

Радиоуглеродный анализ

Естественные науки в помощь гуманитарным

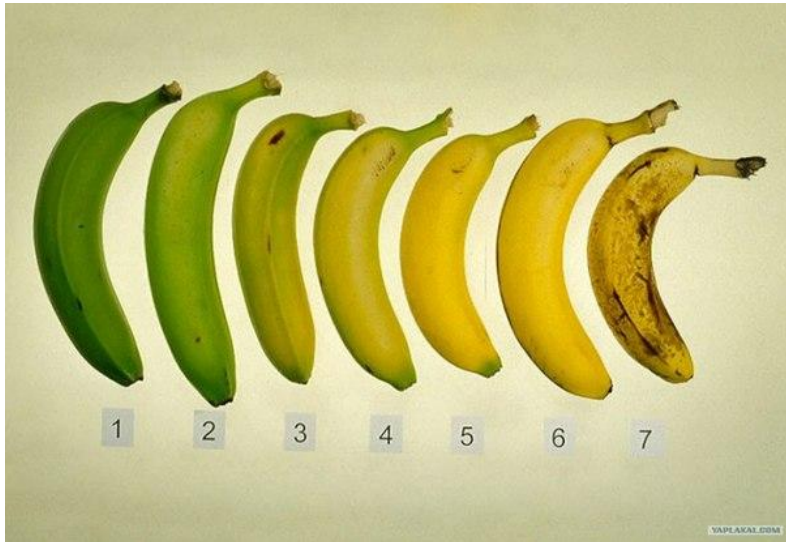
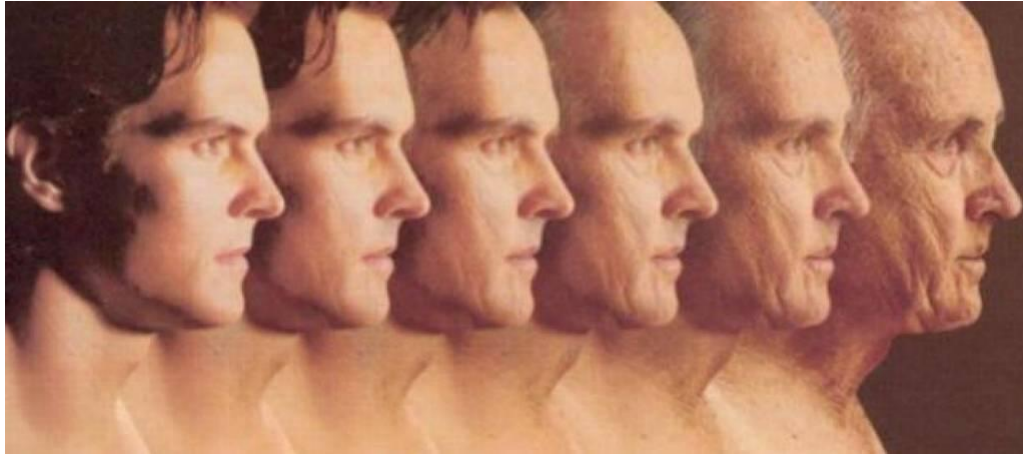
В чем задача метода?



Определить возраст исторического памятника

Сколько времени прошло с тех *событий*?

Аналогичные задачи из повседневности



Какой нужен процесс?

-Достаточно медленный

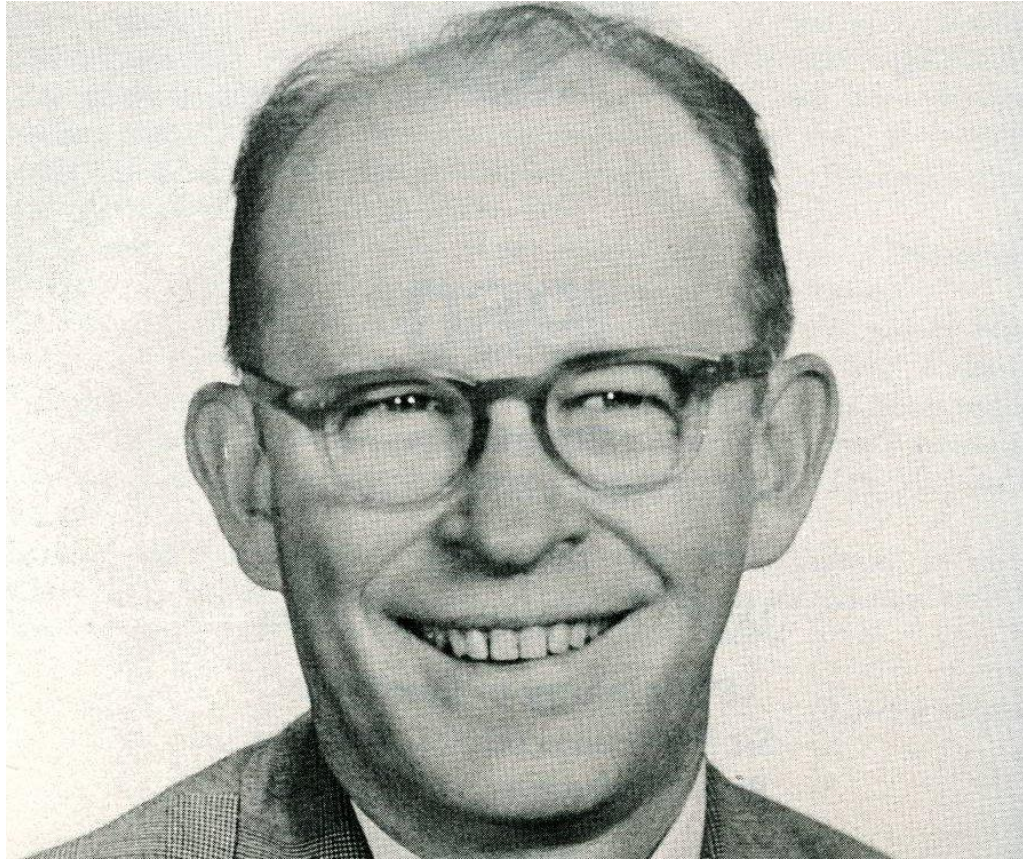
-Процесс должен начинаться синхронно с “моментом” существования памятника

-Результаты процесса могут быть измерены

-Не должен зависеть от последующих исторических обстоятельств

-Приемлемая погрешность

Автор методики



Willard Frank Libby (17.12.1908 – 08.09.1980).

