

Николай Н. Ковалюх, Сергей В. Назаров

О калибрации радиоуглеродных дат в археологических исследованиях

ВВЕДЕНИЕ

Достоверная радиоуглеродная дата, которая отображает действительные исторические события – это вершина к которой стремятся вместе геохронологи и археологи. В последнее время благодаря кропотливой работе проделанной представителями радиоуглерода почти удалось идеализировать радиоуглеродную дату возведя ее в ранг „абсолютной“. Эти успехи были достигнуты за счет усовершенствования (уточнения) калибровочных кривых по радиоуглероду, которые сверялись с дендрохронологическими данными. Построение отрезков субкалибрационных кривых, точно воспроизводили временной интервал исследуемых исторических событий. Благодаря этим исследованиям в отдельных случаях были получены радиоуглеродные даты, которые имели ошибку $\pm 10\text{--}20$ лет.

Эти успехи заставили по новому взглянуть на хронологию и период жизни многих культур, которые жили на территории Восточной Европы в эпоху меди и бронзы. Многие культуры проходили довольно сложный путь от рождения и до прекращения их существования. Порой несколько культур у которых было много общего, соприкасались друг с другом и жили параллельно на протяжении довольно длительного времени. Впоследствии они трансформировались в новую единую культуру.

Все эти этапы развития отдельных культур возможно изучат опираясь на точные, достоверные радиоуглеродные даты.

Авторы данной статьи являются представителями изотопной геохронологии и по своему видят пути к совершенствованию ^{14}C даты.

Необходимо пройти длинный извилистый путь от отобранного археологами образца к получению радиоуглеродной даты. И не всегда путь оканчивается достижением цели. Только применение серьезной статистики, полученные серии ^{14}C дат, дает возможность достоверно рассматривать тот или иной хронологический отрезок для изучаемой культуры.

В статье рассмотрена степень достоверности радиоуглеродных дат, которые получены из различных материалов. Совершенствование программ калибрации ВР дат и сравнение их между собой по полученным данным, дает возможность устраниить те ошибки, которые мешали бы в последствии производить корреляцию радиоуглеродных дат полученных по культурам из различных регионов.

И наконец, межлабораторный контроль именно он позволяет исключить все сомнения и с доверием относится к получаемым радиоуглеродным датам, которые порой делают революцию во взглядах археологов и заставляют по новому взглянуть на историю существования наших далеких предков.

МЕТОДОЛОГИЯ КАЛИБРАЦИИ РАДИОУГЛЕРОДНЫХ ДАТ

Радиоуглеродный метод был основан на предположении постоянства концентрации в атмосфере изотопа ^{14}C . Однако, атмосферная концентрация радиоуглерода зависит от напряженности и направленности магнитного поля Земли, космических факторов и деятельности Солнца. С целью фиксирования этих изменений был создан международный проект по построению калибровочной кривой.

Для этой цели было отобрано несколько уникальных захороненных стволов с хорошо сохранившимися годо-

выми кольцами. После определения концентрации ^{14}C в отдельных кольцах деревьев и слоях морских кораллов была построена калибровочная кривая до 24000 лет (INTCAL98) (M. Stuiver, J. van der Plicht 1998).

„Классически“ результаты калибрации представляются в виде набора интервалов сгруппированных для 1σ , 2σ и 3σ с соответствующими вероятностями нахождения в них даты 68%, 95% и 99%. Такой подход разрешает легко сориентироваться в реальных исторических границах нахождения даты. Однако использование интервалов

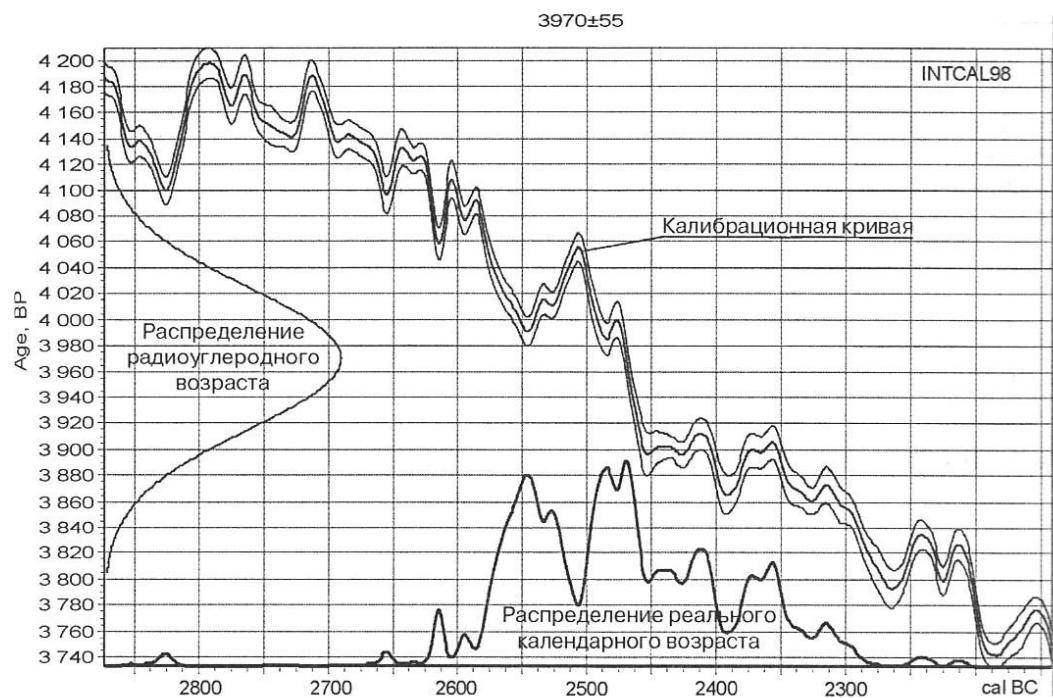


Рис. 1. Графическое представление калибровки (Ki-6719)
Ryc. 1. Graficzne przedstawienie kalibracji (Ki-6719)
Fig. 1. Graphic representation of the calibration (Ki-6719)

