достаточно лишь 10 микрограмм углерода) с высокой степенью точности. Помимо этого успешно применяются методы очистки образцов и углеродного обогащения. Для минимизации ошибок в этих методах используются измерения на контрольных образцах, которые позволяют корректно учесть возможные изменения концентрации ^{14}C в образцах в процессе соответствующих лабораторных процедур.

Несколько сложнее дело обстоит с третьей задачей (чуть нарушим порядок), т.е. с задачей учета предыстории образца. Дело в том, что метод радиоуглеродного датирования базируется на предположении, согласно которому смерть живого организма (растения, животного, человека) означает его выход из активного процесса обмена веществ, в процессе которого непрерывно пополняется его "запас" ^{14}C . Но ведь на самом деле процесс обмена веществ со смертью организма не прекращается: бранные останки в той или иной степени подвержены влиянию со стороны внешней среды. - а следовательно, возможно и нарушение соотношения между содержанием разных изотопов углерода в этих бранных останках.

Здесь был найден "обходной вариант": задействован метод выделения специфичного для образца соединения (белки, аминокислоты, целлюлоза, хитин и т.п.), минимально подверженного внешним воздействиям в процессе разложения бранных останков...

Необходимость же знания начальной концентрации ^{14}C послужила мощным стимулом к решению прямой задачи радиоуглеродного метода (собственно, это самое определение начального ^{14}C и является прямой задачей метода). И здесь роль "палочки-выручалочки" выпала на дендрохронологию, - метод, основанный на исследовании колец деревьев (его мы рассмотрим в другой части статьи).

Было обнаружено, что изотопное соотношение $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ в растениях довольно точно соответствует этому отношению в атмосфере. В частности, внешнее кольцо деревьев как бы "фотографирует" содержание радиоуглерода в атмосфере в год образования этого кольца. А поскольку уже были выстроены довольно длинные дендрошкалы, радиоуглеродное исследование колец деревьев позволило восстановить картину изменений содержания ^{14}C в атмосфере Земли в прошлом (см. *Рис.1*).



- Рис. 1 -

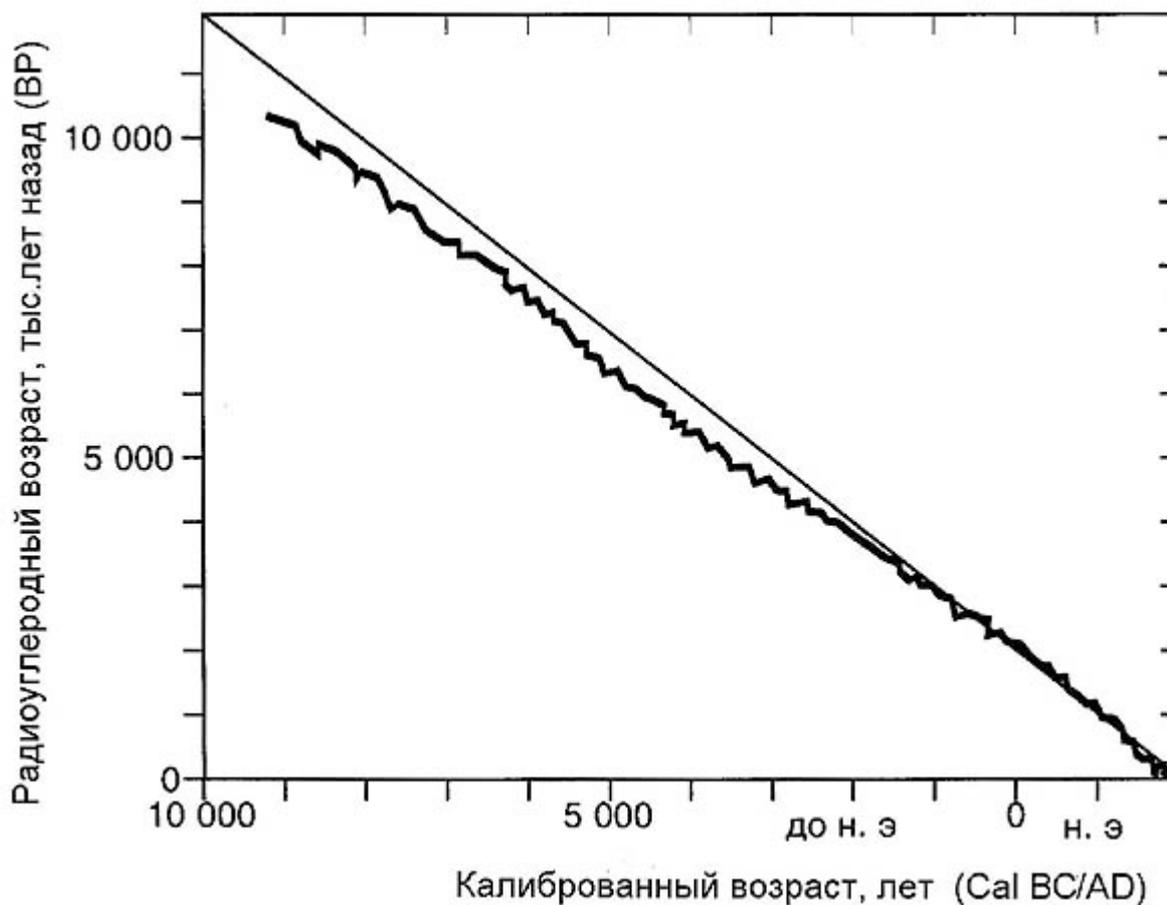
Примечание:

Честно говоря, в справедливости данного утверждения у меня остались серьезные сомнения... Дело в том, что трудно представить реальное живое дерево, ствол которого представляет собой набор абсолютно изолированных друг от друга цилиндрических годовых слоев. Более того, ведь и внутренние слои продолжают жить, участвуя в процессе обмена веществ в дереве. В частности, по внутренним слоям ежегодно прокачиваются "соки" (жидкая фаза) растения. По всем логическим соображениям, это должно было бы влиять на содержание радиоуглерода даже в твердой составляющей древесины: снизу, из почвы, поступает раствор, обедненный ^{14}C ; а от листьев - обогащенный свежим ^{14}C , поглощенным из атмосферы уже не в год образования кольца, а позже. И строго говоря, для корректного определения концентрации радиоуглерода именно в год формирования кольца необходимо знать баланс этих потоков.

К сожалению, в многочисленных доступных источниках (а мне пришлось в поисках различных данных "прочесать" более тысячи сайтов на различных языках) данный вопрос, если и затрагивается, то обсуждается лишь "на пальцах" без подкрепления какими-либо эмпирическими данными. А ведь общий вид приведенной на **Рис.1.** кривой, с возрастанием концентрации радиоуглерода при удалении вглубь времени, вполне может иметь и иное объяснение, нежели изменение содержания ^{14}C в самой атмосфере: если в результате баланса упомянутых потоков внутренние слои все-таки получают свежий радиоуглерод, то он, естественно, будет повышать общую концентрацию ^{14}C в них, "омолаживая" их и создавая иллюзию более высокого содержания радиоуглерода в прошлом. Заметим, что, исходя из общего вида приведенной кривой, процесс притока свежего радиоуглерода может быть очень и очень малым - всего порядка 1-2 процентов от имеющегося в слое за целую тысячу лет!.. Ясно, что эмпирически "выловить" такой поток чрезвычайно сложно...

Но, увы, я также вынужден лишь "рассуждать на пальцах"... Поэтому в данном случае остается только принять точку зрения об абсолютной изолированности внутренних слоев от атмосферного радиоуглерода в качестве рабочей гипотезы и двинуться далее...

На основании данных об изменении во времени содержания ^{14}C в атмосфере для практических целей сформированы т.н. калибровочные (поправочные) кривые, позволяющие переводить возраст образцов, определенный радиоуглеродным методом (радиоуглеродный возраст), в действительный возраст (см. **Рис. 2**).



- Рис. 2 -

(Попутно заметим, что за время применения радиоуглеродного метода было уточнено и значение периода полураспада ^{14}C . Поскольку уже традиционно в лабораториях применяют значение 5568 лет, использованное Либби, то во избежание путаницы соответствующая поправка просто внесена в калибровочную кривую.)

Таким образом, в нынешней практике исследователь: тщательно очищает образец; выделяет из него специфическую (наиболее устойчивую по ^{14}C) фракцию; измеряет содержание в ней ^{14}C (в сравнении с ^{12}C); корректирует данное значение ^{14}C на поправочный коэффициент, учитывающий (по контрольным образцам) возможные искажения, возникающие в ходе лабораторных процедур; вычисляет радиоуглеродный возраст образца; и, наконец, с помощью калибровочной кривой переводит радиоуглеродный возраст в "истинный".

(Я опускаю здесь еще одну процедуру - поправку на изотопное фракционирование, анализ которой будет проведен в дальнейшем.)

На этом мы и закончим краткое описание предыстории и современного состояния метода радиоуглеродного датирования, составленное по многочисленной литературе, имеющейся сейчас в печатном и электронном виде. Специалистам вряд ли оно было интересно, поскольку итак им известно, и было необходимо лишь тем, кто имеет весьма смутное представление о методе.

Но теперь мы можем перейти к тому, что предпочитают не афишировать сторонники радиоуглеродного датирования, а именно: к "подводным камням" метода.

* * *

Погрешность радиоуглеродного датирования

Возражая скептикам, сторонники метода радиоуглеродного датирования детально описывают всевозможные процедуры очистки образцов и способы измерений концентрации ^{14}C в этих образцах, а также результаты длительных исследований по изменению концентрации ^{14}C в атмосфере Земли, лежащих в основе калибровочной кривой. В качестве дополнительного аргумента часто упоминается широкое международное сотрудничество лабораторий в последние десятилетия, мировая стандартизация процедур радиоуглеродных исследований и периодическая согласованная корректировка калибровочных кривых.

При всем этом однако "почему-то" скромно обходится молчанием вопрос, а какова же все-таки общая погрешность метода радиоуглеродного датирования?..

Международная стандартизация и межлабораторное сотрудничество может помочь избежать преднамеренных фальсификаций и непредумышленных ошибок. Но они абсолютно бессильны против погрешностей метода, сидящих в самой его основе.

Точность измерения текущего содержания ^{14}C в исследуемом образце, конечно же, чрезвычайно важна. Но ведь погрешностью этих измерений (как и погрешностью в определении периода полураспада) общая погрешность методики не исчерпывается.

Достоверность кривой содержания ^{14}C в атмосфере планеты также важна. Но ведь это - прямая задача, а нас интересует здесь прежде всего решение обратной (!) задачи - задачи датировки образцов-артефактов.

Вот мы и займемся (в качестве незаинтересованной стороны) оценкой погрешности метода радиоуглеродного датирования...

Будем полагать, что измеряющая лаборатория предприняла все возможные усилия для качественной очистки образца; выделения наиболее надежной фракции; учета влияния в период предистории образца внешних факторов и учета искажений в ходе лабораторно-измерительных процедур.

В соответствующей общедоступной литературе, к сожалению, отсутствуют какие-либо количественные оценки погрешностей, возможных в ходе вышеуказанных процедур. Имеют место лишь рассуждения о сложности такой оценки и о непрерывном совершенствовании лабораторных технологий. Поэтому мы здесь не будем "кровожадничать" и, памятуя о "презумпции невиновности", будем считать соответствующие погрешности равными нулю, давая таким образом сторонникам метода определенную фору.

Для начала используем некоторые данные, встречающиеся в литературе по радиоуглеродному датированию.

1. Погрешность, обусловленная неточным знанием периода полураспада и погрешностью его измерения, невелика. Погрешность в периоде полураспада около 0,5% и погрешность измерения того же порядка. Суммарная погрешность будет около 0,7% (В.Левченко, "Радиоуглерод и абсолютная хронология: записки на тему").

2. Погрешность в определении содержания ^{14}C .

"Точности измерения содержания радиоуглерода в образцах весьма высоки. Для ускорительной масс-спектрометрии обычным являются измерения на уровне 0.5-1% В особых случаях возможно и лучше. Для радиометрических методов обычным уровнем являются 0.3-0.7%, а некоторые серии измерений были проведены и с 0.1% точностью" (там же).

Сотрудники, например, лаборатории Beta Analytic Inc в своих рекламных проспектах более скромны и называют в качестве типичной погрешность в пределах 0,5-3%. В этот диапазон в целом укладываются и результаты, представляемые другими лабораториями. Но мы и здесь не будем "кровожадничать" и примем величину данной погрешности равной 0,5%.

