

# Новая калибровочная шкала радиоуглеродных дат *IntCal20* и ее возможности

[Ярослав Кузьмин](#)

В августе 2020 г. стала доступной новая калибровочная кривая *IntCal20*, составленная на основе тщательного анализа большого фактического материала. Она позволяет более точно, чем раньше (шкала *IntCal13*), оценивать соотношение радиоуглеродного и календарного возрастов. Шкала *IntCal20* предоставляет новые возможности для решения ряда ключевых вопросов антропологии и археологии – в частности, о возможном сосуществовании самых поздних неандертальцев и самых ранних анатомически современных людей (*Homo sapiens*) в Европе.

Проблема соотношения радиоуглеродного ( $^{14}\text{C}$ ) и календарного (т.е. астрономического) возрастов известна более 50 лет (см. Кузьмин, 2017. С. 160–166). Уже в начальный период применения  $^{14}\text{C}$  метода в 1950-х – 1960-х гг. было установлено, что проводить прямое сравнение  $^{14}\text{C}$  и календарного возрастов путем простого вычитания из  $^{14}\text{C}$  даты 1950 лет (поскольку в качестве начала  $^{14}\text{C}$  шкалы основатель метода У.Ф. Либби принял 1950 г. н.э.) неверно, поскольку соотношение этих двух хронологических шкал не является линейным. Как ответ на поставленный вопрос, в 1970-х гг. появились первые графики связи  $^{14}\text{C}$  и календарного возрастов (Clark, 1975).

Исследования продолжились в 1980-е гг., и именно тогда стало ясно, что для решения проблемы калибровки  $^{14}\text{C}$  дат нужны усилия ученых из разных стран. Первым итогом сотрудничества был калибровочный выпуск журнала *Radiocarbon* (1986 г.), представлявший собой книгу размера более формата А4, в которой были представлены таблицы соотношения двух возрастных шкал. В 1990-х гг. вместе с продолжением исследований (калибровочный выпуск журнала *Radiocarbon*, 1993 г.) появились программные продукты для персональных компьютеров, позволяющие проводить калибровку  $^{14}\text{C}$  дат уже не в ручном режиме. В середине 1990-х гг. сложилась рабочая группа **IntCal (International Calibration)**, существующая и поныне. Ее труды были опубликованы в виде калибровочных выпусков журнала *Radiocarbon* в 1998, 2004, 2009 и 2013 гг. В настоящее время коллектив IntCal Working Group возглавляет профессор Королевского университета Белфаста (Queen's University of Belfast) (Великобритания) Паула Раймер (Paula Reimer).

В августе 2020 г. стал доступен базирующийся на принципиально новых данных калибровочный выпуск *IntCal20* (Reimer et al., 2020). Для широкой научной общественности, в первую очередь антропологов и археологов, ниже изложены отличия *IntCal20* от предыдущих калибровочных кривых и новые возможности *IntCal20*.

В *IntCal20* использовано несколько источников соотношения  $^{14}\text{C}$  и календарных дат: 1) 220 непрерывных (“абсолютных”) дендрошкал, являющихся самым надежным видом информации для выявления соотношения  $^{14}\text{C}$  и календарного возрастов; 2) “плавающие” дендрошкалы; 3) результаты  $^{14}\text{C}$  датирования остатков наземных растений из озерных отложений с годичной слоистостью; 4) определения  $^{14}\text{C}$  возраста раковин фораминифер из морских осадков с годичной слоистостью; 5) данные по пещерным натечным образованиям (спелеотемам – сталактитам и сталагмитам); 6) результаты  $^{14}\text{C}$  датирования кораллов, календарный возраст которых определен с помощью уран-ториевого метода (см. Кузьмин, 2017. С. 188–193). Главное отличие *IntCal20* от ранее широко использованной кривой *IntCal13* состоит в том, что для времени старше 30 тыс. календарных лет назад (кал. л.н.) значительно уточнено соотношение  $^{14}\text{C}$  и календарных возрастов. Итак, какие “прорывы” удалось совершить IntCal Working Group (см. Reimer et al., 2020) ?