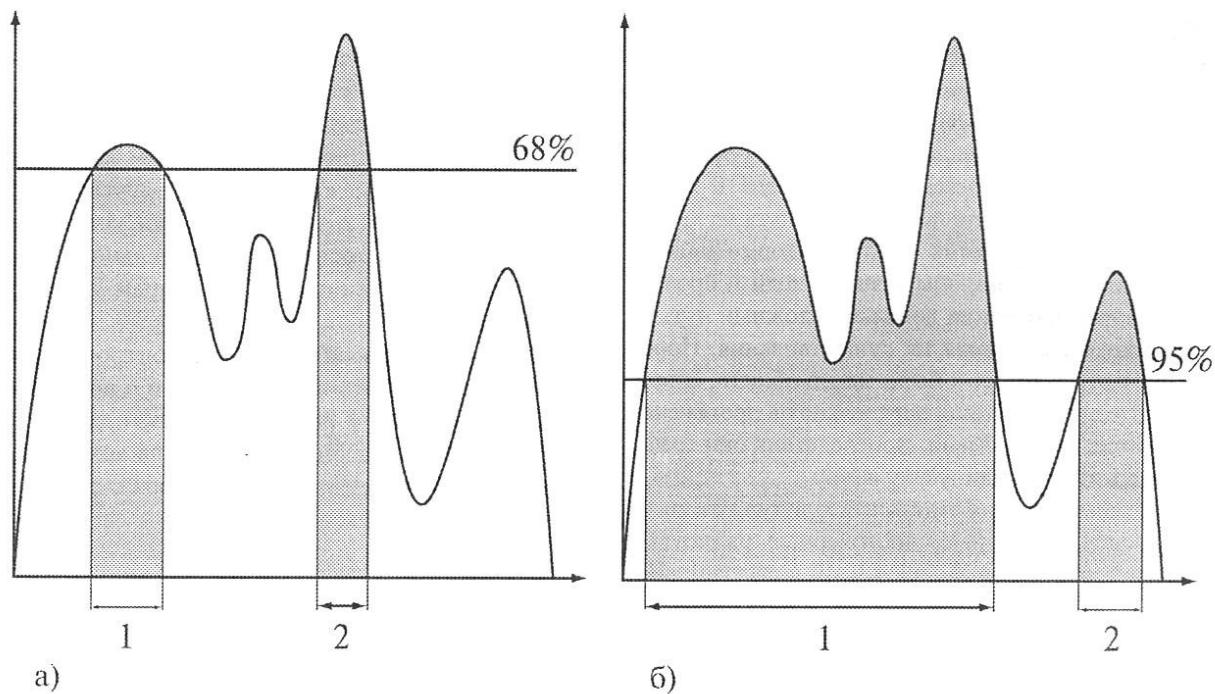


Рис. 2. Определение интервалов калибровки: а) для 1σ , б) для 2σ
Ryc. 2. Oznaczenie przedziałów kalibracji: а) dla 1σ , б) dla 2σ
Fig. 2. The mark of the calibration section: a) for 1σ , b) for 2σ

усложняет понимание результатов и не предоставляет возможности для их статистической и хронологической обработки. Поэтому возникла необходимость в „округлении“ результатов калибровки для представления их в виде точечной даты.

На рисунке 1 изображено графическое представление калибровки. Гауссовское распределение радиоуглеродного возраста пересекаясь с калибровационной кривой образует распределение реального исторического возраста. По данному распределению можно определить веро-

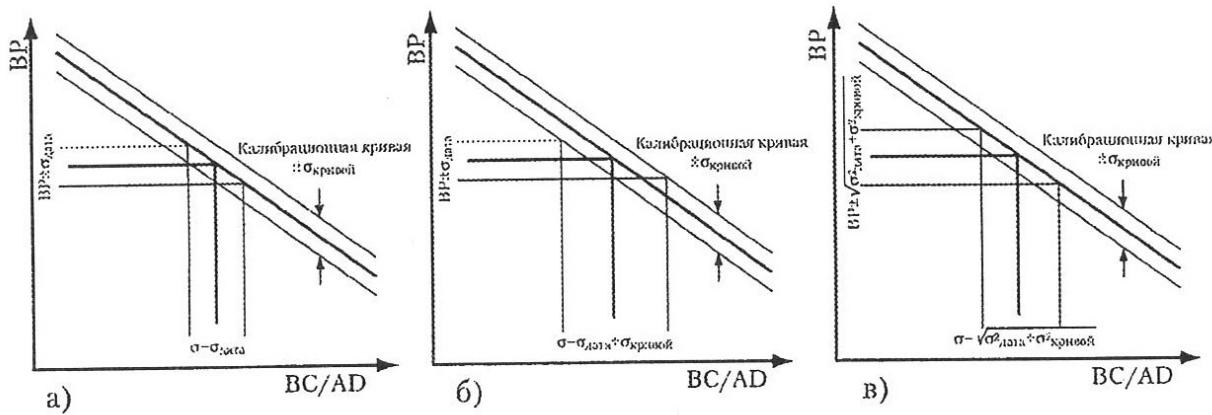


Рис. 3. Варианты учета ошибки измерения и калибрационной кривой

Ryc. 3. Warianty uwzględnienia błędów pomiaru i krzywej kalibracyjnej

Fig. 3. Variants which take the mistakes of survey and of calibration curve into account

ятность попадания даты в тот или иной интервал – она будет соответствовать плошади фигуры, которую „отсечёт” этот интервал. Однако подсчёт такой вероятности достаточно сложный вычислительный процесс, поэтому проще было бы подсчитать вероятность попадания результата в заблаговременный интервал, а после определять лишь этот интервал. Было подсчитано, что вероятность попадания в интервал одной ошибки ($\pm\sigma$) равен 68%, в интервал удвоенной ошибки ($\pm 2\sigma$) – 95%, реже используют интервалы утроенной ошибки ($\pm 3\sigma$), вероятность нахождения в которых составляет 99%. На практике оказывается достаточным использования интервалов удвоенной ошибки.

На рисунке 2 изображено принцип определения интервалов исторического возраста.

Калибрационная кривая, так же как и радиоуглеродный возраст, имеет ошибку измерения. Поэтому во время пересечения распределения радиоуглеродного возраста с калибрационной кривой необходимо учсть эти ошибки. Варианты учета ошибки измерения (σ_{data}) и ошибки

калибрационной кривой (σ_{kryvay}) приведёны на рисунке 3. (J. van der Plicht, W. G. Mook, H. Hasper 1987).