3. Со следующей погрешностью, обусловленной естественными флуктуациями начального содержания радиоуглерода, придется повозиться...

Постников (сторонник взглядов Фоменко, если я не ошибаюсь) приводит следующие данные:

"Третья гипотеза Либби состоит в том, что содержание радиоуглерода в организме одно и то же для всех организмов по всей Земле (т.е. не зависит, скажем, от широты и породы растения). С целью проверить эту гипотезу Андерсен (Чикагский университет), проведя тщательные измерения, получил, что на самом деле содержание радиоуглерода, как и следовало ожидать, колеблется от $14,53 \pm 0,60$ до $16,31 \pm 0,43$ распадов на грамм в минуту. Это дает отклонение содержания радиоуглерода от среднего значения на $\pm 8,5\%$ ".

Более подробные результаты этих измерений представлены в таблице ниже (из первоисточника я опустил лишь последнюю строку про тюлений жир, дабы остались только деревья).

- Таблица 1 -

Образцы	Геомагнитная широта	Число распадов в минуту на 1 грамм
Белая ель (Юкон)	60° с.ш.	$14,84 \pm 0,30$
Норвежская ель (Швеция)	55° с.ш.	$15,37 \pm 0,54$
Ель обыкновенная (Чикаго)	53° с.ш.	$14,72 \pm 0,54$
Ясень (Швейцария)	49° с.ш.	$15,16 \pm 0,30$
Листья жимолости (США)	47° с.ш.	$14,60 \pm 0,30$
Сосновые ветки (США, 3,6 км. над уровнем моря)	44° с.ш.	$15,82 \pm 0,47$
Вереск (Северная Африка)	40° с.ш.	$14,47 \pm 0,44$
Дуб (Палестина)	34° с.ш.	$15,19 \pm 0,40$
Неизвестное дерево (Иран)	28° с.ш.	$15,57 \pm 0,31$
Ясень манчжурский (Япония)	26° с.ш.	$14,84 \pm 0,30$
Неизвестное дерево (Панама)	20° с.ш.	$15,94 \pm 0,51$
Древесина «хлорофора эксуельса» (Либерия)	11° с.ш.	$15,08 \pm 0,34$
Стеркулия (Боливия, 2,7 км. над уровнем моря)	1° с.ш.	$15,47 \pm 0,50$
Эбеновое дерево (Маршалские о-ва)	0°	$14,53 \pm 0,60$
Неизвестное дерево (Цейлон)	2° ю.ш.	$15,37 \pm 0,49$
Эвкалипт (Австралия)	45° ю.ш.	$16,31 \pm 0,43$

Необходимо сразу же отметить, что отклонение данных таблицы от среднего значения составляет вовсе не 8,5%, а всего лишь 5,85%. То ли это ошибка самого Постникова, то ли ошибка верстки текста, при которой была потеряна первая цифра, а запятая передвинулась на разряд...

Полемизируя с Постниковым, Левченко (в статье "О "радиоуглероде глазами Фоменко" и "научных" основах Новой Хронологии: полемические заметки") пишет:

"В описании радиоуглеродного метода <http://hbar.phys.msu.ru/gorm/dating/wally-1.htm> обсуждены причины, приводящие к отклонениям в содержании радиоуглерода в организмах. Это и изотопное фракционирование в растениях, причем различное, зависящее от внешних условий и вида, это и резервуарный эффект для морской биоты, это и Зюсс-эффект, сдвинувший равновесное атмосферное значение. Сейчас мы знаем, как учесть различные эффекты, скорректировать получаемые значения. Но в 50-х годах, времени младенчества радиоуглеродного метода, все это еще просто не было известно. Неудивительно, что был получен разброс. Да и то, правда не очень большой. Особенно если принять во внимание несовершенство тогдашних методов подготовки образца, химической обработки, да и ошибок самого измерения - 4% только оттуда получаются".

Еще раз подчеркну, что я очень далек от того, чтобы быть сторонником взглядов Фоменко, но в данном случае вынужден вступить за г-на Постникова.

Во-первых. Г-н Левченко оценивает погрешность измерений 50-х годов в 4% (эта цифра фигурирует и в других его работах). Споры нет: 4% - точность куда хуже, чем 0,3-0,5%. Однако г-н Левченко почему-то "не заметил", что в данных, приводимых г-ном Постниковым (как в тексте, так и в таблице), присутствует такой знак как "±" !?. И любой знающий арифметику может убедиться, что значение после знака "±" составляет как раз около тех самых 4% от величины, стоящей перед этим знаком. Так что погрешность в 4% никто и не скрывал!.. Но ведь наличие этой погрешности измерений (честно отраженной в таблице и в тексте) вовсе не объясняет разброса самих данных.

Во-вторых. Какое отношение к данному случаю может иметь "резервуарный эффект для морской биоты"?!. Речь ведь идет о разбросе данных для "сухопутных" деревьев (хотя я опустил строку про тюлений жир, но она была всего одна, а все остальные данные относятся именно к деревьям). А они демонстрируют разброс данных одного порядка величины вне зависимости от удаленности от океана. Оно и понятно, - ведь атмосфера Земли обладает весьма высокой степенью перемешиваемости, довольно быстро уравнивая условия по ^{14}C в разных регионах. (Этот факт Левченко использует в качестве аргумента в других местах своих работ, но почему-то "забывает" про него в данном конкретном случае. Нечего сказать: "хороши" методы полемики!..)

В-третьих. "Зюсс-эффект, сдвинувший равновесное атмосферное значение" также здесь абсолютно не причем. (Для тех, кто не в курсе: Зюсс-эффект заключается в изменении содержания ^{14}C в атмосфере Земли в последние пару столетий вследствие воздействия человеческого фактора - сокращения площади лесов и массового сжигания ископаемого топлива.)

Был бы понятен аргумент Левченко, если бы сравнивались образцы до и после проявления Зюсс-эффекта. А в данном случае речь идет о сравнении данных по деревьям, растущим в одно и то же время!.. Так что и этот "контрдовод" Левченко мы с полным основанием имеем право отбросить.

И в-четвертых... Остался последний аргумент: изотопное фракционирование. Здесь нам придется сделать небольшое отступление, дабы объяснить непосвященному читателю "что это за штука, и с чем ее едят"...

Как уже упоминалось, углерод встречается в природе в виде трех основных своих изотопов: ^{12}C , ^{13}C и ^{14}C . В ходе эмпирических исследований было обнаружено, что при переходе углерода из одного места в другое (например, из воздуха в растение при фотосинтезе) пропорции между содержанием различных изотопов могут изменяться. В результате: отношение, скажем, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в атмосфере одно; в растениях - другое; в раковинах моллюсков - третье и т.д. (даже несмотря на то, что оба изотопа стабильны). Этот эффект и назвали изотопным фракционированием.

В настоящее время в качестве причины изотопного фракционирования называют влияние массы изотопа на скорость протекания (био)химических реакций. И исследования как особенностей, так и самой природы эффекта активно ведутся сразу по массе направлений...

Поскольку изотопное фракционирование нарушает не только соотношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, но и $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, постольку возникает необходимость его учета. Делается это следующим образом.

Измеряют в образце соотношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и определяют его отклонение от международного стандарта (т.н. PDB-стандарт). Для того, чтобы было возможно прямое сравнение радиоуглеродных измерений для различных образцов, их все приводят к стандартному изотопному сдвигу в -25 permill (1 permill = $1\text{‰} = 0,001 = 0,1\%$), т.е. пересчитывают по формуле:

$$P_{\text{расч}} (^{14}\text{C}) = P_{\text{изм}} (^{14}\text{C}) - 2 \cdot [P_{\text{изм}} (^{13}\text{C}) + 25] \cdot [1 + 10^{-3} \cdot P_{\text{изм}} (^{14}\text{C})] \text{‰}$$

где $P_{\text{изм}} (^{14}\text{C})$ - измеренный сдвиг по ^{14}C , $P_{\text{изм}} (^{13}\text{C})$ - измеренный сдвиг по ^{13}C , $P_{\text{расч}} (^{14}\text{C})$ - расчетное значение радиоуглеродного сдвига, используемое далее для определения возраста образца. Расчет ведется в тех самых permill (‰)!..

Величина стандарта в -25 ‰ была выбрана по той простой причине, что величины в ее окрестности весьма характерны для большинства деревьев, а древесина и связанные с ней вещи представляют большинство радиоуглеродных образцов (Левченко).

К сожалению, мне не удалось найти в доступной литературе какого-либо обоснования данной формулы. Судя по всему, она имеет эмпирический характер. А поскольку любая формула в таких случаях является лишь неким приближением к реальным эмпирическим данным, то возникает возможность соответствующей ошибки, - в данном случае непосредственно выливающейся в дополнительную погрешность датировки. Кроме того, в эту же погрешность вносит (согласно данной формуле) свой вклад и погрешность лабораторного определения концентрации ^{13}C . Это - теоретически...

Практически же оценка этой погрешности по существующим в природе величинам изотопного сдвига ^{13}C дает пренебрежимо малые значения. (Здесь мне хотелось бы поблагодарить за помощь в поиске необходимой для проведенной оценки информации участников форума <http://hbar.phys.msu.ru/gorm/wwwboard/index.htm>, который был рекомендован г-ном Левченко для обсуждения его работ. Помощь, которую они мне оказали, даже не подозревая ничего о том, в каких целях я ее использую далее.)

Однако данная формула позволяет нам получить один немаловажный вывод, для которого воспользуемся следующей цитатой Левченко:

"При переходе углекислого газа через барьер в устьицах растений и в фотосинтетической реакции происходит изотопное фракционирование. Причем величина этого фракционирования зависит от растения, условий роста, температуры, влажности и т.д. Растения предпочитают легкие изотопы... Величина фракционирования измеряется в сдвиге изотопного отношения $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ изотопов по сравнению со эталоном - мировым стандартом. Так в атмосфере эта величина примерно -7.4 промилле (а до Зюсс эффекта была в районе -6.5 промилле). В растениях же, глюкозе и целлюлозе эта величина разная от -12 до -30 промилле. Причем растения делятся на две группы: C_4 и C_3 по величине фотосинтетического фракционирования. В первой эта величина лежит в районе $-12 \div -19$ промилле, а во второй $-21 \div -29$ промилле. Типичная величина для деревьев около -25 промилле" ("Радиоуглерод и абсолютная хронология: записки на тему").

И теперь мы можем использовать приводимые г-ном Левченко данные против его же аргументов.

Дело в том, что для результатов Андерсена (вышеприведенная таблица) последняя скобка в уравнении учета изотопного фракционирования - $[1 + 10^{-3} \cdot P_{\text{изм}} (^{14}\text{C})]$ - пренебрежимо мало отличается от единицы. Что, впрочем, не удивительно, - ведь речь идет о современных деревьях, в которых сдвиг по ^{14}C мал...

Тогда учет изотопного фракционирования в данных Андерсена даст:

$$P_{\text{расч}} (^{14}\text{C}) - P_{\text{изм}} (^{14}\text{C}) = -2 \cdot [P_{\text{изм}} (^{13}\text{C}) + 25] \text{‰}$$

А поскольку $P_{\text{изм}} (^{13}\text{C})$ для растений лежит в диапазоне от -12‰ до -30‰ , легко посчитать, что максимально возможная поправка на изотопное фракционирование даст... всего 26‰ или 2,6%.

Заметим, что здесь я опять-таки даю г-ну Левченко очень серьезную фору, поскольку "типичная величина для деревьев около -25 промилле", а данные Андерсена относятся именно к деревьям!.. Но не будем "мелочиться", - пусть будет 2,6%. И даже в этом случае из данных Андерсена следует, что "естественные биологические флуктуации содержания радиоуглерода, остающиеся после поправки на изотопное фракционирование" (как их именуют в соответствующей литературе), составляют никак не меньше $5,85 - 2,6 = 3,25$ процента!!!

И это - лишь для самого "идеального" варианта: когда поправка по ^{13}C максимальна; т.е. в реальных экспериментах погрешность заведомо больше!..

Примечание:

После публикации первого варианта данной статьи (в котором обнаружилось ошибки, вследствие чего он был снят) мне как-то бросили упрек в том, что я использую достаточно устаревшие данные Андерсена. Дескать, можно было бы найти и что-то поновее...