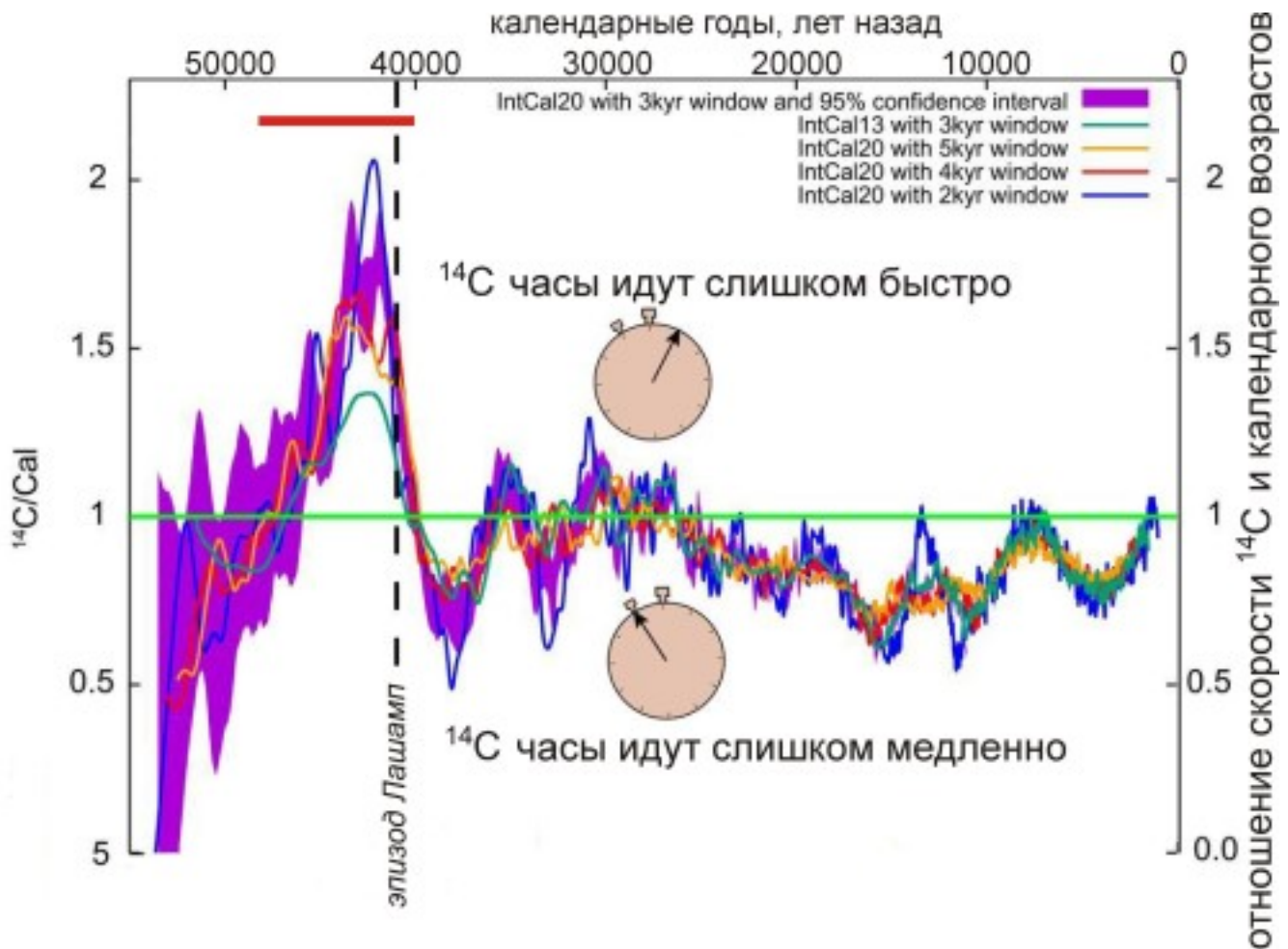


Рис. 1. График соотношения  $^{14}\text{C}$  и календарных возрастов по данным IntCal20. Красная сплошная линия отмечает отрезок с наибольшими расхождениями (40–48 тыс. кал. л.н.) (Bard et al., 2020, с изменениями).

**Во-первых**, калибровка на основе непрерывных дендрошквал в *IntCal20* доведена до 13 910 кал. л.н.

**Во-вторых**, в *IntCal20* использованы результаты  $^{14}\text{C}$  датирования остатков наземных растений из отложений с годичной слоистостью озера Сугецу (Sugetsu) в Японии, что позволило определить соотношение  $^{14}\text{C}$  и календарных возрастов вплоть до 50 тыс. кал. л.н. Также решена проблема коррекции на “эффект резервуара” (см. ниже), поскольку датировались растения, потребляющие углерод непосредственно из атмосферы. Эти данные, опубликованные в 2012 г. и дополненные впоследствии, впервые внесены в калибровочную кривую.