Вариант 1а не учитывает ошибку калибрационной кривой, что в результате дает меньшие размеры интервалов калибрации. Вариант 1б учитывает обе ошибки путём их сложения – это дает максимально достоверный результат калибрации при больших интервалах калибрации. И наконец вариант 1в – наиболее правильный с математической точки зрения учёт ошибки. Если бы калибрационная кривая была представлена в виде прямой линии то вариант 1в был бы идеален, однако калибрационная кривая не является таковой, поэтому каждый из представленных метод учёта ошибок может иметь смысл в той или иной ситуации.

Сложность использования интервальных результатов калибрации в хронологических и статистических работах потребовали альтернативного представления этих результатов. Безусловно, наиболее наглядным и удобным является представление результатов в виде точечной даты.

ТОЧЕЧНАЯ ДАТА: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Одним из первым на решение этой проблемы откликнулся Bernhard Weninger. Разработанная им программа представляет результат в виде одного интервала, вероятность нахождения даты в котором достаточно велика.

Разница между понятием „точечная дата” и „одиночная дата” хотя и не велика, однако имеется. Точечная дата характеризует конкретное точечное значение реального исторического возраста с отклонением. Таким образом можно утверждать, что наиболее вероятное значение реального исторического возраста составит именно значение этой точки. Представление возраста в виде одиночной даты также можно записать в виде точечного значения с отклонением, однако эта точка не является наиболее вероятным значением реального исторического возраста. На рисунке 6 изображено распределение

исторического возраста для даты Ki-7124, соответствующая точечная дата, представленная программой „Ages”, и одиночная дата, полученная программой „CalPal”.

Каждое из представлений имеет свою область использования – одиночная дата определяет диапазон попадания даты и может использоваться для ориентирования в границах её нахождения, точечная дата характеризует наиболее вероятный и достаточно узкий интервал нахождения даты.

Основным недостатком одиночной даты можно определить широкие границы результата – как правило они превышают исходные отклонения радиоуглеродного возраста. Недостатком же точечной даты является разная вероятность результата для группы дат.

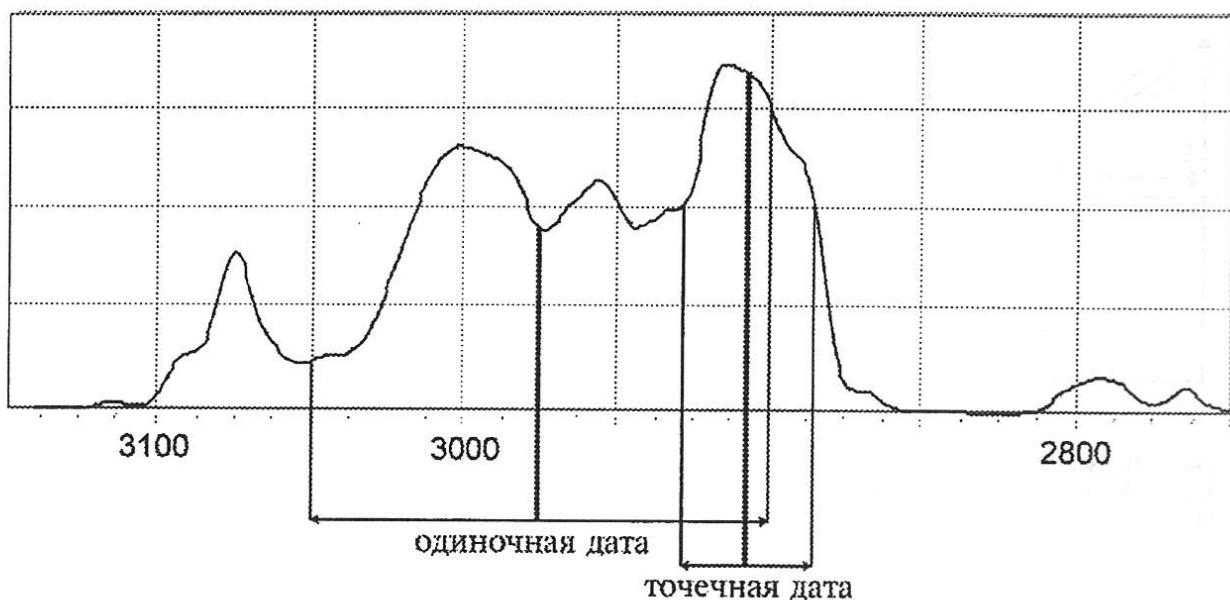


Рис. 4. Сравнение точечной и одиночной даты
Rys. 4. Porównanie daty punktowej z jednostkową
Fig. 4. Comparision the punctual date with the singular date

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДАТИРОВАНИЯ И НАДЁЖНОСТЬ ПОЛУЧАЕМЫХ РАДИОУГЛЕРОДНЫХ ДАТ

Таблица 1. Результаты радиоуглеродного датирования образцов ямной культуры территории Украины (ископаемое дерево)

| № | Привязка | | | Лаб. номер | Возраст, BP |
|---|---|-------------------|------------------------|------------|-------------|
| | Расположение | образец | предоставлен | | |
| 1 | с. Відрядне, Новобужський р-н, Миколаївська обл. | кург. 1 погр. 21 | О. Г. Шапошников, 1971 | Ki-7070 | 3890±65 |
| 2 | с. Вишневе, Татарбунарський р-н, Одесская обл. | кург. 17 погр. 38 | Л. В. Суботин, 1978 | Ki-7126 | 4105±65 |
| 3 | с. Новоселница, Татарбунарский р-н, Одесская обл. | кург. 19 погр. 19 | Л. В. Суботин, 1978 | Ki-7127 | 4055±60 |
| 4 | с. Новоселница, Татарбунарский р-н, Одесская обл. | кург. 20 погр. 8 | Л. В. Суботин, 1978 | Ki-7128 | 4005±50 |
| 5 | с. Виноградне, Токмакский р-н, Запорожская обл. | кург. 15 погр. 5 | В. В. Отрошченко, 1983 | Ki-7129 | 4145±55 |
| 6 | с. Кремнёвка, Володарский р-н, Донецкая обл. | кург. 6 потр. 6 | С. М. Братченко | Ki-7124 | 4325±60 |
| 7 | с. Кремнёвка, Володарский р-н, Донецкая обл. | кург. 6 погр. 7 | С. М. Братченко | Ki-7125 | 4365±55 |

По степени достоверности получаемых радиоуглеродных дат, материалы для датирования можно выстроить в следующей последовательности крупные ископаемые кости → древесина → органические остатки травянистых растений → крупный уголь → ископаемые почвы → мелкий древесный уголь → мелкие ископаемые кости → раковины моллюсков.