Нобелевская премия по химии (1960)

Биологические, химические и физические основы метода

Биологические, химические и физические основы метода

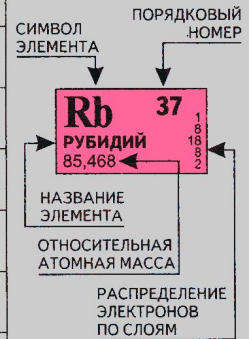
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

www.calc.ru



Д.И. Менделеев
1834–1907

Периоды	Ряды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																Энергетический уровень			
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII					
		а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	б					
1	1	H водород 1,008																He гелий 4,003	к		
2	2	Li литий 6,941	Be бериллий 9,0122	B бор 10,811	C углерод 12,011	N азот 14,007	O кислород 15,999	F фтор 18,998										Ne неон 20,179	жг		
3	3	Na натрий 22,99	Mg магний 24,312	Al алюминий 26,982	Si кремний 28,086	P фосфор 30,974	S сера 32,064	Cl хлор 35,453										Ar аргон 39,948	жг-м		
4	4	K калий 39,102	Ca кальций 40,08	Sc скандий 44,956	Ti титан 47,887	V ванадий 50,941	Cr хром 51,996	Mn марганец 54,938	Fe железо 55,849	Co кобальт 58,933	Ni никель 58,7									жг-ж	
	5	Cu медь 63,546	Zn цинк 65,37	Ga галлий 69,72	Ge германий 72,59	As мышьяк 74,922	Se селен 78,96	Br бром 79,904											Kr криптон 83,8	жг-ж	
5	6	Rb рубидий 85,468	Sr стронций 87,62	Y иттрий 88,906	Zr цирконий 91,22	Nb ниобий 92,906	Mo молибден 95,94	Tc технеций [99]	Ru рутений 101,07	Rh родий 102,906	Pd палладий 106,4									жг-ж-ж	
	7	Ag серебро 107,868	Cd кадмий 112,41	In индий 114,82	Sn олово 118,69	Sb сурьма 121,75	Te теллур 127,6	I йод 126,905											Xe ксенон 131,3	жг-ж-ж	
6	8	Cs цезий 132,905	Ba барий 137,34	57–71 лантаноиды			Hf гафний 178,49	Ta тантал 180,948	W вольфрам 183,85	Re рений 186,207	Os осмий 190,2	Ir иридий 192,22	Pt платина 195,09								жг-ж-ж-ж
	9	Au золото 196,967	Hg ртуть 200,59	Tl таллий 204,37	Pb свинец 207,19	Bi висмут 208,98	Po полоний [210]	At астат [210]	85										Rn радон [222]	жг-ж-ж-ж-ж	
7	10	Fr франций [223]	Ra радий [226]	89–103 актиноиды			Rf резерфордий [261]	Db дубний [262]	Sg сигборгий [263]	Bh борий [262]	Hn ханний [265]	Mt мейтнерий [266]	110								жг-ж-ж-ж-ж-ж
ВЫСШИЕ ОКСИДЫ		R ₂ O		RO		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₅		RO ₃		R ₂ O ₇		RO ₄					
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ						RH ₄		RH ₃		H ₂ R		HR									



- s-элементы
- p-элементы
- d-элементы
- f-элементы

Л А Н Т А Н О И Д Ы

57 La лантан 138,906	58 Ce церий 140,12	59 Pr празеодим 140,908	60 Nd неодим 144,24	61 Pm прометий [145]	62 Sm самарий 150,4	63 Eu европий 151,96	64 Gd гадолиний 157,25	65 Tb тербий 158,926	66 Dy диспрозий 162,5	67 Ho гольмий 164,93	68 Er эрбий 167,26	69 Tm тулий 168,934	70 Yb иттербий 173,04	71 Lu лютеций 174,97
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

А К Т И Н О И Д Ы

89 Ac актиний [227]	90 Th торий 232,038	91 Pa протактиний [231]	92 U уран 238,29	93 Np нептуний [237]	94 Pu плутоний [244]	95 Am амерций [243]	96 Cm кюрий [247]	97 Bk берклий [247]	98 Cf калфорний [251]	99 Es эйзенштейний [254]	100 Fm фермий [257]	101 Md менделеев [258]	102 No нобелий [259]	103 Lr лоуренсий [260]
----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

Биологические, химические и физические основы метода

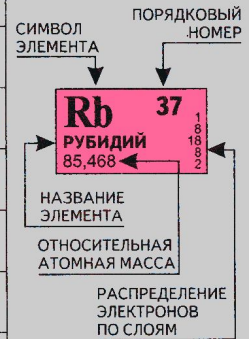
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