Честное слово: я очень старался... Но и тогда, и сейчас так и не смог найти хоть одну работу, где бы пытались опровергнуть или проверить данные Андерсена. Увы... Исследователи старательно обходят стороной данную задачу, хотя, казалось бы, что может быть проще исследования современных образцов. Свою точку зрения на причины столь странной позиции исследователей я выскажу позже, а здесь лишь приведу один пример, который мне все-таки удалось найти в сети.

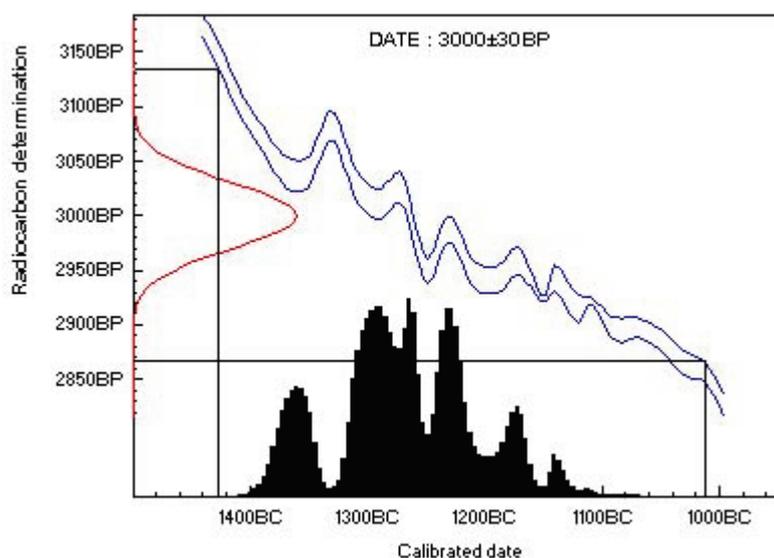
В одном из исследований (Hogowitz и др., 1978) проводилась датировка фрагментов скорлупы страусиных яиц. Вместе с ископаемыми фрагментами были проведены измерения и для двух современных образцов, которые (уже после проведенной корректировки по ^{13}C на изотопное фракционирование!) показали возраст... 200 лет! Конечно, исследователи дали вполне разумное объяснение данному факту, предположив потребление страусами воды, обедненной радиоуглеродом. Но нам важно здесь не объяснение результата (которое в данном случае носит характер прямой задачи), а сам факт его погрешности. Ведь это - не что иное, как погрешность в определении начального содержания радиоуглерода при обратной задаче!.. И как видно, данная погрешность оказалась в этом случае очень и очень близка к упомянутому выше значению в 3,25% погрешности, неустраняемой поправкой по ^{13}C ...

4. Погрешность калибровочной кривой.

Вот еще одна выдержка из работ Левченко:

"...форма кривой также вносит существенную погрешность в конечный результат. А вот тут четкого ответа быть не может... Для каких-то образцов это может быть и 20-30 лет, а для каких-то и до 300 лет. Добавим также и "неидеальность" кривой, т.е. возможные отклонения. Максимальные обнаруженные отклонения достигали 70 лет... А в среднем значительно меньше".

К чести современных лабораторий проводящих радиоуглеродные измерения, они не ограничиваются расплывчато-приглаженными формулировками в стиле Левченко, а проводят процедуру калибровки достаточно дотошно. Пример на *Рис. 3* ниже:



- Рис. 3 - Процедура калибровки

Несколько пояснений к *Рис. 3*:

1. Вертикальная ось: радиоуглеродный возраст образца (т.е. возраст, рассчитанный по измерениям концентрации ^{14}C и скорректированный по ^{13}C) от настоящего времени - BP (before present). Горизонтальная ось: калиброванная дата.

2. Калибровочная "кривая" помимо временных флуктуаций атмосферного радиоуглерода отражает и погрешности в ее определении, превращаясь в итоге в извивающуюся полосу, ограниченную на *Рис. 3* двумя кривыми.

3. Поскольку концентрация радиоуглерода в образце измеряется посредством подсчета количества распадающихся атомов ^{14}C в единицу времени, а распад - процесс вероятностный, постольку измеренное значение радиоуглеродного возраста приводится в виде гауссовой кривой у вертикальной оси.

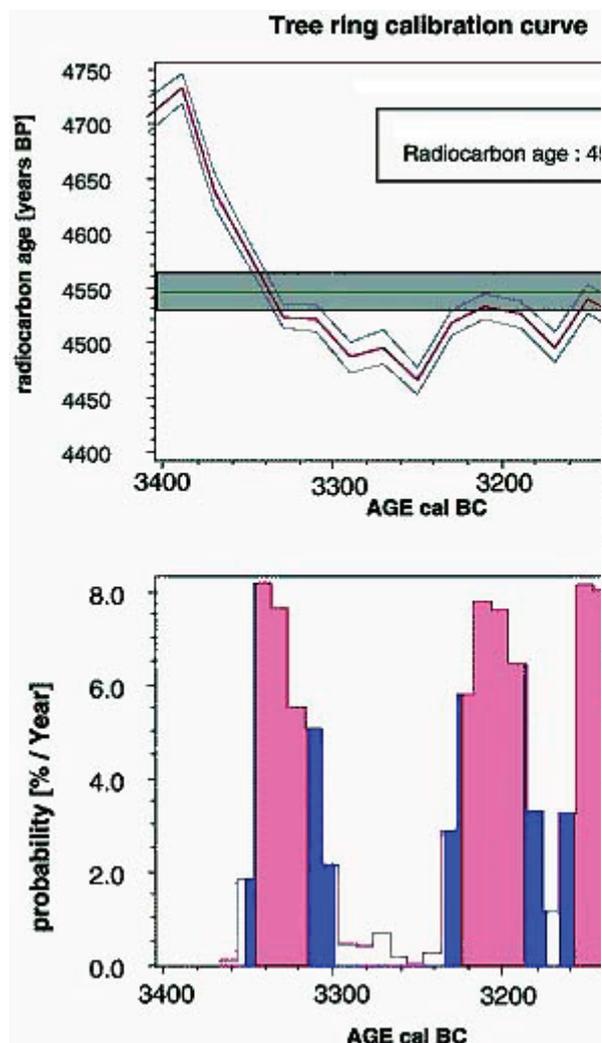
4. Большинство лабораторий указывают датировку с т.н. одним стандартным отклонением (± 1 sigma), означая, что истинный радиоуглеродный (!) возраст образца попадает в заявленный диапазон с вероятностью 67%. Гораздо меньше лабораторий указывают 2-sigma отклонение, подразумевающее уже 95%-ую вероятность попадания истинного радиоуглеродного (!) возраста в заявленный диапазон.

5. Для определения датировки образца на базе радиоуглеродной гауссовой кривой и калибровочной кривой рассчитывается гистограмма, отражающая вероятность той или иной датировки образца. В данном случае авторы рисунка утверждают, что с вероятностью в 95% образец датируется диапазоном 1390-1130 гг. до н.э.

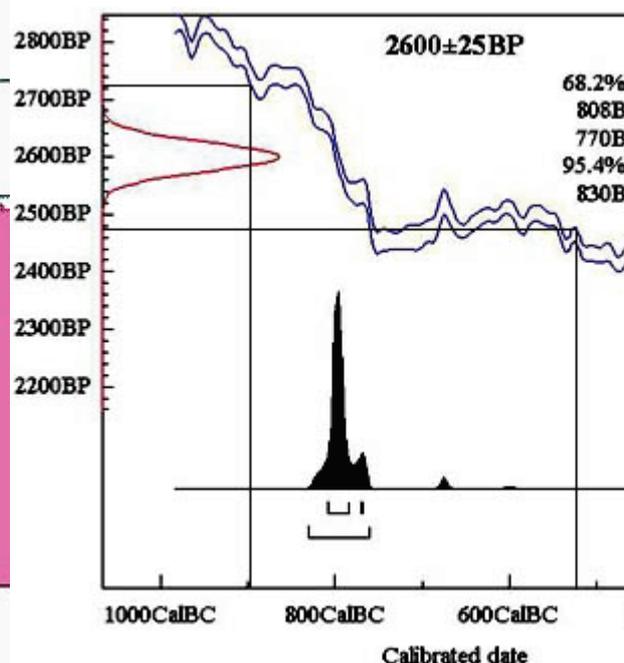
6. Прямые линии добавлены мной - см. далее.

Итак, в данном конкретном случае речь идет о диапазоне в 260 лет, что дает ошибку почти в $\pm 4\%$.

Результаты еще трех исследований (они нам далее понадобятся) приведены ниже на *Рис. 4*, *Рис. 5* и в *Табл. 2*.



- Рис. 4 - Датировочная диаграмма.



- Рис. 5 – Датировочная диаграмма.

- Таблица 2 -

Code	Wk	dC13	% Modern	Result BP	Calibrated
BLK 258	4507	-26,9 ± 0,2	68,2 ± 0,4	3080 ± 50	1435 -1209 BC
BLK 293	4508	-27,0 ± 0,2	68,8 ± 0,4	3010 ± 60	1394 -1068 BC
BLK 287	4509	-25,7 ± 0,2	68,9 ± 0,6	3010 ± 60	1410 -1068 BC
BLK 207	4510	-24,0 ± 2,0	68,9 ± 0,6	3000 ± 80	1449 -1019 BC
BLK 160	4511	-25,9 ± 0,2	67,8 ± 0,4	3120 ± 50	1461 -1255 BC

В привычной "±"-записи на **Рис. 4** имеем заявленную погрешность около 2,3%; на **Рис. 5** погрешность 1,2%; а для **Табл. 2** - уже на уровне 5-6%

Но вот какой нюанс: во всех приведенных примерах (равно как и в других случаях) нигде нет и ни слова о том, как повлияет на результат ранее упомянутая погрешность, обусловленная естественными флуктуациями начального содержания радиоуглерода! Нигде она вообще не упоминается! Как будто ее и нет...

Но она же есть!!!

Посмотрим, к чему приведет учет этой погрешности на примере четырех указанных измерений. И поскольку иных данных нет, воспользуемся опять-таки данными Андерсена. Кроме того учтем, что поскольку погрешность измерения текущей концентрации (обозначим ее δ_i) и погрешность из-за естественных флуктуаций начального содержания радиоуглерода (обозначим ее δ_o) являются независимыми друг от друга, то квадрат суммарной погрешности (обозначим ее δ_{BP}) будет равен сумме квадратов этих погрешностей.

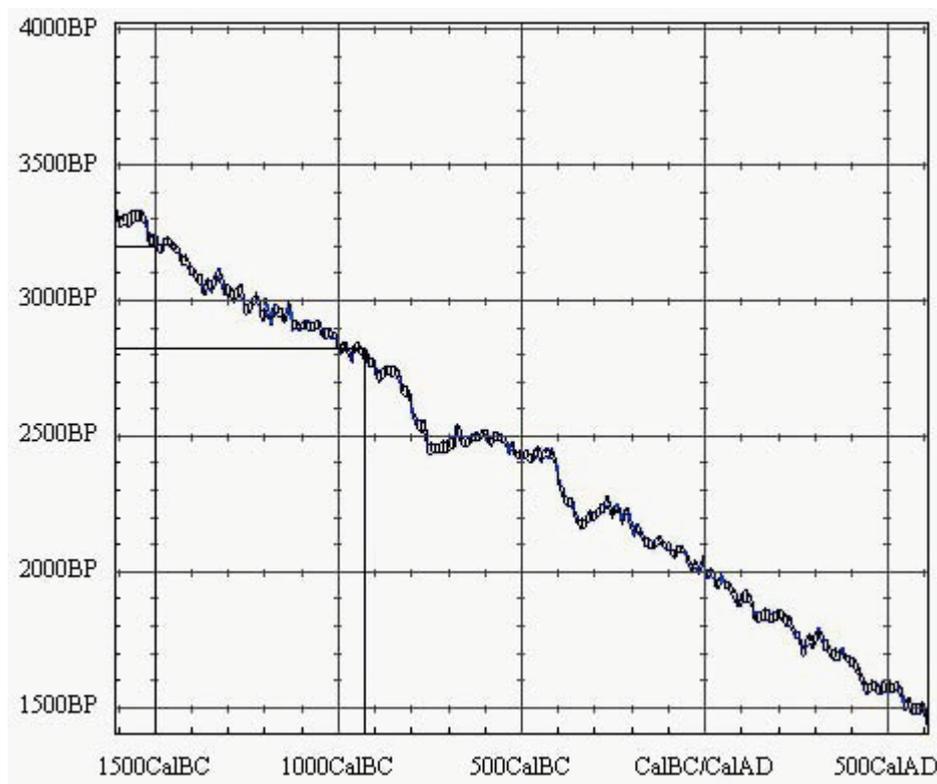
Для **Рис. 3** значение ^{13}C не известно, поэтому дадим максимальную фору и будем считать $\delta_o = 3,25\%$. Для 2-sigma датировки имеем для данного рисунка заявленную погрешность δ_i около 3%. Суммарная погрешность $\delta_{BP} = (\delta_o^2 + \delta_i^2)^{1/2}$ будет равна 4,42%, т.е. для радиоуглеродной даты мы должны брать диапазон 3000 ± 133 BP. Тогда калиброванная дата для образца будет уже находиться в диапазоне 1005-1405 BC (т.е. до н.э.), что дает погрешность уже 6,2%, а не 4% как было заявлено.