**В-третьих**, в *IntCal20* включены данные по спелеотемам пещеры Хулу (Hulu) в Китае и двух подводных пещер на Багамских островах. Это дало возможность провести независимый контроль результатов измерений в озере Сугецу, поскольку спелеотемы датированы уран-ториевым методом.

**В-четвертых**, в *IntCal20* более точно, чем в *IntCal13*, определены величины поправок на “эффект резервуара” для морских отложений Мирового океана, что значительно повысило точность в использовании данных из бассейна Карьяко (Cariaco) в Карибском море. В результате калибровочная кривая продлена до 55 тыс. кал. л.н. с высокой точностью, недоступной ранее.

**В-пятых**, в *IntCal20* включены резкие колебания содержания  $^{14}\text{C}$  в атмосфере в 774–775 г. н.э. (т.н. “событие Мияке”) и, возможно, в 993 г. н.э. Эти легко узнаваемые события можно установить при датировании древесных колец деревьев с шагом в один год, как это сделано для крепости Пор-Бажин в Туве (см. Kuitens et al., 2020).

Для иллюстрации того, насколько могут измениться выводы ученых при использовании *IntCal20*, можно привести недавнюю публикацию, в которой проанализировано соотношение календарных возрастов самых поздних неандертальцев и самых ранних анатомически современных людей (*Homo sapiens*) в Европе (Bard et al., 2020). На кривой *IntCal20* четко видно, что наибольшие разночтения между  $^{14}\text{C}$  и календарными датами имеют место в интервале 40–48 тыс. кал. л.н. (рис. 1). В это время  $^{14}\text{C}$  время “шло” почти в 1.5–2 раза быстрее, чем это можно ожидать при равномерном поступлении изотопа  $^{14}\text{C}$  в атмосферу, как это предполагалось У.Ф. Либби на заре развития  $^{14}\text{C}$  метода в 1940-х гг. Причиной этого, вероятнее всего, были изменения магнитного поля Земли в сторону уменьшения интенсивности; они практически совпадают с палеомагнитным

эпизодом Лашамп, что привело к увеличению интенсивности образования изотопа  $^{14}\text{C}$  в верхних слоях атмосферы и его попаданию в наземные экосистемы. Таким образом, около 40–48 тыс. кал. л.н. значения  $^{14}\text{C}$  возраста “завышены” (т.е. более древние) по отношению к календарным датам.

Этот вывод имеет принципиальное значение для определения того, когда в Европе могли сосуществовать неандертальцы и *Homo sapiens*. Ранее на основе кривой *IntCal13* было определено, что совместное существование этих видов гоминид могло иметь место в течение около 10 тыс. лет – 42.5–32.8 тыс. кал. л.н. (см. Kuzmin, Keates, 2014). С появлением *IntCal20* можно уточнить этот вывод – одновременное проживание неандертальцев и *Homo sapiens* в Европе, вероятно, было более коротким – около  $4000 \pm 700$  лет (рис. 2).