Чаше всего в археологических исследованиях для датирования используют костный материал, который является наиболее достоверным и многочисленным при археологических раскопках. Каллоген ископаемых костей иногда подвергается бактериальной обработке и вследствие биологического фракционирования можетискажаться получаемый изотопный возраст исследуемых образ-

Таблица 2. Результаты радиоуглеродного датирования образцов ямной культуры территории Украины (ископаемые кости)

| № | Привязка | | Лаб. номер | Возраст, BP |
|----|---------------------|------------|------------|-------------|
| | Расположение | образец | | |
| 1 | Орджоникидзе – 1997 | b.11, g.90 | Ki-6571a | 4035±50 |
| 2 | Орджоникидзе – 1997 | b.11, g.11 | Ki-6572a | 4005±55 |
| 3 | В. Головковка | b.6, g.8 | Ki-6719 | 3970±55 |
| 4 | В. Головковка | b.7, g.4 | Ki-6722 | 3980±60 |
| 5 | В. Головковка | b.11, g.5 | Ki-6723 | 4030±60 |
| 6 | В. Головковка | b.12, g.3 | Ki-6724 | 3950±50 |
| 7 | В. Головковка | b.5, g.3 | Ki-6730a | 3925±55 |
| 8 | В. Головковка | b.5, g.5 | Ki-6731 | 4005±55 |
| 9 | В. Протопоповка | b.2, g.2 | Ki-6733 | 3945±50 |
| 10 | В. Протопоповка | b.2, g.3 | Ki-6734 | 3925±55 |

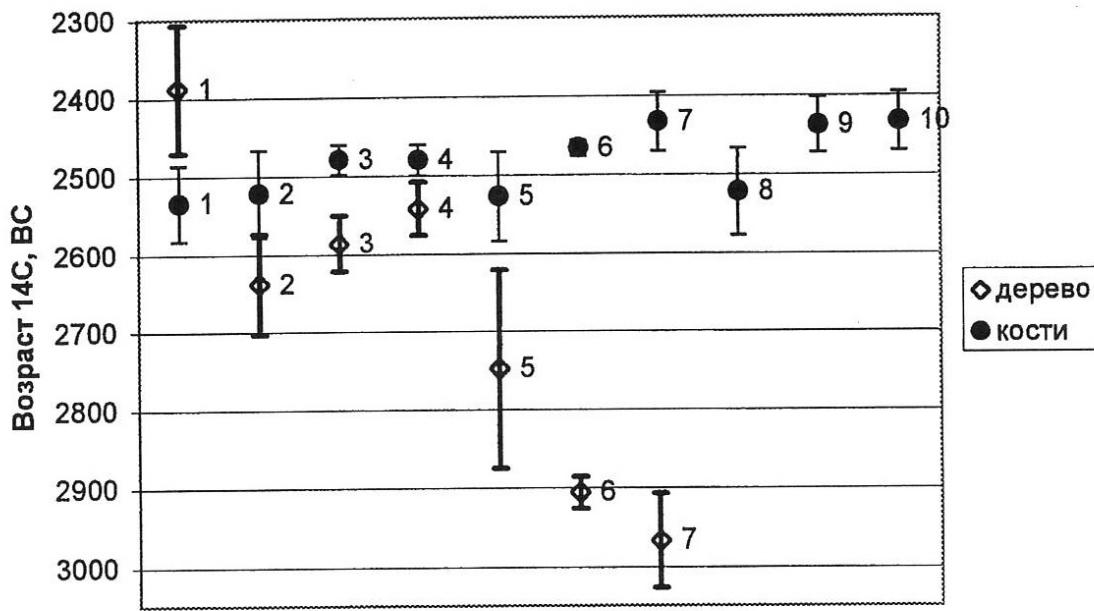


Рис. 5. Сравнения калиброванных радиоуглеродных дат
Ryc. 5. Porównanie kalibrowanych dat radiowęglowych
Fig. 5. Comparision calibration dates with radiocarbon dates

Таблица 3. Результаты межлабораторного контроля

| № | Образец | Киевская радиоуглеродная лаборатория | | Оксфордская радиоуглеродная лаборатория | |
|---|----------------------|--------------------------------------|-------------|---|-------------|
| | | лабораторный номер | Аee 14C, BP | лабораторный номер | Аee 14C, BP |
| 1 | Никольский, ск. 125 | Ki-6603 | 6160±70 | OXA-5029 | 6300±80 |
| 2 | Ясиноватка, ск. 45 | Ki-6791 | 6305±80 | OXA-6164 | 6360±75 |
| 3 | Ясиноватка, ск. 19 | Ki-6788 | 6310±85 | OXA-6165 | 6370±60 |
| 4 | Васильевка 5, ск. 29 | Ki-6776 | 6220±60 | OXA-6198 | 6298±70 |
| 5 | Васильевка 5, ск. 8 | Ki-6777 | 6430±50 | OXA-6171 | 6470±70 |
| 6 | Марнека 5, ск. 10 | Ki-6781 | 7585±80 | OXA-6200 | 7620±100 |
| 7 | Марнека, ск. 14 | Ki-6780 | 7600±100 | OXA-6269 | 7630±110 |

цов. Для учета всех искажений получаемого возраста необходимо для каждого образца вводить поправку на фракционирование $\delta^{13}\text{C}$, которую получают массспектрометрическим методом.

Наиболее надёжными для радиоуглеродного датирования являются трубчатые кости нормальной плотности, наименее пригодными считаются рыхлые кости и черепные коробки, которые сложены из тонких костных пластин, как правило, с рыхлой и пористой поверхностью.