Для **Рис. 4** значение ^{13}C также не известно. Опять считаем $\delta_o = 3,25\%$. И хотя δ_i указано подозрительно малым, нам хватит и этого: только за счет δ_o мы уже выскакиваем за пределы приведенного на рисунке отрезка калибровочной кривой (BP: 4400-4700). И по самым скромным прикидкам (по самой приглаженной кривой в статье Левченко - **Рис. 2**) получаем итоговую погрешность более 5%.

Для **Рис. 5** имеем: $\delta_o = 3,25\%$, $\delta_i = 3,45\%$, что дает $\delta_{BP} = 4,74\%$ и диапазон 2600 ± 123 BP. Для калиброванной даты получаем погрешность 6,9% вместо заявленных 1,2%.

Но все это было при максимальной форы, поскольку в этих случаях нам не известна реальная поправка по ^{13}C . А вот для **Табл. 2** эти данные есть! И как можно видеть, значения по ^{13}C весьма далеки от максимальной форы (которая достигалась бы при $dC13 = -13\text{‰}$). И хотя не ясно, использовалась 1-sigma или 2-sigma оценка, величина δ_i итак составляет порядка 2%. А вот δ_o уже составляет не 3,25%, а целых 5,9%; что дает суммарную $\delta_{BP} = 6,2\%$ (так что разброс по BP составляет уже не 50-60 лет, а все 190).

Из более-менее приличного калибровочного графика для данного диапазона (см. **Рис.6**) получаем для 3010 BP откалиброванную датировку 1215 ± 285 BC и погрешность, равную 8,86%!.. Пожалуй, вот это уже имеет вид, приближенный к истине, поскольку максимальная фора - все-таки многовато...



- Рис. 6 - Калибровочный графи

Заметим, что учет реальных (а не максимально возможных) поправок по ^{13}C пришелся на вариант с одним из самых "спокойных" участков калибровочной кривой, - т.е. туда, где она не имеет никаких "полок", существенно увеличивающих диапазон откалиброванной даты. Но все равно мы получили уже почти 9%-ую ошибку!.. И даже здесь мы не далеко ушли от идеализированного варианта, поскольку частично вернули фору лишь по одной погрешности...

Еще несколько общих соображений перед выводами.

Во-первых, естественные вариации содержания радиоуглерода в 3,25% соответствуют ошибке порядка 200 лет. Очевидно, что попытка применять метод радиоуглеродного датирования к образцам, имеющим меньший возраст, является абсолютно некорректной с точки зрения методологии экспериментального исследования. А для того, чтобы ошибка не составляла все-таки львиную долю результата, границу корректного использования метода нужно отнести еще раза в 2-3 дальше.

(Это, кстати, камень в огород фоменковцам и креационистам, любящим упоминать об ошибках, обнаруживающихся при попытках радиоуглеродного датирования современных образцов.)

Однако этим влияние данного фактора не ограничивается, т.к. ошибка никуда далее не денется и войдет в общую погрешность метода.

Во-вторых, если погрешности в определении периода полураспада и текущего содержания радиоуглерода в образце могут быть уменьшены за счет совершенствования измерений, то с другими дело обстоит значительно хуже.

Погрешность, возникающая вследствие естественных биологических флуктуаций содержания радиоуглерода, является весьма условно устранимой. Для ее уменьшения необходимо исследовать зависимость содержания радиоуглерода от породы дерева, вида животного и т.д. и т.п. Ясно, скажем, что для излюбленного археологами датирования по древесной золе уменьшить данную ошибку практически невозможно.

Но сами естественные биологические флуктуации никуда не исчезнут. Даже внутри одного сорта, породы, вида и т.п. Поэтому уменьшение данной погрешности имеет свой предел. И на мой взгляд, это предел так и останется не менее трех с лишним процентов, а все усилия по уменьшению данной погрешности ограничатся лишь выборкой форы (данной в ходе анализа поправки на изотопное фракционирование и составляющей уже 2,6%). Тем более, что нет никаких гарантий, что данные Андерсена исчерпывают весь диапазон данной погрешности.

Погрешность же вследствие природных колебаний атмосферного радиоуглерода (калибровочная кривая) неустранима в принципе.

В свете же величины двух последних естественных погрешностей уточнение периода полураспада представляет, скорее, академический интерес; а совершенствование методов измерения содержания радиоуглерода в образце уже не имеет для задачи радиоуглеродного датирования никакого практического значения (кроме, разве, уменьшения величины минимально необходимого количества радиоуглерода в образце).

В-третьих, если к ошибке в определении текущего содержания ^{14}C в образце еще можно применять термин "вероятность" (в частности, использовать упомянутые 1-sigma и 2-sigma приближения; хотя на мой взгляд, 1-sigma - "от лукавого", и опираться нужно все-таки на 2-sigma приближение в 95%), то ошибка, связанная с естественными флуктуациями начального содержания ^{14}C никоим образом не носит вероятностного или статистического характера. Реальная дата может оказаться в любом (!) месте всего возможного диапазона, и оценить "вероятность" ее попадания в какое-то конкретное место данного диапазона просто невозможно.

В-четвертых, проведенные оценки относятся к весьма идеализированному варианту, при котором из всех возможных диапазонов ошибок принимались значения на нижних границах этих диапазонов. Более того, принималось, что все процедуры подготовки образцов и измерений выполнены безукоризненно. Ошибки же реальных экспериментов будут заведомо существенно выше.

И в-пятых, существенная величина реальной погрешности радиоуглеродного метода сужает диапазон его применимости и с его "дальнего концов", где разброс возможных значений настолько велик, что вести речь о какой-либо "датировке" вообще бессмысленно. И если уже в районе дат 10-15 тысяч лет назад можно говорить лишь о самой приблизительной оценке даты образца, то для еще больших сроков метод просто нельзя считать корректным.

* * *

Общие выводы по методу радиоуглеродного датирования.

1. Метод радиоуглеродного датирования вполне работоспособен. Однако погрешность и область применимости данного метода совершенно иные, нежели это сейчас нам представляет литература сторонников данного метода. И даты, получаемые радиоуглеродным методом, в свете имеющейся погрешности следует воспринимать, скорее, в качестве ориентировочных, нежели в качестве действительных значений возраста артефактов. В свете этого использование терминов типа "абсолютная хронология", "точная датировка" и т.п., часто встречающееся в литературе по археологии и истории (в частности, и в цитируемых здесь работах), является просто нелепым...

2. Доверять приводимой в литературе по истории и археологии точности дат нельзя. Неизбежная на современном этапе погрешность датировки составляет 10-15% от возраста артефакта (т.е. в расчете времени от настоящего момента), а реальная и того выше. Перспективы уменьшения величины данной погрешности весьма невелики.

3. Корректные результаты радиоуглеродного датирования должны иметь вид не конкретной даты, а анализ возможных вариантов типа: "при таких-то условиях возможен такой диапазон дат; при таких-то - такой и т.д..."

4. "Ненавязчивое желание" лабораторий радиоуглеродных исследований заранее получить от историков и археологов "ориентировочный возраст образца" порождено тщательно скрываемой погрешностью самого метода и носит характер "от лукавого". Если кто-то сомневается в такой "наглости" лабораторий, загляните на сайт практически любой лаборатории и легко обнаружите в списке данных, вносимых в формуляр заявки на радиоуглеродное исследование, пункт "Возраст по предварительной оценке". Это называется: "Хотите получить какую-то датировку своей находки?.. Вы ее получите с нашей помощью!.. Такое блюдо в меню нашей лаборатории имеется!.. Только платите деньги"...

5. Если историков и археологов интересует все-таки не просто сомнительное "подтверждение" собственных теорий и гипотез, а установление истины, то им необходимо хотя бы ознакомиться с азами естественных наук и тщательно исследовать основы тех методов, к помощи которых они прибегают.

6. В соответствии с этим археологам и историкам следовало бы "спуститься с небес на землю", перестать требовать от лабораторий радиоуглеродного датирования невозможной точности и довольствоваться реальной погрешностью метода (и, конечно же, быть готовыми платить деньги за реальный неточный результат, а не за подгонку к "нужной" дате).

7. Лабораториям радиоуглеродного датирования пора бы изменить стратегию своего поведения и перейти от явно фальсифицирующей истину "исполнения заказа" к установлению той самой истины. Понимаю, что это далеко не так просто. Но, в конце концов, вы, работники данных лабораторий, в ответе за тех, кого "приручили" (или у кого пошли на поводу), - археологов и историков. А они, в свою очередь, в ответе за тех "обывателей", на которых обрушивают свои теории и выводы.

* * *

Ранее мы уже упомянули другой метод датирования, используемый археологами и историками, - метод дендрохронологии, который бурно развивался в XX веке. Значительная часть артефактов (в том числе тех, к которым применялся и радиоуглеродный метод) относится к имеющим древесную природу. Более того, важную роль в уточнении калибровочных кривых для радиоуглеродного метода сыграла именно дендрохронология. Оба метода ныне настолько пересеклись, что без анализа дендрохронологии нам здесь не обойтись.

* * *

Дендрохронология

Общие принципы, лежащие в основе данного метода, довольно просты.

"...годовой прирост деревьев зависит от большого количества внутренних и внешних факторов - от биологических особенностей древесных пород, их происхождения, возраста и условий местопроизрастания, климатических факторов, солнечной радиации, полноты насаждения, плодоношения, санитарного состояния дерева, его наследственных свойств, стихийных явлений и ряда других причин. Прирост по диаметру особенно легко реагирует на такие колебания факторов внешней среды, как температура, влажность, интенсивность освещения.

Вопрос о влиянии всех этих факторов на величину годичного прироста является до настоящего времени еще довольно сложным и в некоторых аспектах дискуссионным. Но основное положение дендрохронологии, что ширина прироста годичного кольца - хорошо выраженного и легко доступного анатомического признака - является наиболее чутким показателем, реагирующим на изменение условий произрастания дерева как в современном лесу, так и в прошлые эпохи, получило единодушное признание всех исследователей" (Б.Колчин, Н.Черных, "Дендрохронология Восточной Европы").

"Единодушное признание", конечно, не может быть критерием выявления реальной истины, к поиску которой голосование не имеет никакого отношения. Однако с логикой упомянутого основного положения дендрохронологии спорить сложно. Да и серьезных оснований для этого пока нет...

"Дендрохронологический анализ годичного прироста у конкретного образца дерева позволяет определить с точностью до одного года время, когда данное дерево было срублено. По дендрохронологическим графикам определяется год, когда образовалось последнее внешнее кольцо, после чего в промежуток времени до следующего вегетационного периода дерево в лесу было срублено. Лес на постройки иных сооружений шел свежесрубленным, с выдержкой не более одного - двух лет.

Первые опыты по применению дендрохронологии в археологическом датировании были проведены Дугласом в 20-х годах XX в. ...Только одной Аризонской лабораторией к настоящему времени продатировано более 10000 археологических образцов древесины с нескольких сот археологических памятников. На основании дендрохронологического датирования установлена абсолютная хронология поселений и городов индейцев в юго-западных районах США" (там же).

Но целлюлоза колец содержит в себе ^{14}C , чем и воспользовались составители калибровочных кривых для радиоуглеродного метода.

"...восстановить какая была концентрация радиоуглерода в атмосфере в прошлые годы можно. Для этого достаточно промерить радиоуглеродное содержание в точно датированных образцах колец деревьев, и мы получаем точную запись радиоуглеродного поведения в атмосфере... Большой удачей для исследователей, занявшихся созданием калибровочной кривой, было существование уже к тому времени аккуратных и длинных дендрошквал, и соответственно - доступность материала" (В.Левченко, "Радиоуглерод и абсолютная хронология: записки на тему").