www.calc.ru



Д.И. Менделеев
1834–1907

Периоды	Ряды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																Энергетический уровень	
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII			
		а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	б			
1	1	H водород 1,008																He гелий 4,003	2
2	2	Li литий 6,941	Be бериллий 9,0122	B бор 10,811	C углерод 12,011	N азот 14,007	O кислород 15,999	F фтор 18,998										Ne неон 20,179	10
3	3	Na натрий 22,99	Mg магний 24,312	Al алюминий 26,982	Si кремний 28,086	P фосфор 30,974	S сера 32,064	Cl хлор 35,453										Ar аргон 39,948	18
4	4	K калий 39,102	Ca кальций 40,08	Sc скандий 44,956	Ti титан 47,887	V ванадий 50,941	Cr хром 51,996	Mn марганец 54,938	Fe железо 55,849	Co кобальт 58,933	Ni никель 58,7								
	5	Cu медь 63,546	Zn цинк 65,37	Ga галлий 69,72	Ge германий 72,59	As мышьяк 74,922	Se селен 78,96	Br бром 79,904											Kr криптон 83,8
5	6	Rb рубидий 85,468	Sr стронций 87,62	Y иттрий 88,906	Zr цирконий 91,22	Nb ниобий 92,906	Mo молибден 95,94	Tc технеций [99]	Ru рутений 101,07	Rh родий 102,906	Pd палладий 106,4								
	7	Ag серебро 107,868	Cd кадмий 112,41	In индий 114,82	Sn олово 118,69	Sb сурьма 121,75	Te теллур 127,6	I йод 126,905											Xe ксенон 131,3
6	8	Cs цезий 132,905	Ba барий 137,34	57–71 лантаноиды			Hf гафний 178,49	Ta тантал 180,948	W вольфрам 183,85	Re рений 186,207	Os осмий 190,2	Ir иридий 192,22	Pt платина 195,09						
	9	Au золото 196,967	Hg ртуть 200,59	Tl таллий 204,37	Pb свинец 207,19	Bi висмут 208,98	Po полоний [210]	At астат [210]	Rn радон [222]										
7	10	Fr франций [223]	Ra радий [226]	89–103 актиноиды			Rf резерфордий [261]	Db дубний [262]	Sg сигборгий [263]	Bh борий [262]	Hn ханний [265]	Mt мейтнерий [266]	110						
ВЫСШИЕ ОКСИДЫ		R ₂ O	RO	R ₂ O ₃	RO ₂	R ₂ O ₅	RO ₃	R ₂ O ₇	RO ₄										
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ					RH ₄	RH ₃	H ₂ R	HR											



- s-элементы
- p-элементы
- d-элементы
- f-элементы

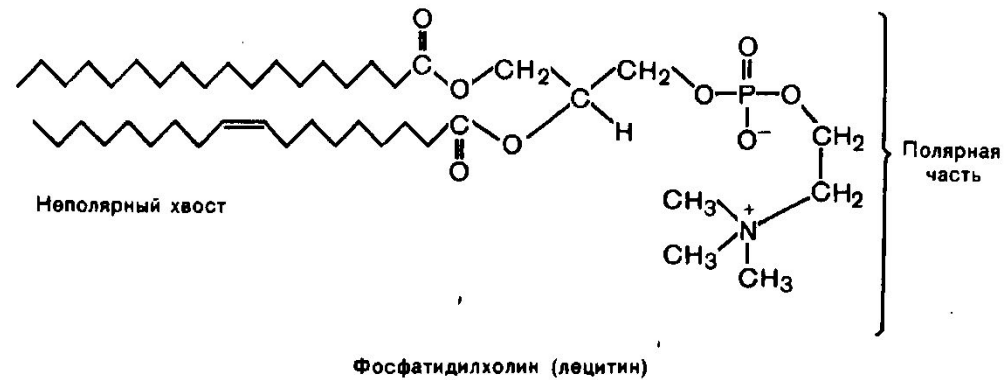
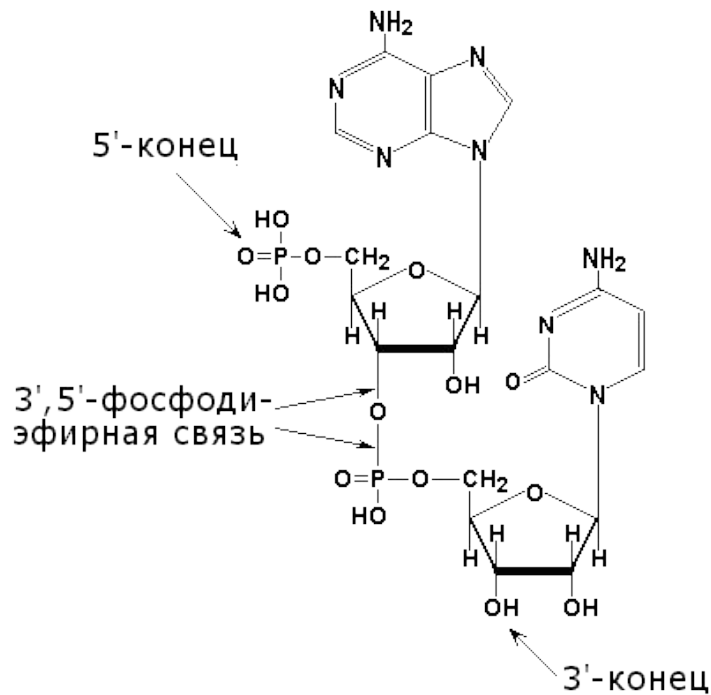
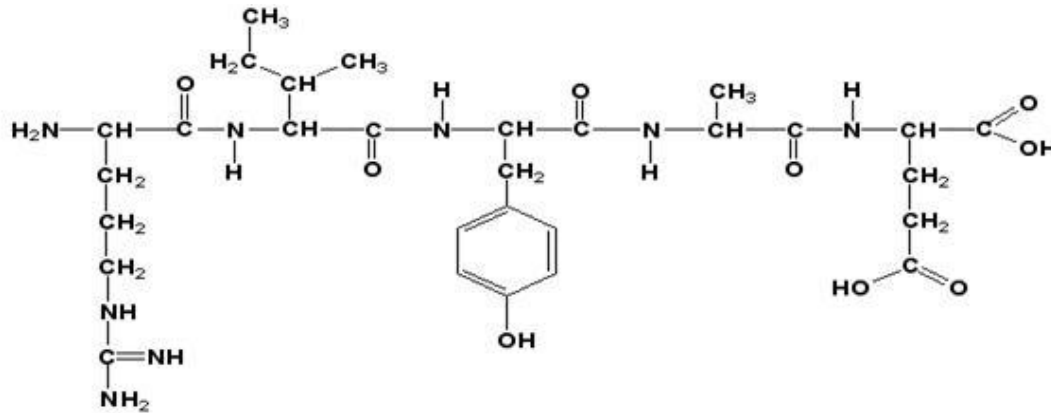
Л А Н Т А Н О И Д Ы