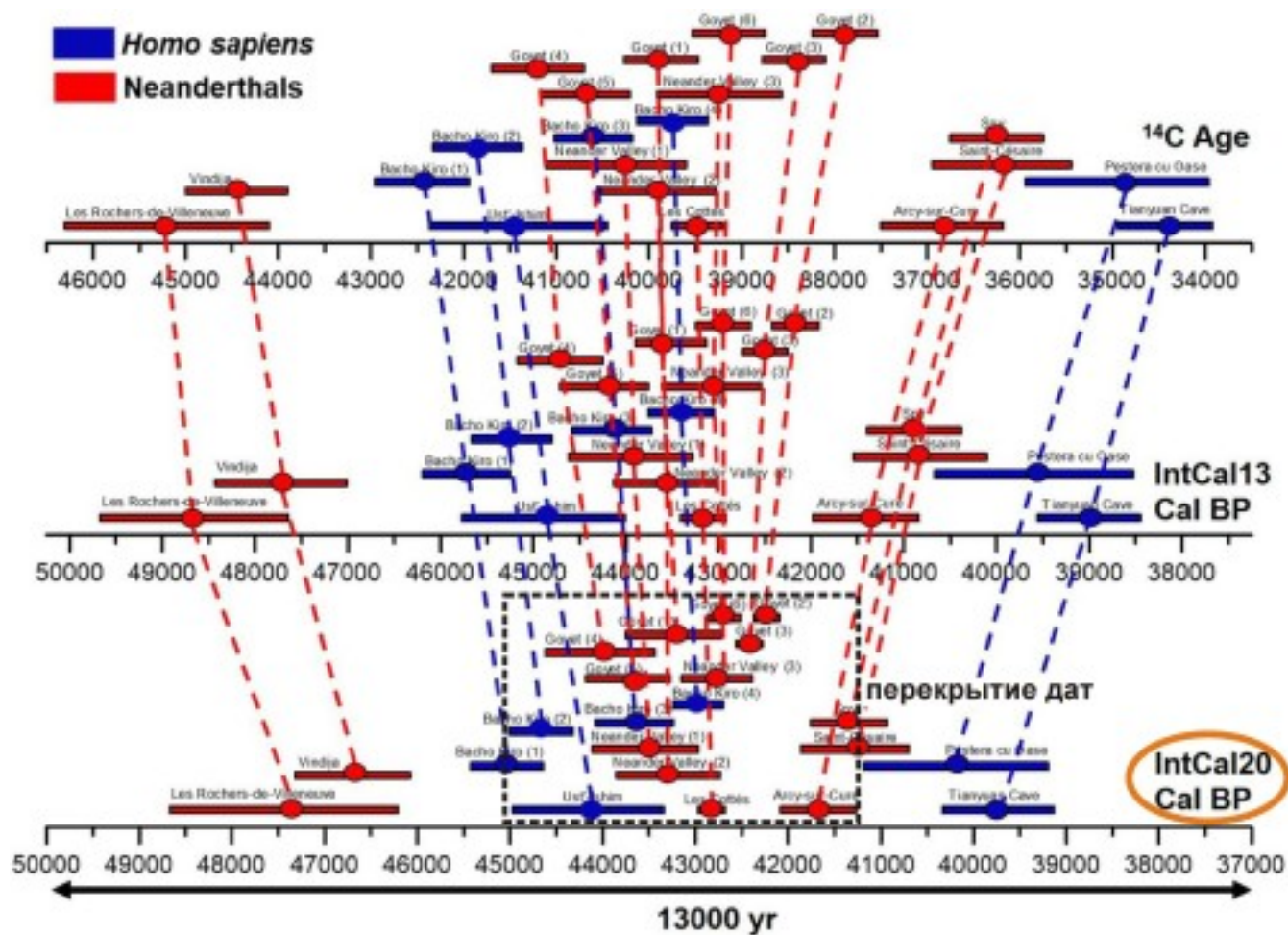


Рис. 2. Сравнение результатов калибровки  $^{14}\text{C}$  дат для неандертальцев и *Homo sapiens* Европы по данным *IntCal13* и *IntCal20*; область перекрытия по *IntCal20* отмечена прямоугольником (Bard et al., 2020, с изменениями).

Рабочая группа *IntCal Working Group* продолжает исследования. В свободном доступе появились компьютерные программы *Calib 8.1* и *Calib 8.2* (<http://calib.org/calib>), где использованы данные *IntCal20*. Всем, кто использует радиоуглеродный метод — особенно для второй половины позднего плейстоцена (55–12 тыс. кал. л.н.), а также для конца среднего палеолита и для позднего палеолита — теперь необходимо провести новую калибровку имеющихся данных.

## Литература

Кузьмин Я.В. *Геоархеология: естественнонаучные методы в археологических исследованиях*. – Томск: Издательский Дом ТГУ, 2017. – 395 с. (в свободном доступе; <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000582914>).

Bard E., Heaton T.J., Talamo S., Kromer B., Reimer R.W., Reimer P.J. Extended dilation of the radiocarbon time scale between 40,000 and 48,000 y BP and the overlap between Neanderthals and *Homo sapiens* // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. – 2020. – Vol. 117. – № 35. – P. 21005–21007; doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.2012307117> (в свободном доступе).

Clark R. A calibration curve for radiocarbon dates // *Antiquity*. – 1975. – Vol. 49. – № 196. – P. 251–266.

Kuitens M., Panin A., Scifo A., Arzhantseva I., Kononov Y., Doeve P., Neocleous A., Dee M. Radiocarbon-based approach capable of subannual precision resolves the origins of the site of Por-Bajin // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. – 2020. – Vol. 117. – № 25. – P. 14038–14041; doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1921301117> (в свободном доступе).

Kuzmin Y.V., Keates S.G. Direct radiocarbon dating of Late Pleistocene hominids in Eurasia: current status, problems, and perspectives // *Radiocarbon*. – 2014. – Vol. 56. – № 2. – P. 753–766.

Reimer P.J. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration Curve (0–55 cal kBP) // *Radiocarbon*. – 2020. – Vol. 62. – № 4 (in press); doi: 10.1017/RDC.2020.41 (в свободном доступе).