Сама же дендрохронология базируется на следующем принципе:

"Чередование узких и широких годичных колец во времени неповторимо, поэтому совместить графики колебаний годичного прироста у сравниваемых деревьев можно лишь в пределах строго определенного участка дендрохронологической шкалы. Перекрестное наложение дендрохронологических шкал отдельных деревьев - это сравнение сходных рисунков на графиках годичного прироста деревьев и определение точного места, где соответствие между ними найдено. Принцип перекрестного наложения дает возможность производить относительную и абсолютную датировку времени образования древесных колец у сравниваемых деревьев. Относительная датировка позволяет определять у сравниваемых деревьев кольца, которые образовались в один и тот же год, а следовательно, и вычислить, на сколько лет раньше или позже было срублено данное дерево по сравнению с другим. При абсолютной датировке определяется календарная дата образования того или иного кольца, а затем и всех колец образца, а вместе с тем и календарная дата рубки данного дерева. Величина минимального промежутка перекрестного наложения зависит от чувствительности и синхронности данных образцов. Практика перекрестного датирования показала, что для надежной датировки необходимо наложение одной кривой на другую на отрезке, не менее чем в 50 колец, чем больше, тем, естественно, лучше" (Б.Колчин, Н.Черных, "Дендрохронология Восточной Европы").

[Здесь и далее в цитатах выделение подчеркнутым шрифтом мое - А.С.]

Естественно, что прежде чем сравнивать с какой-то шкалой, нужно эту шкалу иметь. И также естественно, что дендрохронология сосредоточилась в первую очередь на составлении дендрошквал. Тем более, что работы здесь - непочатый край; ведь колебания климата, находящие непосредственное отражение в рисунке колец деревьев, сильно зависят от географического региона местопроизрастания. То есть дендрохронология (как и углеродный метод) сконцентрировалась прежде всего на решении прямой задачи. И достигла здесь больших успехов. На сегодняшний день абсолютные дендрохронологические шкалы для многих регионов мира восстановлены более чем на десять тысяч лет.

Однако нас интересует не столько решение прямой задачи (составление дендрошквал, определение колебаний климата и других внешних условий по толщине колец известного возраста и т.п.), сколько решение обратной задачи: определение возраста какого-то древесного образца по известным дендрошкалам.

Метод вроде бы прост.

На первом этапе составляется дендрошкала образца, для чего измеряется ширина колец этого образца и строится график относительного изменения ширины колец. Собственно, данный график и является дендрошкалой образца. При этом современные методы исследований, например, использование рентгена, позволяют измерять кольца, имеющие ширину всего 30 микрон!.. Далее остается только сравнить полученный график с абсолютной дендрошкалой данного региона и найти место на дендрошкале, где полученный график наилучшим образом сходится с графиком дендрошкалы. И все: дата определена с точностью до года.

Опять-таки: легко в теории, гораздо сложнее на практике...

"...визуальное сравнение графиков является основным методом синхронизации кривых и перекрестного датирования. Для опытного дендрохронолога подобное графическое сравнение является решающим.

Диаграммы вычерчиваются на кальке или прозрачных пленках для удобства последующего сопоставления кривых на просвет. Для каждого образца вычерчивается один индивидуальный график.

Наиболее распространенным методом сравнения и синхронизации кривых в дендрохронологии является наложение двух кривых одна на другую. Чаще всего это делается сравнением на просвет одной кривой с другой. Такой путь имеет преимущество перед иными количественными методами своей возможностью учитывать весь ход и рисунок кривой, со всеми характерными для данного графика последовательностями спадов и подъемов прироста.

Трудности синхронизации начинаются с того, что последовательность годовичных колец на разных срезах и даже разных радиусах одного среза ствола очень часто не совпадает друг с другом. Поэтому при синхронизации мы имеем дело не с поиском тождества, а установлением степени сходства, которая может лишь приближаться к 100%.

Кривые колебания годовичных колец могут считаться совмещенными, а следовательно, и одновременными, когда число соответствий достигает максимума, а различий - минимума. При этом имеет место общее правило: если два образца, каждый в отдельности, схожи с третьим, то они схожи и друг с другом" (Б.Колчин, Н.Черных, "Дендрохронология Восточной Европы").

"Существует большое количество разнообразных математических методов для количественной оценки степени сходства двух кривых или шкал. Применение корреляционных методов не всегда дает твердые и правильные результаты. Работы М. И. Розанова показали, что высокие корреляционные связи получаются только между изменчивостью радиального прироста отдельных частей ствола одного дерева (коэффициент 0,88-0,97). Изменчивость же радиального прироста отдельных сучьев с радиальным приростом ствольной древесины, а также радиальный прирост стволов разных деревьев одного местопроизрастания характеризуется низкими коэффициентами корреляций, находящимися в пределах 0,6-0,7. Для синхронизации дендрохронологических данных по календарным годам как в численном выражении, так и в виде кривых, у нас успешно использовалась идея, выдвинутая Б. Губером (Huber, 1943) - применить процент сходства изменчивости (Битвинскас, 1974). Так как ширина годовичных колец деревьев не является постоянной, и размеры этих колец под влиянием внешних факторов формируются неодинаково, то можно учесть тенденцию их изменчивости в отношении одного к другому. Plusом (+) мы отмечаем, что следующее годовичное кольцо шире, и минусом (-) - что следующее годовичное кольцо уже. Если другое дерево находилось под влиянием того же комплекса внешних факторов, то тенденция изменчивости годовичных колец у этих деревьев в определенный период должна быть сходной.

Процент сходства изменчивости кривых можно рассчитать по формуле:

$$Cx = 100 [(n-1)-k] / (n-1)$$

где n - число годовичных слоев; $n-1$ - число интервалов между годовичными слоями; k - число случаев несходства (противоположных интервалов) ; Cx - сходство между кривыми, выраженное в процентах.

Идеальная синхронность двух рядов чисел или двух кривых, вычисленных по данной формуле будет, когда $Sx = 100\%$. Асинхронность кривых выражается цифрой меньше 50%. При большом числе членов в исследуемых рядах цифр, выражающих изменчивость ширины годичных слоев в случайном сопоставлении этих рядов (не по календарным годам), процент сходства так же может приближаться к 50%" (там же).

"Приведенная выше формула вычисления процента сходства кривых, конечно, не является единственной и даже лучшей из других возможных математических методов синхронизации. Но мы ей уделили особое внимание, так как она может дать хорошую основу для машинной обработки данных дендрохронологии. В этой формуле имеются только три символа: увеличение - как раньше (одинаково) - уменьшение, по которым очень легко составить соответствующий алгоритм с количественными характеристиками" (там же).

"Выражение изменчивости годичного прироста в виде кривой по года является наиболее распространенным методом в мировой практике дендрохронологии. Но американскими дендрохронологами в 30-х годах был предложен еще метод выражения изменчивости ширины годичных колец - это построение минимум-диаграмм или так называемых "скелетных" графиков (Clock, 1937). Эта диаграмма строится на каждый образец и в ней отмечаются узкие годичные кольца в виде вертикальных линий, масштаб которых соответствует величине угнетения: чем уж кольцо, тем длиннее линия.

Позже В.Е.Вихров и Б.А.Колчин предложили строить подобную диаграмму, назвав ее спектром угнетений, для серий синхронных образцов (50, 100, 500, 1000 образцов и т. п.) на основании графиков, беря за масштаб выражения две величины - повторяемость данного угнетения в серии и его относительное значение (Вихров, Колчин, 1962)" (там же).

Прошу прощения у читателя за столь длинное цитирование, но уж очень не хочется тратить время на пересказ своими словами того, что уже кем-то довольно неплохо описано...

Замечу мимоходом, что хотя авторы данных цитат и "не жалуют" корреляционные методы сопоставления кривых, упоминаемые ими методы сравнения по максимальным значениям прироста и по "скелетным" графикам являются, в конечном счете, ничем иным как частными случаями тех самых корреляционных методов (только сопоставление идет в этих методах не по всему массиву точек, а лишь по какой-то их частичной выборке).

Существует еще целый ряд иных методов сопоставления кривых в дендрохронологии, которые по своей сути являются опять же корреляционными методами обсчета степени соответствия тем или иным образом модифицированных кривых (метод средних скользящих, метод полулогарифмических диаграмм и т.д. и т.п.). Мы не будем здесь детально на них останавливаться; а описание чуть ранее некоторых методов более подробно обусловлено вовсе не каким-либо субъективным предпочтением автора, а лишь тем, что данные методы используются далее в настоящей статье.

* * *

Маленький эксперимент по проверке дендрохронологии

Как уже говорилось, логика дендрохронологии проста и понятна. Ну кто будет спорить с тем, что колебания климата отражаются непосредственно на ширине колец деревьев?.. И разве не может любой убедиться в наличии годовичных колец у дерева, образующих различные красивые узоры на спилах?..

Вроде бы и нет причин для сомнений в надежности метода дендрохронологии. Популярность и авторитет метода настолько велики, что лишь единицы отваживаются возражать что-то против результатов дендрохронологии; и возражения эти носят в большинстве своем скорее характер абстрактно-схоластических рассуждений и гипотетических предположений, нежели серьезного анализа. Да и что, собственно, анализировать?.. Математические методы обчета кривых?.. Они математически строги и многократно апробированы во многих областях научного исследования...

Казалось бы, позиция дендрохронологов "неубиенна"...

Однако иногда все-таки возникает чувство внутреннего дискомфорта, когда встречаются некоторые рассуждения на основе данных дендрохронологии. Такие, например, как в книге Г.Ершовой "Древняя Америка: полет во времени и пространстве" (Г.Ершова - ученица и последовательница Кнорозова, сумевшего подобрать ключ к иероглифам майя):

"Поселение Астек возникло в XII веке ровно на полпути между обжитыми индейцами анасази каньонами Чако и Меса-Верде, на границе нынешних штатов Нью-Мексико и Колорадо... Судьба этого поселения полна тайн. Точно известно, что оно было построено между 1111 и 1115 годами - об этом свидетельствуют данные дендрохронологии. Вплоть до 1124 года к нему постоянно добавлялись различные пристройки... Однако в 1150 году поселение внезапно опустело, казалось бы, без видимых причин. Не обнаружено следов ни пожара, ни эпидемий, ни паники, ни внезапного нападения. Местное население ушло в неизвестном направлении, и селение продолжало оставаться заброшенным. В том же 1150 году начинается и окончательный массовый исход из высохшего Чако. Население Чако в полном составе не могло переселиться в долину Анимас - она была слишком мала. Если исключить гипноз инопланетян, то единственным возможным объяснением этих событий остается возможность некоего общеплеменного решения, которому вынуждены были подчиниться все. Куда именно в XII веке отправилось в полном составе это немаленькое племя - остается загадкой... Спустя 75 лет, в 1225 году, Астек так же необъяснимо вернулся к жизни".

Читаю и чувствую: дурят меня где-то... Но где?..

Ясно, что г-жа Ершова малость поэтизирует описание. Однако даже скидка на поэтизацию не снимает внутреннего дискомфорта. Ну как бы замечательно кольца деревьев не "фотографировали" внешние условия, все-таки далеки они от видеокамеры, позволяющей столь точно восстанавливать события прошлого, как это описывает г-жа Ершова!..

А тут еще хвалебные дифирамбы в адрес дендрохронологии со стороны радиоуглеродного метода, анализ которого приведен выше...

В общем: накопело...

И как раз в той степени, чтобы взяться за рутинную и очень нудную работу по обсчету нескольких тысяч пар точек кривых дендрошквал... (Вот почему никто и не берется за анализ корректности и надежности дендрохронологических работ!..)

Итак, я провел маленький "эксперимент".