57 La лантан 138,906	58 Ce церий 140,12	59 Pr празеодим 140,908	60 Nd неодим 144,24	61 Pm прометий [145]	62 Sm самарий 150,4	63 Eu европий 151,96	64 Gd гадолиний 157,25	65 Tb тербий 158,926	66 Dy диспрозий 162,5	67 Ho гольмий 164,93	68 Er эрбий 167,26	69 Tm тулий 168,934	70 Yb иттербий 173,04	71 Lu лютеций 174,97
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

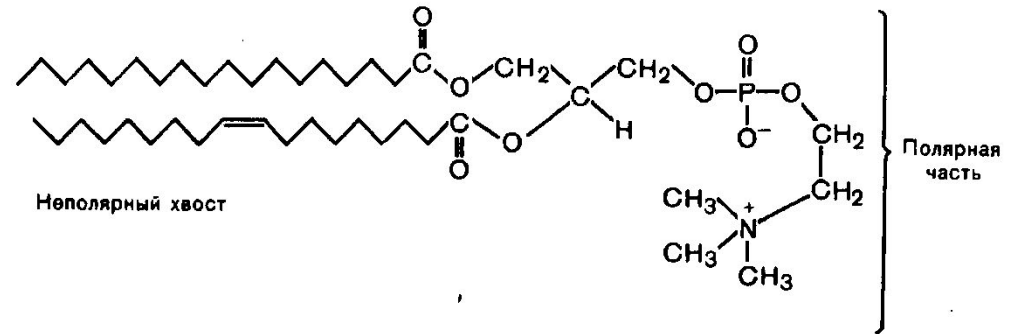
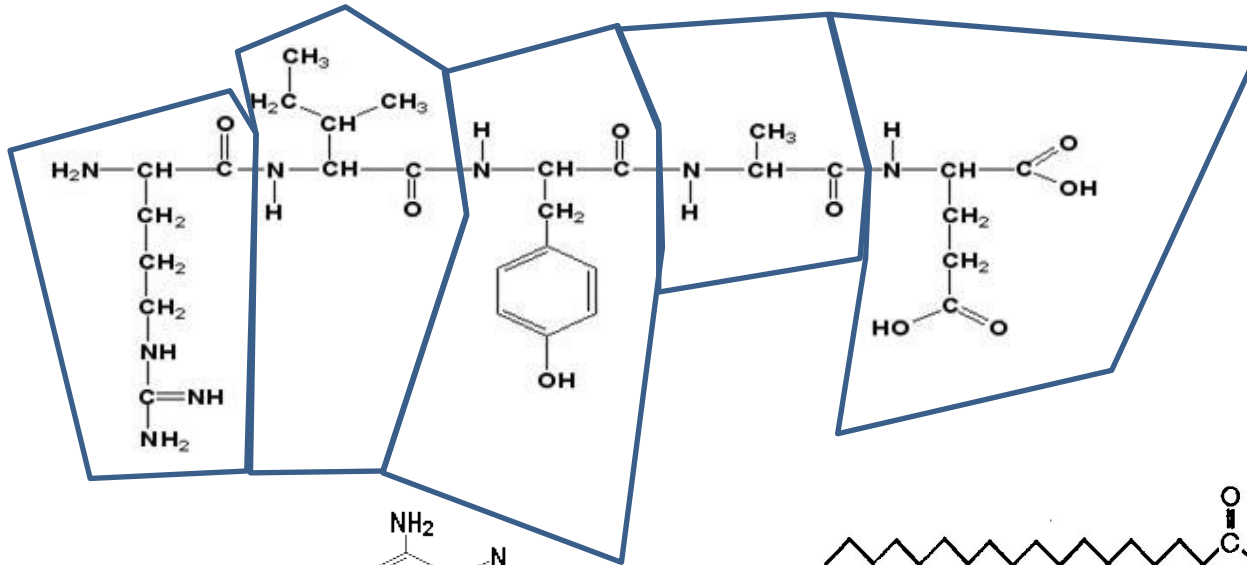
А К Т И Н О И Д Ы

89 Ac актиний [227]	90 Th торий 232,038	91 Pa протактиний [231]	92 U уран 238,29	93 Np нептуний [237]	94 Pu плутоний [244]	95 Am амерций [243]	96 Cm кюрий [247]	97 Bk берклий [247]	98 Cf калфорний [251]	99 Es эйзенштейний [254]	100 Fm фермий [257]	101 Md менделеевий [258]	102 No нобелий [259]	103 Lr лоуренсий [260]
----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