По степени надёжности материалов за ископаемыми костями следует древесина. Она наиболее часто встречается при раскопках. При правильной химической подготовке из древесных образцов получают надёжные радиоуглеродные даты. Однако следует учитывать тот факт, что при хранении в грунте дерево подвергается разложению и наиболее часто мы имеем дело с образ-

цами представляющими собой центральную часть дерева. В этих случаях датировки искусственно могут быть удревнены на 50–150 лет.

В таблицах 1 и Таблица 2 представлены примеры радиоуглеродного датирования памятников ямной культуры, полученные по различным материалам (дерево, ископаемые кости).

На рисунке 5 построен график сравнения калиброванных радиоуглеродных дат, полученных по древесине и ископаемым костям (Таблица 1 и Таблица 2). Из полученных данных видно, что радиоуглеродные датировки представленные древесиной несколько древнее. Согласно графика самые ранние даты получены для памятника «Кремнёвка» – около 3 тыс. лет ВС. Однако, следует принять во внимание то факт, что мы сравнивали различные памятники ранней ямной культуры, которые расположены в разных регионах Украины. Поэтому, этот вопрос для окончательных выводов требует ещё детального изучения.

Необходимо также рассмотреть степень надёжности получаемых радиоуглеродных дат по мелко раздробленному древесному углю. Очень часто при раскопках археологи находят скопления мелко раздробленного древесного угля в культурном слое, который в целом ряде случаев отличается от культурных слоев более поздним возрастом. Эти скопления, как правило, образуются после крупных пожаров за счёт заполнения нор грызунов и насекомых легким древесным углем переносимых ветром и паводками. Поэтому, при получении радиоуглеродных дат предпочтительней использование фрагментов обугленной древесины.

Одним из критериев надёжности и достоверности получаемых радиоуглеродных дат является также межлабораторный контроль. Для изотопного датирования лабо-

ратории, участвующие в межлабораторном контроле, используют образцы с практически одинаковым содержанием радиоуглерода. Для межлабораторного сопоставления по радиоуглероду нам были представлены фрагменты черепов скелетов человека. Материалы для датирования были взяты из различных неолитических могильников, расположенных на территории Украины

и представлены в Киевскую и Оксфордскую радиоуглеродные лаборатории проф. Д. Я. Телегиным. Результаты радиоуглеродного датирования представлен в таблице 3. Анализ полученных данных приведен на рисунке 6, указывает на хорошее согласование между датами полученными по одним и тем же образцам в различных лабораториях.

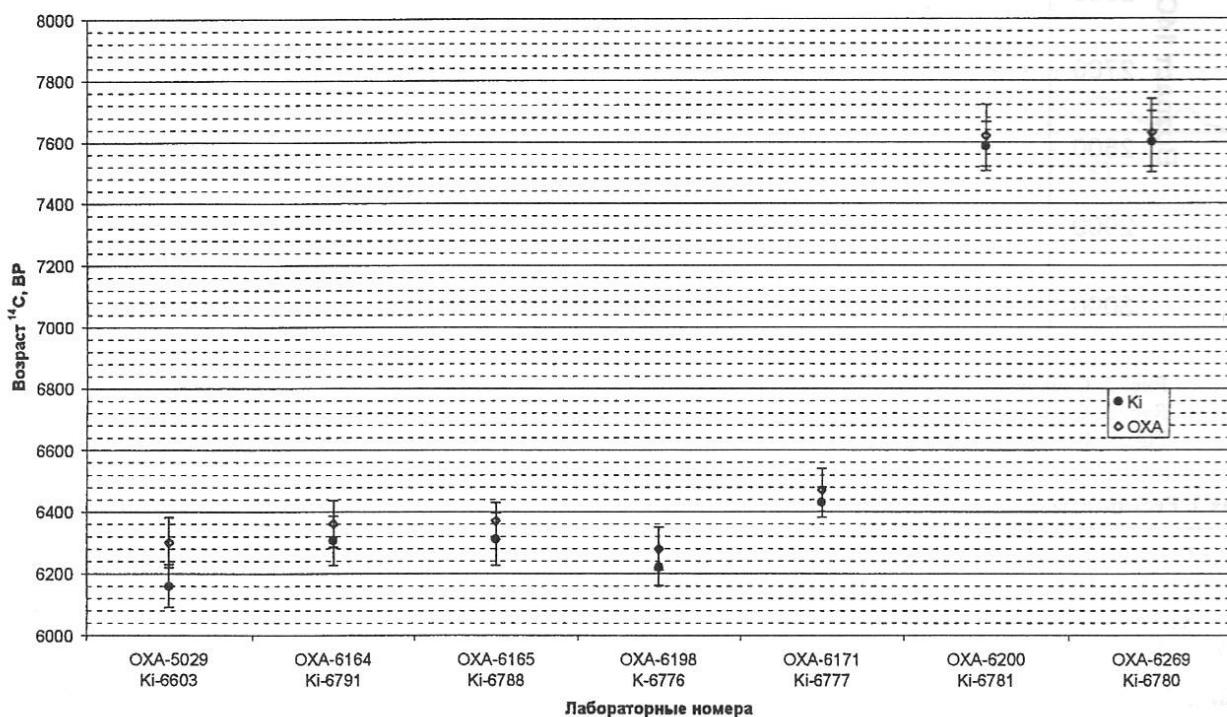


Рис. 6. Сопоставление радиоуглеродных дат
Ryc. 6. Zestawienie dat radiowęglowych
Fig. 6. Confrontation radiocarbon dates

АВТОМАТИЗАЦИЯ КАЛИБРАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ ЭВМ

Для калибровки радиоуглеродных дат существует несколько программ, самые распространенные среди них: Грёнингенская радиоуглеродная калибровочная программа („Cal25”) – разработана Йохансом ван дер Плихтом (Johannes van der Plicht) при Центре изотопных исследований Грёнингенского университета (J. van der Plicht 1993), Оксфордская калибровочная программа („OxCal”) – разработана Кристофером Бронк Рамзеем (Christopher Bronk Ramsey) при Радиоуглеродном отделе Оксфордского университета (R. C. Bronk 1995) и калибровочная программа „CalPal” Бернхарда Венингера (Bernhard Weninger) разработанной в Радиоуглеродной лаборатории Кельнского университета (B. Weninger 1986).