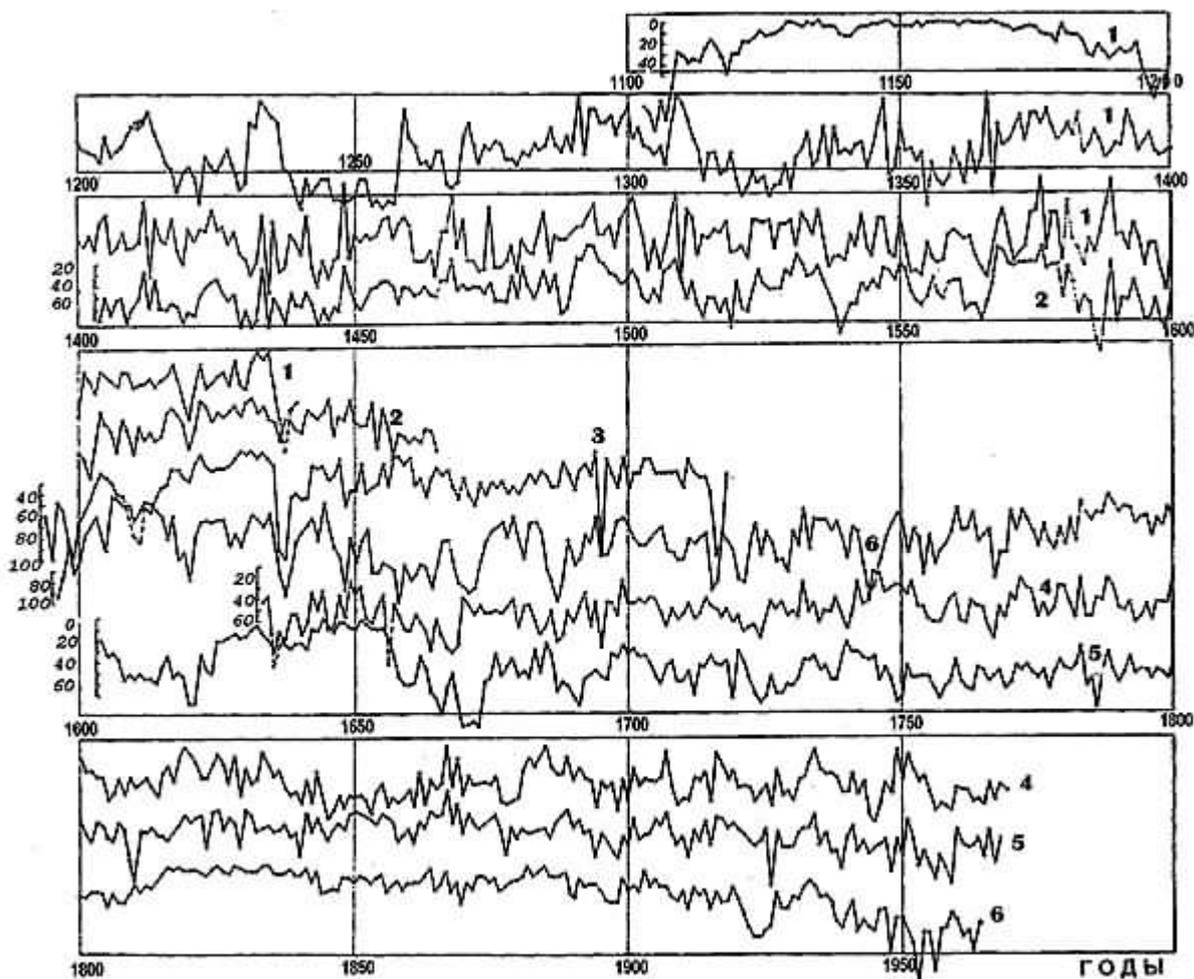
Идея его была проста: взять несколько "бревнышек" и попытаться их датировать по абсолютной дендрошкале в соответствии с описываемой методикой.

Для этого я взял первую попавшуюся под руку подробную дендрошкалу из статьи В.Дергачева "Точные хронологические шкалы протяженностью свыше 10 тысяч лет и "статистическая хронология" А.Т.Фоменко". (Опять Фоменко!.. Не к ночи будь упомянут...)

Вот цитата из этой статьи:

"В качестве примера рассмотрим применение дендрохронологического метода для датировки деревянных сооружений заполярного города Мангазеи (66°36' с.ш. и 82°16' в.д.) (Шиятов С.Г. 1972), который сыграл большую роль в первоначальном освоении Сибири. Город был заложен в низовьях реки Таз в 1601 году и оставлен в 1672 году. С тех пор на территории Мангазейского городища постоянных поселений не существовало. От прежних деревянных зданий и сооружений остались самые нижние 3-5 венцов, древесина которых, погребенная в землю в слой вечной мерзлоты, большей частью хорошо сохранилась. Шиятов С.Г. для определения времени постройки брал из наиболее сохранившихся бревен по несколько срезов (всего было взято 185 срезов из различных сооружений). По этим данным была построена "плавающая" шкала, датировка которой осуществлялась методом перекрестного датирования по графикам годичного прироста. Наличие в срезах довольно значительного количества колец (не менее 150) и знание промежутка времени существования Мангазеи намного облегчали датировку. Абсолютная дендрохронологическая шкала за 867 лет (с 1103 по 1969 гг.) была построена перекрестным наложением шкал древней древесины и по найденным в районе Приобского Севера и в окрестностях Мангазеи ныне живущим старым деревьям - лиственницам и елям, внутренние кольца которых образовались еще до основания города. В самой верхней части (кривые 1-3) приведены индексы прироста древесины лиственницы из мангазейских сооружений, а в нижней (кривые 4-6) - индексы прироста этих живущих деревьев за время с 1597 по 1969 гг. Правильность абсолютной датировки подтвердилась также известными по историческим документам датами постройки некоторых сооружений, древесина из которых была использована в настоящем исследовании".

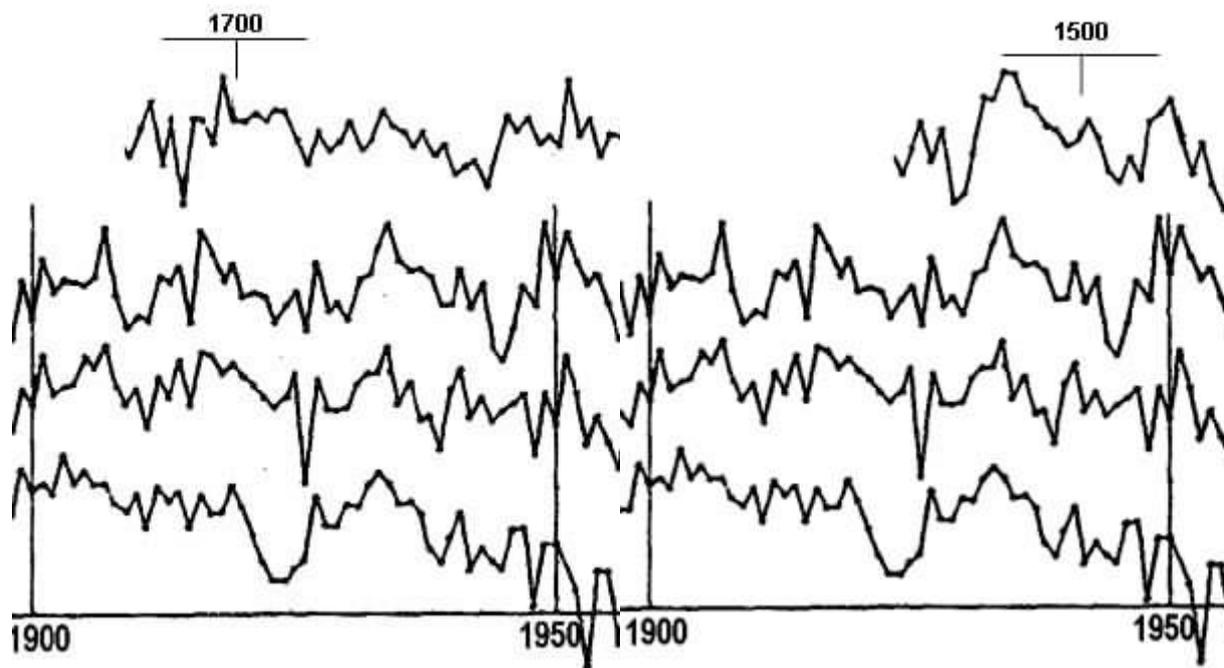
А вот и сама дендрошкала (в целях сокращения объема файла я малость уменьшил здесь размеры рисунка, что отразилось, естественно, в худшую сторону на иллюстративности точности шкалы, но уж очень громоздок рисунок в оригинале; хотя для математического обсчета использовался как раз оригинал без изменений):



- Рис. 7 - Дендрошкала Мангазеи

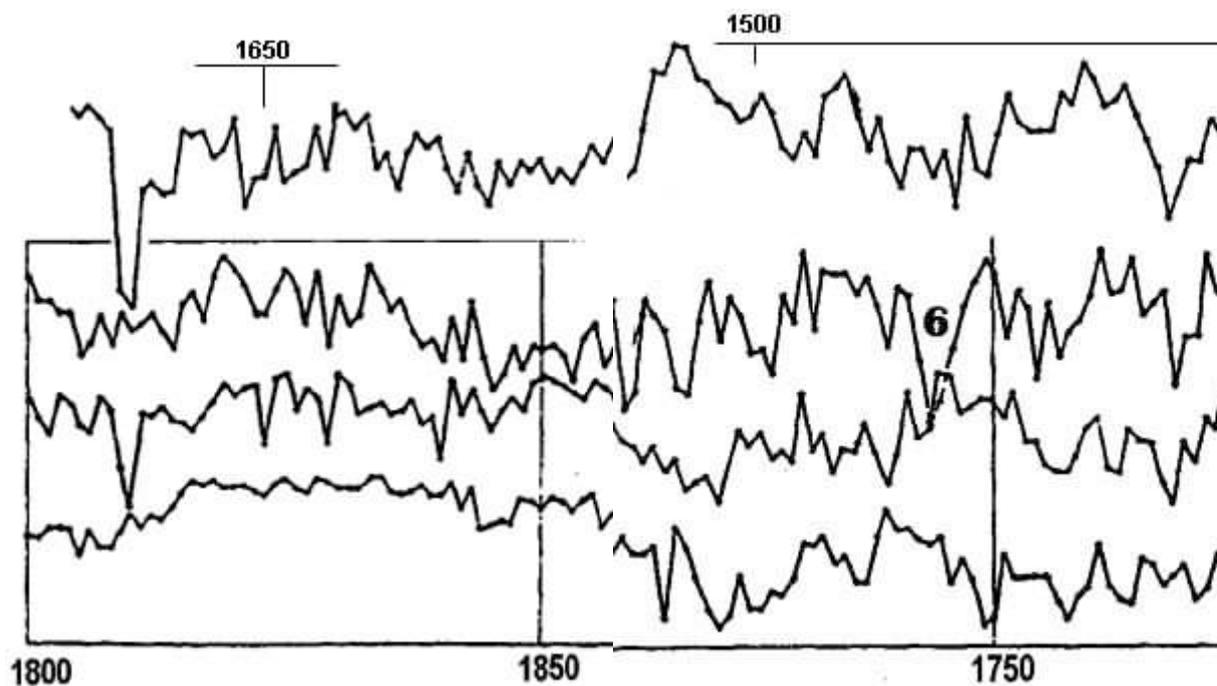
Итак, беру 4 "бревнышка" возрастом в 50-70 лет. Это, конечно, - не остистая сосна возрастом в несколько тысяч лет; но - нормальный возраст для обычного дерева, которое кто-то захотел использовать в хозяйственных нуждах. Да и интервал вполне удовлетворяет требованиям дендрохронологии, упомянутым в вышеприведенных цитатах.

Коль дендрохронологи предпочитают визуальный анализ дендрошкал, и я начал с этого самого визуального анализа. Результат представлен на четырех рисунках ниже:



- Рис. 8 -

- Рис. 9 -



- Рис. 10 -

- Рис. 11 -

Маленькое пояснение:

на рисунках верхняя кривая - мое "бревнышко"; три нижние кривые - с абсолютной дендрошкалы Мангазеи, временная шкала которой показана в нижней части рисунка (о цифрах в верхней части рисунка - чуть позже).

Ну разве мои "бревнышки" хуже сочетаются с кривыми абсолютной дендрошкалы, чем они сами сочетаются между собой?!