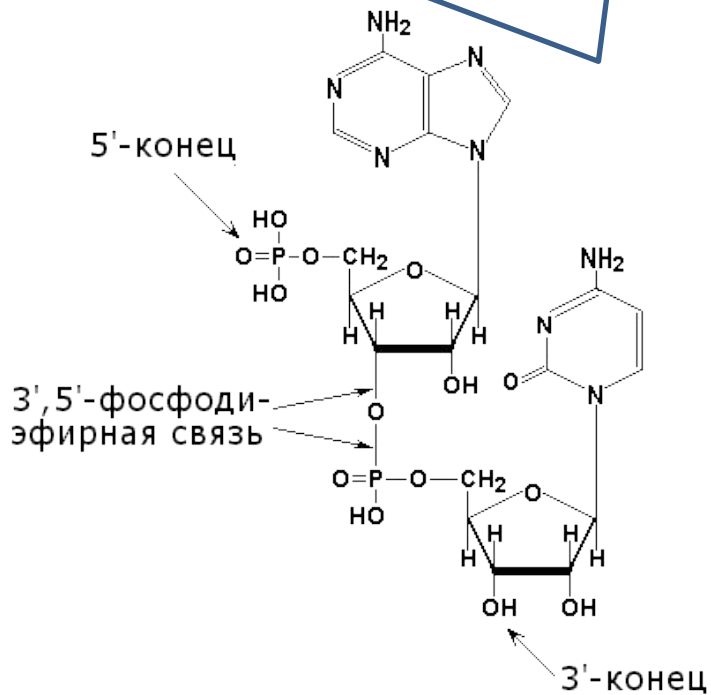
Углерод – основа жизни на Земле



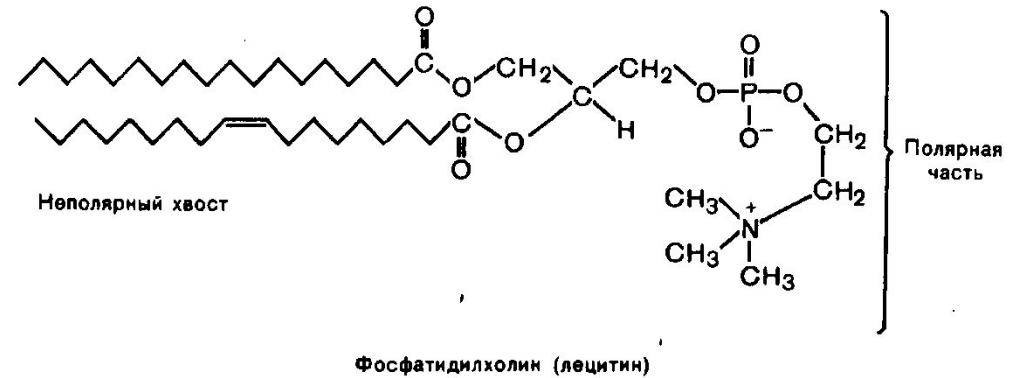
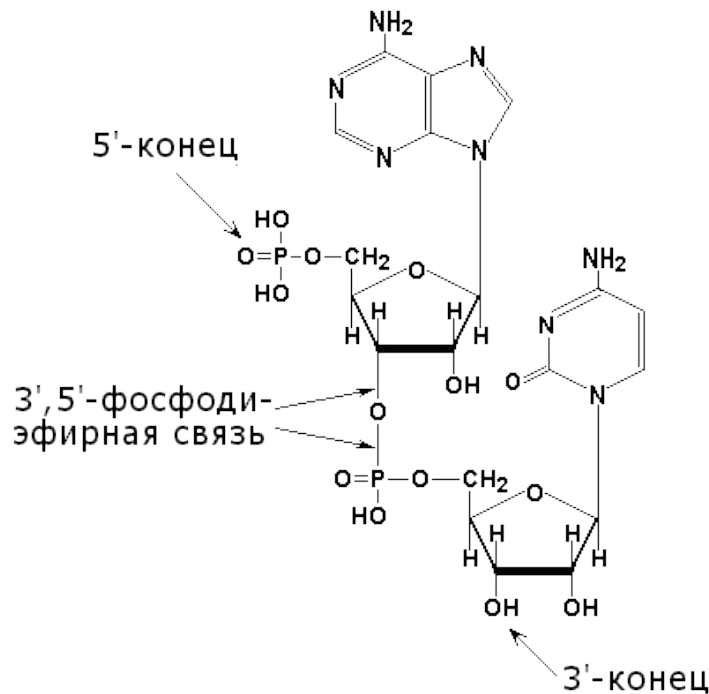
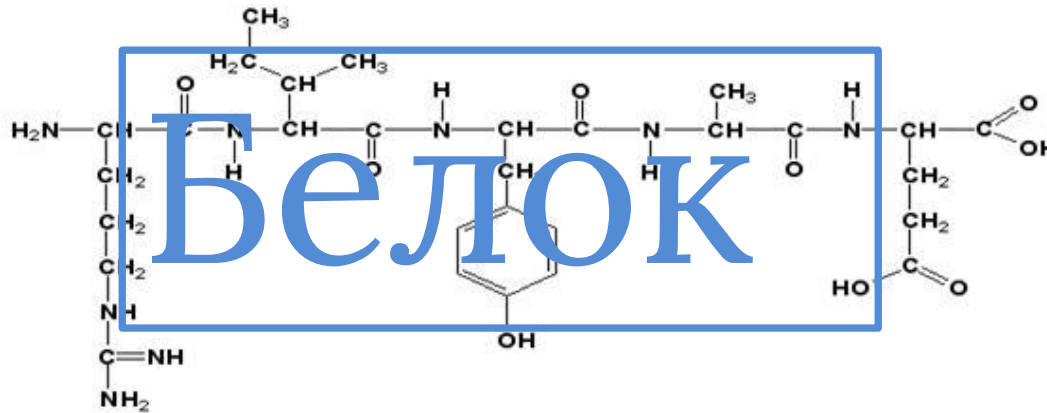
Углерод – основа жизни на Земле