Калибровка радиоуглеродных дат может быть, также, выполнена с помощью Киевской радиоуглеродной калибровочной программы „Ages”, которая была разработана в Радиоуглеродной лаборатории при Государственном научном центре радиогеохимии окружающей среды НАН Украины (С. Назаров, Н. Ковалюх 1999). Программа ра-

ботает на IBM PC совместных компьютерах под управлением операционной системы MS Windows 95. Основными преимуществами программы являются удобства в использовании, многоязыковой интерфейс и возможность экспорта результатов калибровки в самые распространённые графические форматы файлов.

Программа „Ages” была написана на языке C++ и выполнена по всем стандартам Windows 95. Все предоставляемые функции программы доступны через основное меню, а наиболее употребляемые вынесены на панель быстрого доступа.

Для калибровки даты необходимо и достаточно указать её радиоуглеродный возраст в виде $BP \pm \sigma$. При необходимости программа позволяет добавить дополнительную информацию о дате: лабораторный номер, привязку, владельца образца и т.п. При создании списка образцов можно указать его название и автора. Вся введённая информация сохраняется в файл, который при необходимости можно открыть для дальнейшего использования на любом компьютере, где установлена программа „Ages”.

Поскольку калибрационных кривых, на сегодняшний день, существует достаточно большое количество, программа предоставляет возможность выбрать одну из представленных в виде отдельных файлов кривую.

Практически, калибрационная кривая представляется набором точек, которые отдалены одна от другой на 10–20 лет. Для представления ее как непрерывной кривой в программе используется кубическая интерполяция. Форма функции между двумя точками определяется по четырем точкам окружения (C. H. Reinsch, 1967). Подсчет Гауссовского распределения радиоуглеродного возраста выполняется в пределах 3σ .

Таблица 4. Результаты калибрации радиоуглеродных дат

| Лаб. номер | Cal25 | OxCal | CalPal | Ages | |
|------------|---|---|----------|----------|---|
| | | | | dot | intervals |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Ki-7070 | 1σ 2465-2289 1σ 2559-2535 2531-2523 2495-2197 2163-2145 | 1σ 2470-2280 2σ 2560-2520 2500-2190 2170-2140 | 2355±95 | 2388±82 | 1σ 2470-2306 2σ 2572-2515 2500-2271 2257-2227 2223-2204 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Ki-7126 | 1σ 2861-2811 2755-2723 2701-2575 2511-2505 2σ 2877-2555 2539-2495 | 1σ 2860-2810 2760-2720 2700-2570 2510-2500 2σ 2880-2490 | 2700±120 | 2638±65 | 1σ 2862-2808 2777-2773 2758-2720 2704-2573 2514-2501 2σ 2880-2471 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Ki-7127 | 1σ 2835-2817 2663-2647 2625-2487 2485-2471 2σ 2865-2807 2781-2771 2759-2717 2707-2463 | 1σ 2840-2810 2670-2470 2σ 2870-2460 | 2640±130 | 2586±36 | 1σ 2832-2820 2661-2650 2623-2550 2542-2491 2479-2474 2σ 2863-2807 2779-2771 2759-2719 2706-2464 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Ki-7128 | 1σ 2575-2511 2505-2467 2σ 2835-2817 2663-2649 2625-2401 2379-2349 | 1σ 2580-2460 2σ 2840-2810 2670-2400 2380-2340 | 2530±60 | 2542±34 | 1σ 2576-2508 2504-2468 2σ 2828-2823 2658-2652 2622-2607 2602-2458 2419-2406 2358-2356 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Ki-7129 | 1σ 2869-2831 2821-2805 2783-2769 2761-2717 2709-2661 2651-2623 2605-2603 2σ 2881-2617 2613-2577 | 1σ 2870-2600 2σ 2880-2570 | 2730±100 | 2748±127 | 1σ 2876-2621 2608-2599 2587-2585 2σ 2883-2571 2516-2500 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Ki-7124 | 1σ 3019-2977 2971-2945 2939-2885 2σ 3261-3243 3099-2865 2807-2781 2771-2761 2719-2707 | 1σ 3020-2880 2σ 3300-2700 | 2975±75 | 2906±20 | 1σ 3014-2981 2963-2951 2927-2886 2σ 3094-2878 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Ki-7125 | 1σ 3081-3069 3027-2909 2σ 3307-3291 3289-3271 3265-3239 3169-3161 3101-2883 | 1σ 3080-3060 3030-2900 2σ 3310-3230 3110-2880 | 3010±80 | 2967±60 | 1σ 3081-3068 3028-2907 2σ 3260-3241 3099-2884 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------|--|--|----------|---------|--|
| Ki-6571a | 1σ 2619-2609 2597-2591 2583-2487 2485-2471 2σ 2857-2813 2735-2725 2697-2463 | 1σ 2620-2470 2σ 2860-2810 2750-2720 2700-2460 | 2580±80 | 2534±48 | 1σ 2619-2610 2597-2590 2582-2486 2484-2472 2σ 2854-2851 2841-2816 2671-2464 |
| Ki-6572a | 1σ 2617-2613 2597-2591 2σ 2853-2849 2841-2815 2669-2397 2385-2345 | 1σ 2620-2610 2580-2460 2σ 2900-2800 2700-2300 | 2540±70 | 2522±55 | 1σ 2616-2614 2577-2467 2σ 2832-2820 2661-2650 2623-2403 2376-2352 |
| Ki-6719 | 1σ 2573-2515 2501-2455 2447-2433 2423-2403 2373-2371 2363-2353 2σ 2621-2609 2597-2589 2583-2297 | 1σ 2580-2400 2380-2350 2σ 2620-2290 | 2475±85 | 2479±19 | 1σ 2566-2520 2498-2460 2σ 2619-2611 2596-2592 2581-2306 |
| Ki-6722 | 1σ 2577-2455 2445-2435 2421-2403 2363-2353 2σ 2833-2819 2661-2649 2623-2293 | 1σ 2580-2400 2370-2350 2σ 2850-2800 2700-2250 | 2490±90 | 2480±20 | 1σ 2572-2515 2500-2461 2σ 2826-2826 2657-2653 2621-2608 2601-2306 |
| Ki-6723 | 1σ 2657-2653 2621-2607 2601-2467 2σ 2861-2811 2755-2721 2703-2455 2449-2431 2423-2403 2375-2369 2365-2353 | 1σ 2660-2650 2630-2460 2σ 2900-2350 | 2590±100 | 2527±57 | 1σ 2620-2609 2598-2588 2584-2470 2σ 2858-2812 2744-2724 2698-2459 2416-2409 |
| Ki-6724 | 1σ 2557-2537 2527-2525 2495-2401 2379-2349 2σ 2575-2511 2503-2295 | 1σ 2560-2520 2500-2400 2380-2340 2σ 2580-2290 | 2450±90 | 2466±10 | 1σ 2551-2541 2491-2478 2475-2456 2447-2433 2421-2404 2362-2353 2σ 2575-2511 2503-2295 |
| Ki-6730a | 1σ 2471-2331 2323-2309 2σ 2571-2517 2499-2281 2251-2233 2219-2207 | 1σ 2480-2300 2σ 2580-2200 | 2410±80 | 2433±37 | 1σ 2470-2396 2386-2339 2318-2312 2σ 2570-2517 2499-2280 2251-2231 2219-2207 |
| Ki-6731 | 1σ 2617-2613 2579-2465 2σ 2571-2517 2841-2815 2669-2397 2385-2345 | 1σ 2620-2610 2580-2460 2σ 2900-2800 2700-2300 | 2540±70 | 2522±55 | 1σ 2616-2614 2577-2467 2σ 2832-2820 2661-2650 2623-2403 2376-2352 |
| Ki-6733 | 1σ 2555-2539 2495-2399 2381-2347 2σ 2575-2513 2503-2293 | 1σ 2560-2530 2500-2340 2σ 2580-2290 | 2445±85 | 2438±35 | 1σ 2549-2543 2490-2480 2473-2403 2376-2352 2σ 2574-2513 2501-2293 |
| Ki-6734 | 1σ 2471-2331 2323-2309 2σ 2571-2517 2499-2281 2251-2233 2219-2207 | 1σ 2480-2300 2σ 2580-2200 | 2410±80 | 2433±37 | 1σ 2470-2396 2386-2339 2318-2312 2σ 2570-2517 2499-2280 2251-2231 2219-2207 |