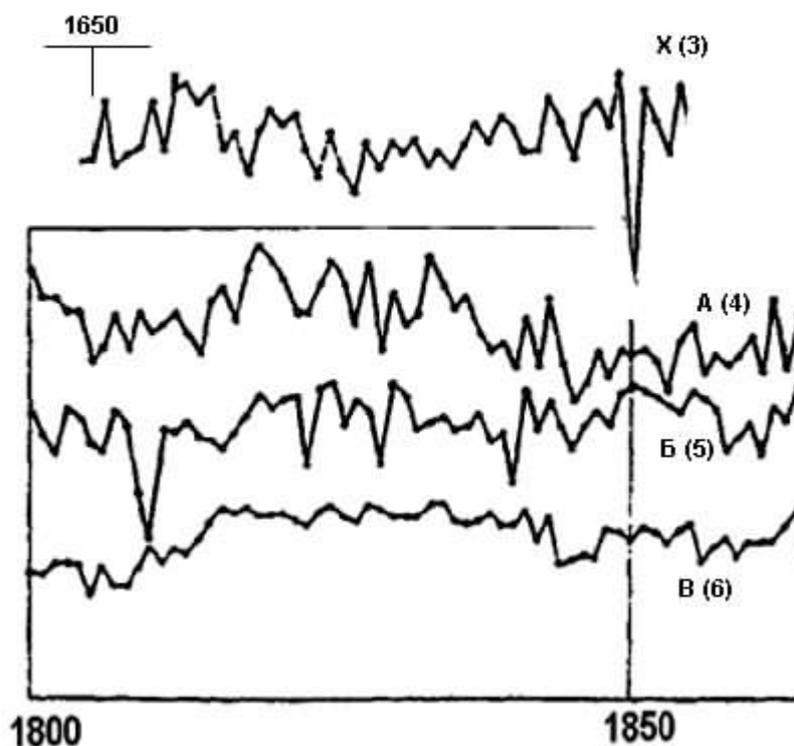
А теперь открываю секрет.

Никаких реальных бревен я, естественно, не искал и не промерял на них кольца. Просто взял куски с той же самой дендрошкалы и "прилепил" их на ту же шкалу, но... в другом месте!!!

Для **Рис. 8** использовался кусок кривой под номером 4, для **Рис. 9** и **11** - куски кривой под номером 2, а для **Рис. 10** - кусок кривой под номером 3. Чтобы было понятно, из какого именно места взяты куски соответствующих кривых, в верхней части рисунков указаны реперные точки хронологической шкалы с того же оригинала для выбранных кусков.

Поскольку реакция на подобный "эксперимент" абсолютно предсказуема, пришлось не ограничиться лишь визуальным сходством и впрячься в ту самую нудную работу по математическому обсчету кривых. Обсчет был проведен аж четыремя (!) из ранее упомянутых методов. Более того, теми же четыремя методами было обчислено соответствие кусков кривых на их "родном" месте, т.е. там, где они и находились в оригинале.

Увы, проверка глазомера математикой показала необходимость его тренировки. И что только дендрохронологи предпочитают визуальный метод?!. Три варианта из четырех пришлось забраковать, а последний оставшийся (см. **Рис. 10**) малость укоротить и сдвинуть в сторону. Результат представлен на **Рис. 12**:



- Рис. 12 - Результат эксперимента по дендрохронологии.

Визуальное соответствие оказалось несколько хуже, зато с математикой дело стало обстоять намного лучше!.. Результаты математического обсчета кривых представлены в двух таблицах ниже:

для "прилепленного":

	X:A	X:Б	X:В	A:Б	A:В	Б:В	
сходство изменчивости	66	59	66	65	72	47	%%
полная корреляция	0,180	0,076	0,098	0,226	0,167	0,080	дисперсия
скелетный метод (min)	0,131	0,192	0,180	0,164	0,102	0,237	дисперсия
метод по максимумам	0,235	0,261	0,247	0,234	0,154	0,301	дисперсия

для "родного места":

	X:A	X:Б	X:В	A:Б	A:В	Б:В	
сходство изменчивости	59	69	51	58	62	58	%%
полная корреляция	0,127	0,086	0,131	0,090	0,095	0,087	дисперсия
скелетный метод (min)	0,160	0,121	0,179	0,115	0,111	0,101	дисперсия
метод по максимумам	0,243	0,162	0,271	0,230	0,175	0,170	дисперсия

Маленькое пояснение:

Обозначения буквами кривых на рисунке совпадает с обозначениями в таблицах. Обозначение в таблице, например, X:Б означает сочетание кривых X и Б между собой. Дисперсия - величина, характеризующая разброс значений кривых. Соответственно, чем дисперсия меньше, тем лучше соответствие кривых. Для схождения изменчивости же дело обстоит противоположным образом: соответствие кривых тем лучше, чем выше процент схождения изменчивости.

Желающие могут проверить. Вполне возможно, что они получат и несколько иные цифры, но иные качественные выводы - вряд ли...

Что же мы можем увидеть из приведенных таблиц?..

Во-первых, по всем четырем методам обсчета, "прилепленный" кусок сочетается с тремя кривыми абсолютной дендрологической шкалы ничуть не хуже, чем эти самые кривые сочетаются между собой. Соответствие нижней кривой (а ведь это - абсолютная дендрошкала живого дерева!) с двумя другими оказывается даже хуже, чем соответствие "прилепленного" куска.

Во-вторых, соответствие "прилепленного" куска кривым дендрошкалы оказывается также ничуть не хуже соответствия этого же участка кривым дендрошкалы на его "родном" месте!

Таким образом, мы получаем наглядное свидетельство возможности неоднозначного решения обратной задачи дендрохронологии!!!

Ничего себе "точный метод"!.. Взяли, да и промахнулись лет эдак почти на 150!.. Вот вам и "точность до 1 года"...

Манипуляция?.. Да... Чистейшей воды подгонка?.. Да!

А чем, собственно, описанные выше методы дендрохронологии отличаются от того, что проделано в "эксперименте"?!. Разве не является сама датировка с помощью дендрометода той самой "подгонкой" исследуемого образца под известную дендрошкалу?..

Низкий процент сходства изменчивости?.. Вот вам цитата:

"Если сопоставляются дендрошкалы одной породы из одного района с абсолютно сходными условиями местопроизрастания, и они, естественно, синхронны по годам, процент сходства таких дендрошквал бывает довольно высоким. Сосна с совершенно одинаковыми условиями местопроизрастания из двух разных лесничеств дает процент сходства в 86%. Дендрошкала, отличающаяся по режиму влажности от первой шкалы, дает сходство с ней в 77%.

С увеличением расстояния между лесными массивами процент сходства у отдельных дендрошквал несколько снижается даже в тех случаях, когда сопоставляются дендрохронологические данные из сравнительно сходных условий местопроизрастания.

Поэтому у дендрохронологов, работающих с недатированными образцами древесины из неизвестных районов местопроизрастания, тем более что лес рублен несколько столетий тому назад, модели, не находящие себе места на дендрошкале, обычно составляют 15-30%" (Б.Колчин, Н.Черных, "Дендрохронология Восточной Европы").

(Правда, не слабенький процент "отбраковки"?..)

Не совсем хорошее визуальное сходство?.. Вот вам еще цитата:

"Необходимость перекрестной проверки дендрошкалы *Pinus aristata* по другим шкалам вызывалась тем, что у этих деревьев, растущих исключительно медленно, имелись так называемые выпадающие кольца, т. е. участки годичного прироста, образовавшиеся в годы с особенно тяжелыми климатическими условиями, которые не могут быть зафиксированы современными приборами наблюдения и замера колец. Среди образцов *Pinus aristata* были такие, где по радиусу протяженностью в 12,7 см располагалось более чем 1100 колец. Имелись кольца в несколько сотых миллиметра толщиной. На некоторых образцах выпадающие кольца составляли 3- 5% общего числа колец. Перекрестная датировка внутри шкалы *Pinus aristata*, а также сравнение со шкалами секвойдендрона и археологической (составленной по хвойным деревьям) позволили выявить выпадающие кольца на конкретном образце и в итоге составить надежную шкалу с показателями вариаций годичного прироста из года в год" (там же).

Между прочим, это предоставляло мне возможность (в полном соответствии с методом!) добавить к своему "бревнышку" еще пару точек в любом удобном месте и несколько улучшить как визуальное, так и математическое сходство, но я не стал этим злоупотреблять. А еще в дендрохронологии фигурирует термин "образование ложных колец", который дает возможность еще лучше "подрихтовать" кривую (в моем случае - убрать еще пару точек, только теперь уже "ненужных")...

Хочу ли я проведенной манипуляцией дискредитировать метод дендрохронологии?.. Вовсе нет... Меня интересует лишь определение возможности ошибки при использовании данного метода, и наличие такой возможности и было продемонстрировано.

Есть ли какие-нибудь объективные условия для таких ошибок (помимо сугубо субъективной ошибки исследователей при сопоставлении кривых на дендрошкалах)?.. Как выясняется, есть.

Во-первых, та самая уникальность рисунка колец оказывается "палкой о двух концах". С одной стороны, она создает основу самого метода дендрохронологии. А с другой, - обуславливает необходимость определенного огрубления при сравнении кривых. Кривые даже на абсолютных дендрошкалах (т.е. построенных на основе живых деревьев, позволяющих датировать кольца очень точно) довольно ясно демонстрируют не только сходство, но и различие между собой.

Во-вторых, в результате длительных и многочисленных дендрологических исследований при решении прямой задачи были выявлены определенные циклические колебания климата, соотносимые ныне с циклами солнечной активности. Достаточно надежно зафиксированы периоды в 11, 90, ~210 и ~2400 лет. А раз есть периодичность в активности Солнца, есть и определенная периодичность в климатических изменениях, которые (как и было подтверждено эмпирически) в свою очередь обуславливают определенную периодичность в изменении ширины колец деревьев. А раз есть некая цикличность, то, следовательно, есть и предпосылки для образования сходного рисунка колец (сходных участков кривой дендрошкалы) даже у одного и того же дерева, но в разное время - через интервал, равный периоду цикла. Поскольку циклов несколько, и они накладываются друг на друга, итоговая картина будет несколько сложнее, но объективные предпосылки для образования сходства все равно будут оставаться.

И в-третьих, уже упоминавшаяся ранее возможность выпадения/образования ложных колец.

Последний фактор, кстати, способен серьезно затруднить использование метода дендрохронологии как раз в той области истории, которая исследует образование первых (известных) человеческих цивилизаций, поскольку все они сосредоточены в теплых регионах планеты. А дендрохронология более надежна именно для сравнительно холодных регионов Земли, в которых годовые колебания климата формируют отчетливый рисунок древесных колец. Очевидно, что в условиях не столь резких колебаний как сам рисунок колец будет менее четким, так и вероятность образования ложных колец или выпадения колец резко возрастает, что и ведет к увеличению возможности ошибки.

* * *

Вот и все, о чем вздумалось поведать...

А выводы? - спросит возмущенный читатель.

Вывод, собственно, всего один, и он банален: нет непогрешимых методов эмпирических исследований. И если Вас интересует правда, то нужно иметь представление о реальных погрешностях и о возможной ошибке используемого метода. И лучше всего использовать сразу все доступные методы, а не ограничиваться лишь одним. Только и всего...

Но что же делать, скажем, с теми датировками, которые уже имеют место быть?.. Ведь теперь появляются веские основания для сомнения в их надежности. Как для дат, установленных радиоуглеродным методом, так и для дат, полученных методом дендрохронологии...

Все переизмерять?.. Нелепо. Да и образцы имеют свойство "теряться", "израсходоваться" и т.п. ("усушка" и "утруска" имеют место не только в торговле).

Поставить крест на всех имеющихся датировках, полученных этими методами?.. Тоже - далеко не разумно... И не все здесь так безнадежно, как может показаться на первый взгляд.

Для дат, установленных методом радиоуглеродного датирования, могу предложить простой практический способ, основанный на том, что "установленной" дате соответствует вполне определенное измеренное значение содержания ^{14}C в исследованном образце.

Все довольно легко.

Берете дату, указанную как "установленную". По приличному (!) калибровочному графику определяете величину радиоуглеродного возраста (ВР), соответствующую "установленной" дате.