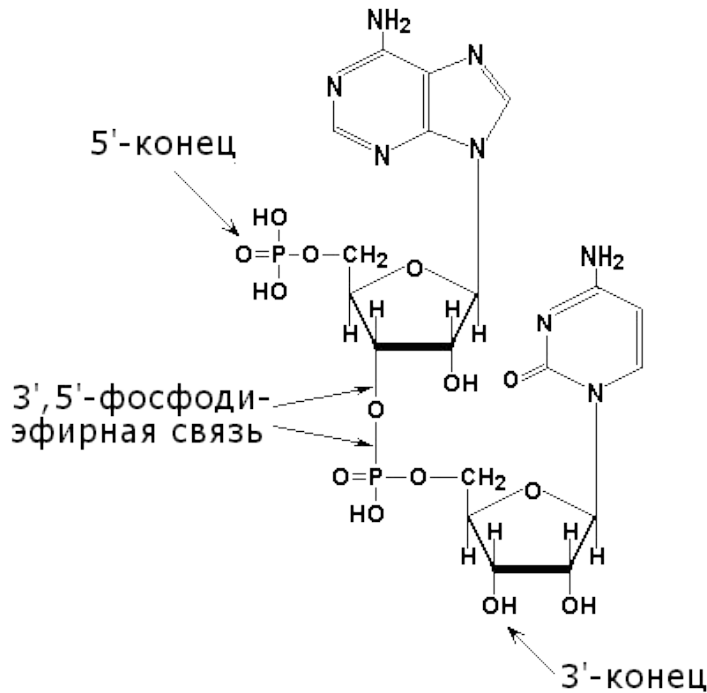
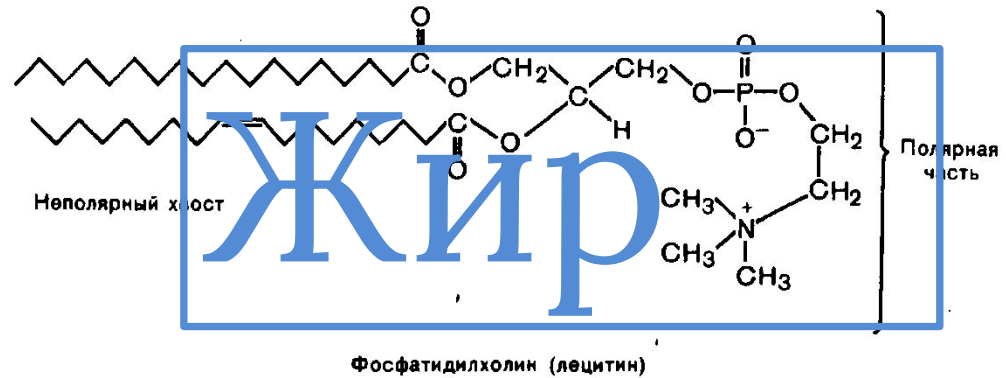
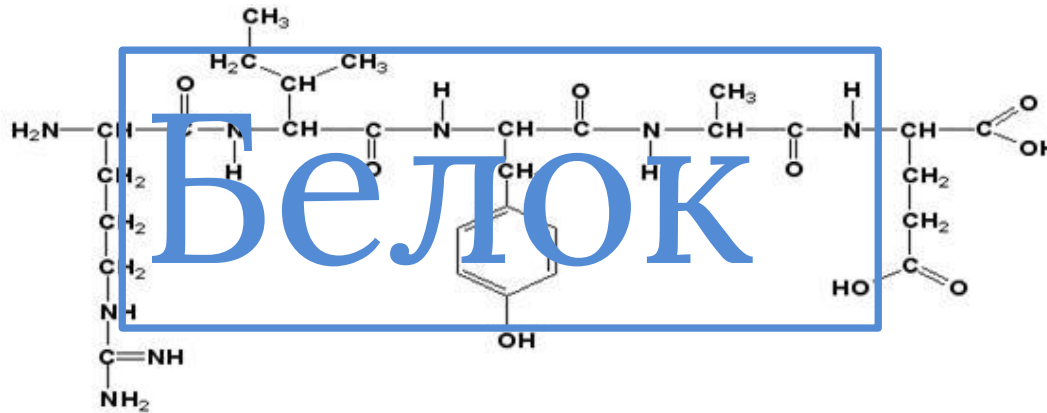
Фосфатидилхолин (лецитин)



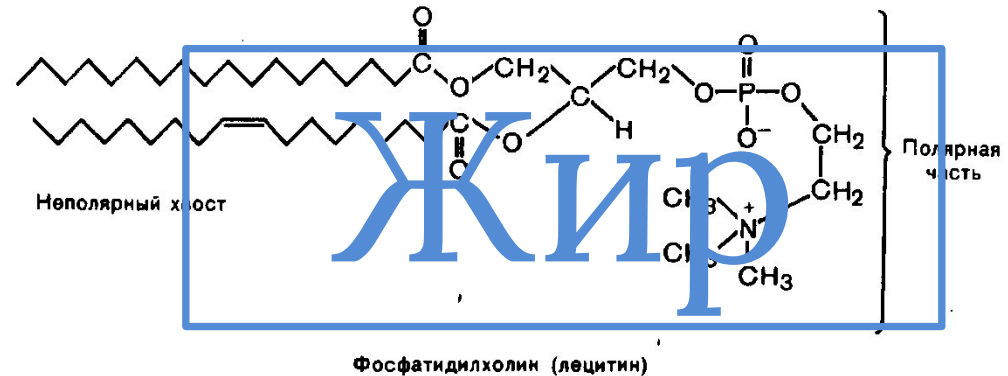
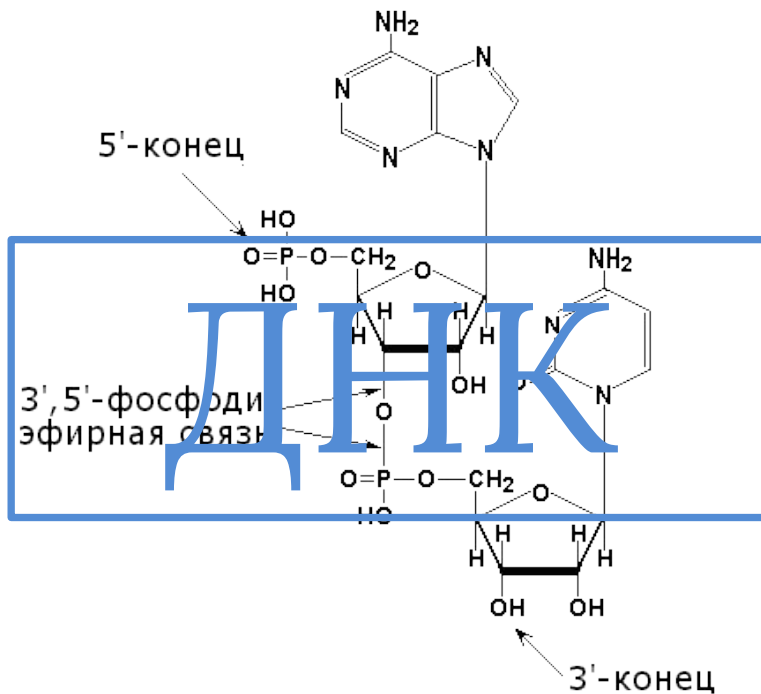
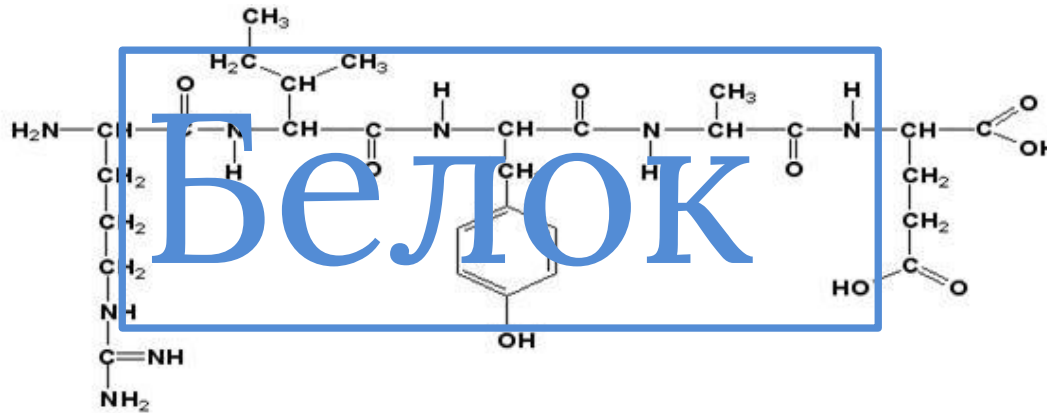
Углерод – основа жизни на Земле