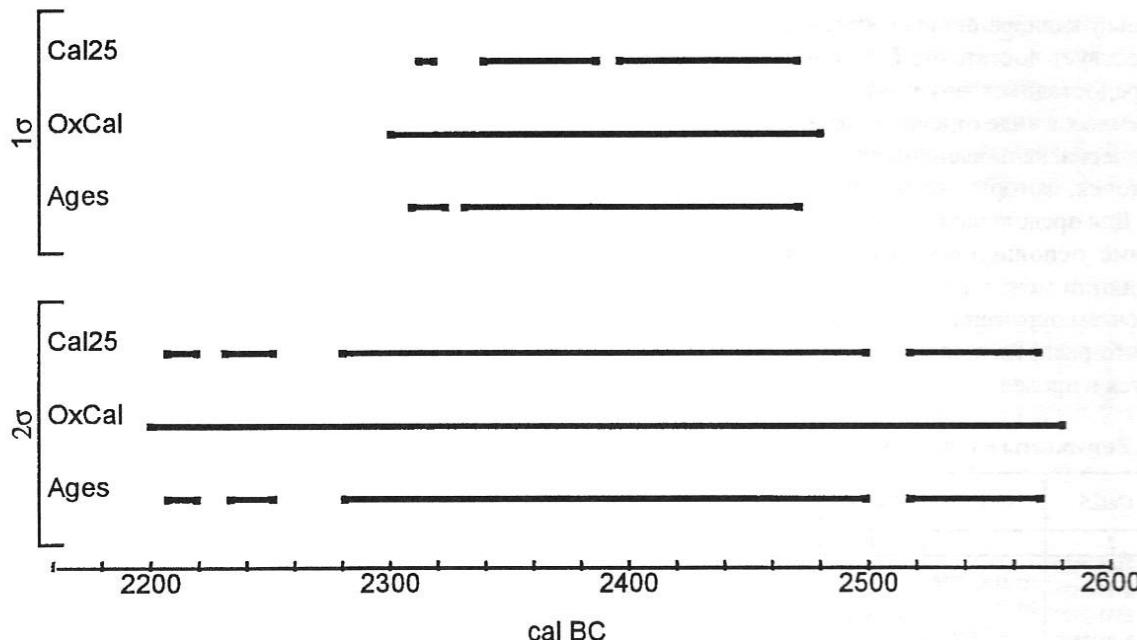


Рис. 7. Графическое сравнение результатов калибрации (Ki-6734)

Ryc. 7. Graficzne porównanie rezultatów kalibracji (Ki-6734)

Fig. 7. Graphic comparision of the calibration results (Ki-6734)

Для сравнения результатов калибрации были использованы четыре программы: „Cal25”, „OxCal”, „CalPal” и „Ages”. Главным параметром сравнения, безусловно есть результаты калибрации. Программы „Cal25” и „OxCal” представляют результаты в интервальном виде, результатом калибрации программы „CalPal” является одиночная дата, программа „Ages” представляет результат как в интервальном виде так и в виде точечной даты. Результаты калибрации приведены в таблице 4.

При калибрации использовалась одна и та же калибрационная кривая – INTCAL98. Отличия в результатах калибрации объясняются точностью вычислений, применяемых в программе и, безусловно, методом учёта ошибок калибрационной кривой и радиоуглеродной даты (J. van der Plicht, W. G. Mook 1987).

Для более наглядного представления результатов, на рисунке 7 представлено графическое сравнение интервальных результатов калибрации.

Сравнение калибрационных программ показывает практически идентичные результаты у программ «Cal25» и «Ages», программа «OxCal», несколько иначе учитывая

погрешности, дает также очень схожие результаты. На практике такими отличиями результатов калибрации можно пренебречь, поскольку их отличия составляют очень маленький процент и не могут существенно повлиять на окончательный результат.