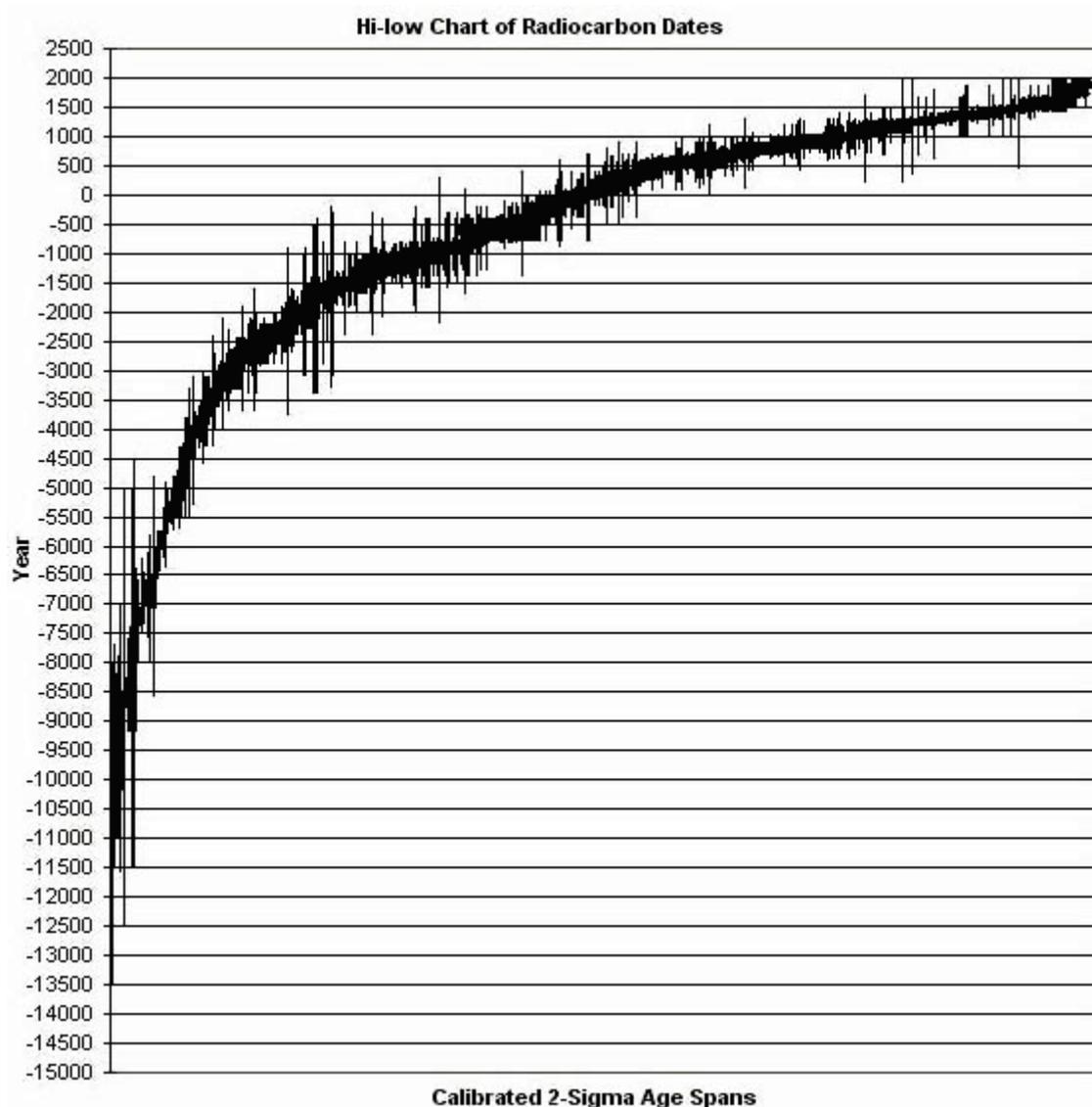
Далее проводите учет погрешности в определении ВР. Она складывается из двух: 1) погрешность, обусловленная ошибкой измерения текущей концентрации ^{14}C в образце; 2) погрешность, вызванная неточностью знания начального содержания ^{14}C и обусловленная естественными флуктуациями содержания радиоуглерода в живых организмах (см. ранее). Первая погрешность колеблется (ориентировочно) от 0,5% для современных данных до 4% для данных, полученных на заре метода радиоуглеродного датирования (50-60 лет назад). Вторую погрешность мы ранее оценили в 3,25% (минимум!). Суммарная погрешность в ВР составит, таким образом, порядка 3,3-5,1%. Если есть возможность учесть отклонение по ^{13}C от максимальной форы, то нужно это сделать. Погрешность поползет вверх... Хотя я на Вашем месте просто взял бы итоговую погрешность в размере 10-15%, что гораздо более реально с учетом всех возможных погрешностей.

И вместо одного конкретного значения получаете диапазон значений ВР (в каждую сторону от ранее определенного по графику единственного значения ВР нужно отступить на величину указанной погрешности). А затем по тому же калибровочному графику (но уже в противоположную сторону) определяете диапазон времени, соответствующий вычисленному диапазону значений ВР.

Все. Любая дата из найденного диапазона времени также обоснована, как и дата в первоисточнике. Можете ее использовать по своему усмотрению (и в зависимости от своей честности).

Вполне возможно, что в результате описанной процедуры будет получен не один, а несколько диапазонов времени. Любая дата из все этих диапазонов времени будет также вполне обоснована.

А можно еще проще. Взять график на *Рис. 13*. Он изначально отображает погрешность 2-sigma для разных дат и позволяет сразу (хоть и очень приближенно) получить искомый диапазон датировки вместо одной даты. Вот где-то по внешней стороне пиков и будет проходить граница реальной погрешности датировки. И то лишь при условии того, что изначально измерения выполнены корректно...



- Рис. 13 -

Может случиться и так, что итоговый диапазон возможных значений дат окажется слишком широким для его дальнейшего практического использования. Увы... С этим уже поделаться ничего нельзя. Можете выбросить в корзину (за борт, на помойку и т.д. - нужно подчеркнуть) исходную "установленную дату".

И увы, - туда же следует отправить все те даты, которые "установлены" на заре радиоуглеродного метода, - еще до появления калибровочных кривых (примерно до середины 70-х годов XX века). Для подобной корректировки нужно знать всю ту процедуру расчета, которая применялась при их получении. Описанная здесь явно не подойдет... К сожалению, в литературе по археологии и истории (в силу сильнейшей консервативности академической науки) случаев использования подобных устаревших (и заведомо недостоверных) данных не так уж и мало...

Несмотря на всю кажущуюся "несерьезность" описанного подхода, ныне, к сожалению, можно пользоваться лишь им. Вполне возможно, что исследователи наконец обратят свое внимание на проблему естественных флуктуаций начального значения содержания ^{14}C в образцах. А для этого надо заняться, казалось бы, совершенно "нелепыми" исследованиями: начать "датировать" современные образцы! Несмотря на всю некорректность этих "датировок", только они, пожалуй, могли бы выявить какие-то закономерности, которые в конечном счете помогли бы решить задачу снижения упомянутой погрешности (и повышения надежности метода).

Примечание:

Пара кратких аннотаций.

Saup, Francis; Strappa, Osvaldo; Coppens, Ren; Guillet, Bernard; Jaegy, Robert. A possible source of error in carbon-14 dates: volcanic emanations (examples from the Monte Amiata district, Provinces of Grosseto and Siena, Italy). Radiocarbon, v. 22, n. 2, 1980: 525-531

Статья представлена на 10-й Международной Радиоуглеродной конференции.

Дерево из обычной деревянной постройки в неглубокой шахте в Тоскане дало возраст, который мы сочли слишком старым. Так как тут регион вулканической активности, можно было подумать, что вулканические эманации вызвали уменьшение содержания ^{14}C в древесине, росшей в окрестности. Это было проверено измерением активности ^{14}C у живущих деревьев, у которых мы также нашли пониженное содержание ^{14}C .

Bruns, Michael; Levin, Ingeborg; Mnnich K.O.; Hubberten, H.H.; Fillipakis, S. Regional sources of volcanic carbon dioxide content of present-day plant material. Radiocarbon, v. 22, n. 2, 1980: 532-536

Статья представлена на 10-й Международной Радиоуглеродной конференции.

Были произведены измерения ^{14}C в сегодняшнем растительном материале с коротким временем накопления в области Eiffel, в Западной Германии, где античный вулканизм производит газовые эманации на значительных площадях. Было найдено, что значительное уменьшение содержания ^{14}C в период их роста может привести к псевдовозрасту до 1600 лет для современных образцов из окрестностей этих областей.

Так что явное влияние близкого расположения вулканов к месту происхождения образца на результаты радиоуглеродного датирования вполне пролеживается. И влияние весьма сильное... Способное поставить вопрос о применимости метода вообще... Ведь "псевдовозраст" в 1600 лет для современных образцов означает почти 25% погрешности в определении начальной концентрации ^{14}C , а при такой погрешности вообще ни о какой датировке не может быть и речи.

Кажущаяся нелепость "датировки" современных образцов, возможно, и является причиной отсутствия необходимой соответствующей информации о естественных флуктуациях начального ^{14}C ...

Хотя не исключен и вариант, что данные исследования выявят какую-либо принципиальную неустранимость этой погрешности или даже более сильные естественные флуктуации, существенно выше обозначенного Андерсеном значения в 5,85% (как это продемонстрировали вышеупомянутые исследования в Германии). А это, по сути, означало бы отсутствие перспектив перевода реально весьма приблизительного метода радиоуглеродного датирования в разряд действительно точных. Так что отсутствие данных по исследованию естественных флуктуаций начального ^{14}C может иметь и "неприглядную" причину, поскольку публично признать

неустранимость весьма существенной погрешности метода, означает ныне - лишить в одночасье многочисленные лаборатории львиной доли заказчиков...

По крайней мере проведенный выше анализ и показавший весьма существенное отличие погрешностей метода от заявляемых официально заставляет весьма серьезно задуматься об умышленном замалчивании заинтересованными лицами "неудобных" моментов методики...

И если уж вести речь о перспективах развития радиоуглеродного метода, то вопрос надежности базового положения о полной изолированности внутренних колец деревьев от атмосферного радиоуглерода (положения, лежащего в основе графика изменения ^{14}C в прошлом и в основе калибровочных кривых, в конечном счете) следовало бы вынуть из чулана и, стряхнув с него пыль, поставить в ряд первоочередных задач. Ведь если выявится наличие даже весьма незначительного (см. ранее) притока к внутренним кольцам деревьев "свежего" радиоуглерода из атмосферы, то не только серьезно "поплывут" все калибровочные кривые, но и возникнет необходимость пересмотра вообще всей методики обработки радиоуглеродных измерений...

С возможностью корректировки результатов дендрохронологии дело обстоит гораздо хуже, поскольку ранее рассмотренный единичный "эксперимент", естественно, не позволяет выявить какие-либо закономерности возможных ошибок. Для этого нужны в первую очередь целенаправленные исследования данной проблемы и мощная статистика, заняться чем, очевидно, могут лишь энтузиасты, рискующие при этом своей научной карьерой (поскольку весьма не скоро будет преодолена вера в непогрешимость дендрохронологии в академической науке).

Пока же мы можем варьировать лишь степень доверия к результатам дендрохронологических исследований. При этом количество образцов, использованных при датировании - фактор, обычно служащий аргументом достоверности результата, - не может, как выясняется, служить критерием при оценке степени доверия к надежности полученных дат. Ведь если, как показано ранее, можно ошибочно пристроить "не на свое место" на дендрошкале одно "бревнышко", то, очевидно, туда же можно пристроить и другие "бревнышки" со схожим рисунком колец. И остается лишь один фактор - длина дендрошкалы (ясно, что чем длиннее дендрошкала, т.е. чем больше количество колец на образце, тем меньше шансов пристроить его "не на свое место"). Увы, далеко не всегда указание датировки сопровождается информацией о протяженности дендрошкал образцов...

Однако "доверие к результату" вовсе не должно означать "веру в достоверность результата". Вера, не допускающая сомнений, вообще не совместима с научным подходом, базирующемся, как известно, на сомнении. Сомнению даже в том, что "абсолютно и точно установлено" и/или "единодушно признано".

* * *

В заключение хочу поблагодарить канд.техн.наук Ю.А.Лебедева за помощь в анализе материала и предварительный просмотр статьи. А также тех, кто потратил время на ознакомление с первым вариантом статьи и помог обнаружить имевшиеся там ошибки. И особо поблагодарить канд.ист.наук Андрея Жукова, который не только помог в подборе материала и высказал целый ряд интересных идей, но и подвиг, собственно, меня на сей труд.

.....

Другие работы автора:

<http://lah.ru/text/sklyarov/sklyarov.htm>

.....

СОДЕРЖАНИЕ

Чего изволите-с?..

Меню радиоуглеродного датирования и дендрохронологии.	.....	1
Не столь обязательное, но все-таки полезное, почти лирическое введение	.....	2
Теория метода радиоуглеродного датирования	.....	4
Погрешность радиоуглеродного датирования	.....	9
Общие выводы по методу радиоуглеродного датирования	.....	19
Дендрохронология	.....	20
Маленький эксперимент по проверке дендрохронологии	.....	24
СОДЕРЖАНИЕ	.....	36