Углерод – основа жизни на Земле



Углерод – основа жизни на Земле



Круговорот углерода



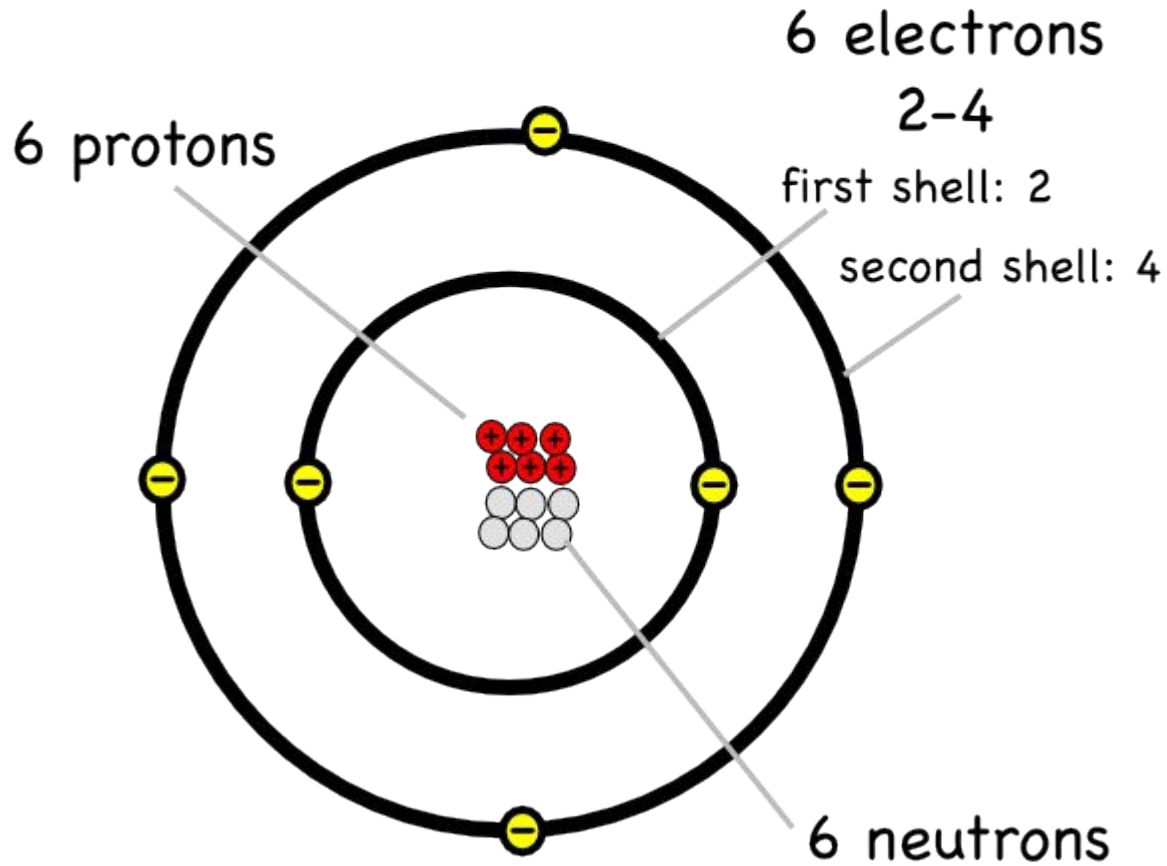
Круговорот углерода



Атом углерода

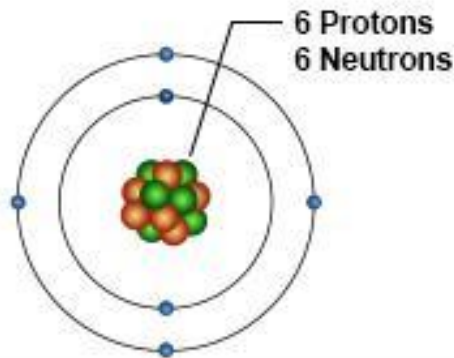
12 C

6 protons (+)
6 electrons (-)
6 neutrons
electron configuration: 2-4

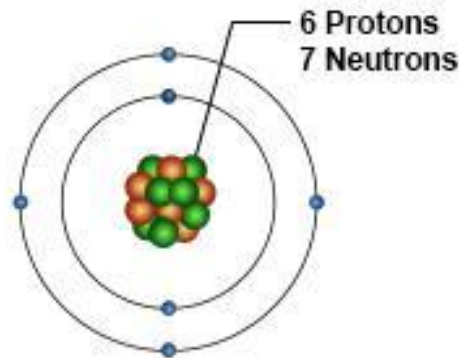


Изотопы углерода

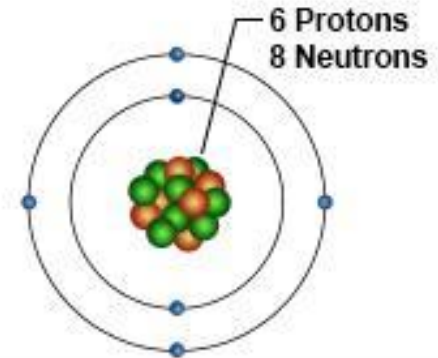
NATURAL ISOTOPES OF CARBON