Сравнения результатов калибрации очень важный вопрос при сравнении программ, однако необходимо учитывать перечень дополнительных функций, предоставляемых программами, удобство ввода и вывода данных и т.п. Программа „Cal25” и „CalPal” работают под управление операционной системы MS DOS, поэтому экспорт результатов в другие приложения затруднён. Этого недостатка лишены программы „OxCal” и „Ages” – обе они работают под управление MS Windows и имеют средства экспорта результатов.

В программе „Ages” больше уделено внимания экспорту графических результатов в векторные форматы, что позволяет легко редактировать их в дальнейшем. Удобные функции печати позволяют легко распечатывать как результаты калибрации одной даты, так и таблицы результатов групп дат.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ХРОНОЛОГИИ ЯМНОЙ КУЛЬТУРЫ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

Для хронологического анализа нами использовались радиоуглеродные даты, полученные по ямной культуре степной и лесостепной зон Украины. Полное описание ямных памятников указанных в таблицах 1 и Таблица 2 приведено в работе Д. Я. Телегина (Д. Я. Телегин 1977).

В климато-хронологическом плане ямная культура на территории Украины возникла на рубеже смен атлантического и суббориального периодов, около 3200–

–2900 лет ВС. Тогда тёплый климат атлантического периода сменил более суровый суббореальный. Из датированных нами памятников раннеямной культуры к этому времени принадлежит „Кремневка”, который существовал по изотопным данным 2970–2900 лет ВС. Практически все продатированные памятники относятся к позднеямному времени. В это время (2800–2400 лет ВС) наступает климатический оптимум, который способ-

ствует демографическому взрыву и наибольшему культурному расцвету ямной культуры. На смены холодному и влажному климату раннего суб boreала приходит теплый и умеренно сухой – возникают оптимальные условия для жизни – высокотравье в степи, широколиственные леса в лесостепной зоне. На все это указывают многочисленные радиоуглеродные датировки, которые харак-

теризуют основной этап развития позднеямной культуры в хронологических пределах 2600–2400 лет BC.

По изотопно-хронологическим исследованиям можно сделать вывод, что ямная культура от времени ее зарождения до смены катакомбной и другими культурами на территории Украины существовала около тысячи лет.

ВЫВОДЫ

- Калибрация радиоуглеродных дат – сложный математический процесс учёта природных изменений и погрешностей измерения радиоуглеродного возраста, однако этот процесс необходим для определения реального исторического возраста. Неоднозначный подход к учёту этих факторов объясняет отличие в результатах калибрации различными калибрационными программами.
- Подсчет точечной даты, применяемый в программе не является идеальным и требует дальнейшего изучения.
- Полученные точечные данные пригодны к использованию в хронологических и статических материалах,

однако для действительно корректного определения исторического возраста образца более правильным является использования интервалов, которые отображают все возможные границы нахождения даты.

- Для получения достоверных данных по радиоуглероду наилучшим археологическим материалом являются трубчатые ископаемые кости.
- Практически все приведенные радиоуглеродные даты ямной культуры территории Украины находятся в климатическом оптимуме суб boreала (4200–3900 BP).

ЛИТЕРАТУРА

- Bronk R. C.
1995 *Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: The OxCal Program Radiocarbon* 37(2), 425–430.
- van der Plicht J.
1993 *The Groningen radiocarbon calibration program*, Radiocarbon, vol. 35, No. 1, p. 231–237.
- van der Plicht J., Mook W. G.
1987 *Automatic radiocarbon calibration: illustrative examples*, Palaeohistoria 29, p. 173–182.
- van der Plicht J., Mook W. G., Hasper H.
1987 *Automatic Calibration of Radiocarbon Ages*, Pact 29, p. 81–94.
- Reinsch C. H.
1967 *Smoothing by spline functions: Num Mathematik*, v. 10, p. 177–183.
- Stuiver M., van der Plicht J. (eds.)
1998 *INTCAL98*, Radiocarbon 40(3).
- Weninger B.
1986 *High-precision calibration of archeological radiocarbon dates*. Acta Interdisciplinaria Archaeol IV. Nitra, 11–53.
- Назаров С., Ковалюх Н.
1999 *Киевская радиоуглеродная калибрационная программа*. Археометрия и охрана историко-культурного наследства №3, (в печати).
- Телегин Д. Я.
1977 *Об абсолютном возрасте ямной культуры и некоторые вопросы хронологии энеолита юга Украины*. Москва, „Советская археология”, №2, с. 5–16.

Nikołaj N. Kowaljuch, Sergej W. Nazarow

O kalibracji dat radiowęglowych w badaniach archeologicznych

Streszczenie

W przedstawionym artykule prezentowana jest metoda kalibracji dat radiowęglowych, uwzględniająca obecne problemy zakresów błędów występujących przy kalibracji.

Wprowadza się pojęcie daty punktowej i jednostkowej, dla których przeprowadzona jest charakterystyka porównawcza i wskazane obszary ich wykorzystania.

Duże znaczenie przypisuje się porównaniu programów kalibracyjnych. Uwzględniono tutaj porównanie wyników kalibracji wg różnych programów.

Według stopnia wiarygodności otrzymanych dat radiowęglowych, wykazano, że najbardziej obiecującym materiałem dla datowania są kości, a najmniej drobny węgiel drzewny i muszle mięczaków.

W artykule zamieszczono również spis chronologiczny dat radiowęglowych dla kultury jamowej (kultury grobów jadowych) terytorium Ukrainy.

Nikołaj N. Kovalyukh, Sergej V. Nazarov

Radiocarbon dating calibration in archaeological study

Abstract

Radiocarbon dating calibration methodology is expounded in the given article, the current problems with due regard for errors when calibration are considered.

A concept of dot and single date is introduced, a short comparative characteristic is carried-out, as well as sphere of their application.

A great attention is paid to comparison between different programs, besides, a comparison is given of the calibration results by different programs.

According to authenticity degree of radiocarbon dating being obtained, the fossil bones were found to be the most reliable material for dating, whereas the fine dispersed charcoal and shell-fish material – the less reliable material.

A chronological list of the Ukrainian territory Pit-grave culture radiocarbon dating is expounded in the article as well.