Carbon-12
(6P + 6N)
Atomic Weight = 12
Isotope Mass: 12 u
Abundance: 98.89%

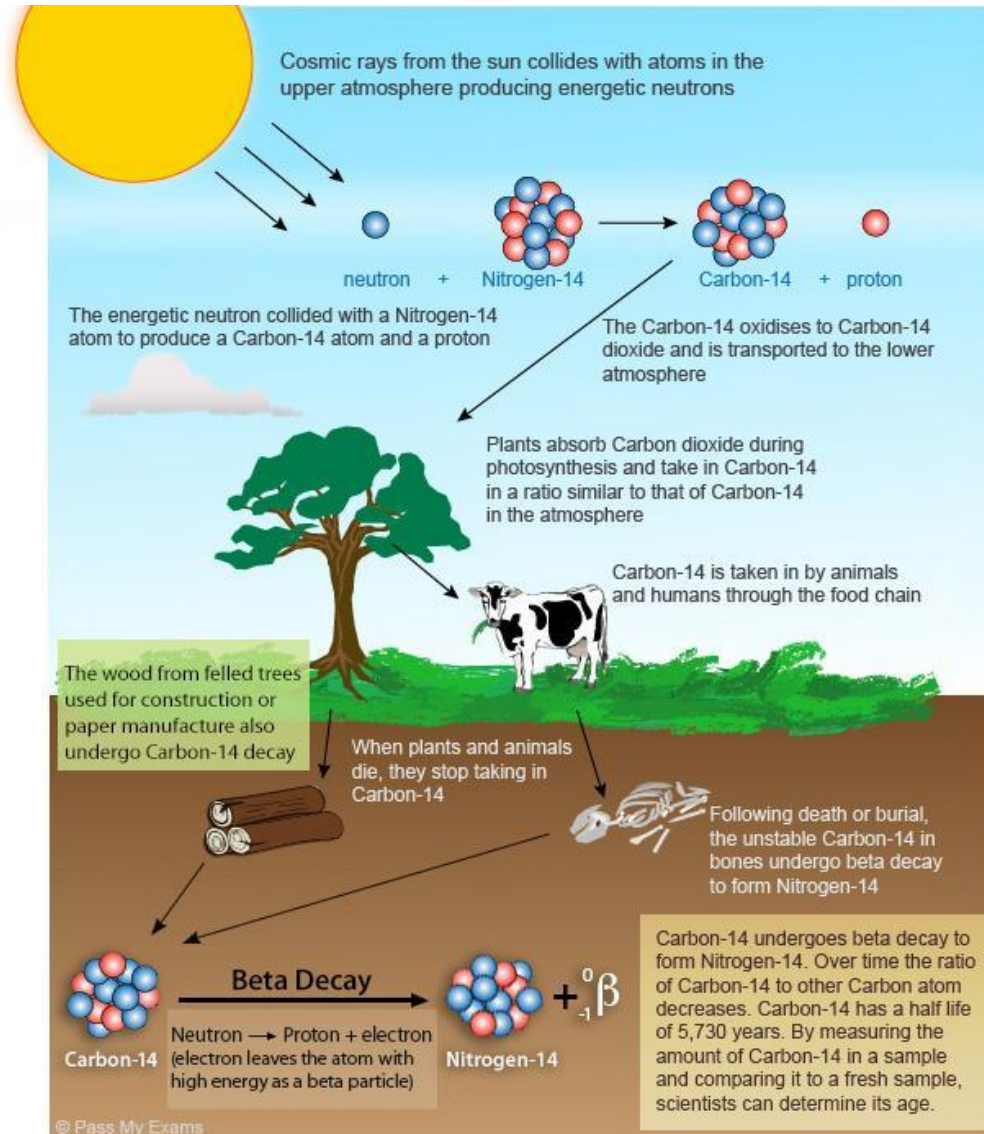


Carbon-13
(6P + 7N)
Atomic Weight = 13
Atomic Mass = 13.00335 u
Abundance: 1.109%

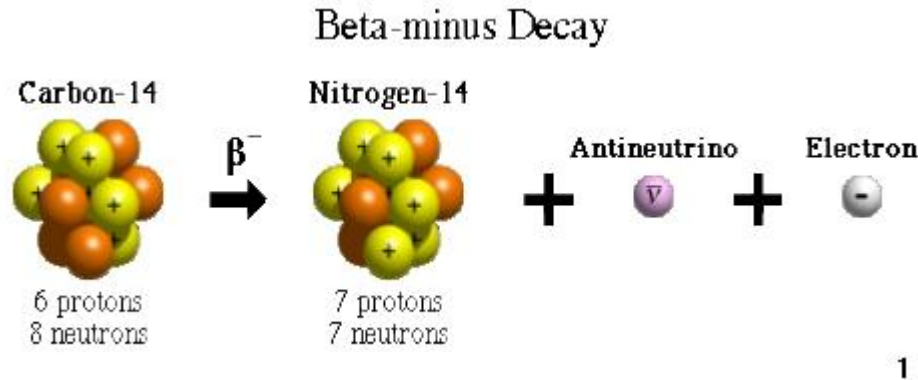


Carbon-14
(6P + 8N)
Atomic Weight = 14
Isotope Mass: 14.003241 u
Abundance: 1 Part Per Trillion
Half-life: 5,730 ± 40 Years

Изотопы углерода



Радиоактивность углерода C-14

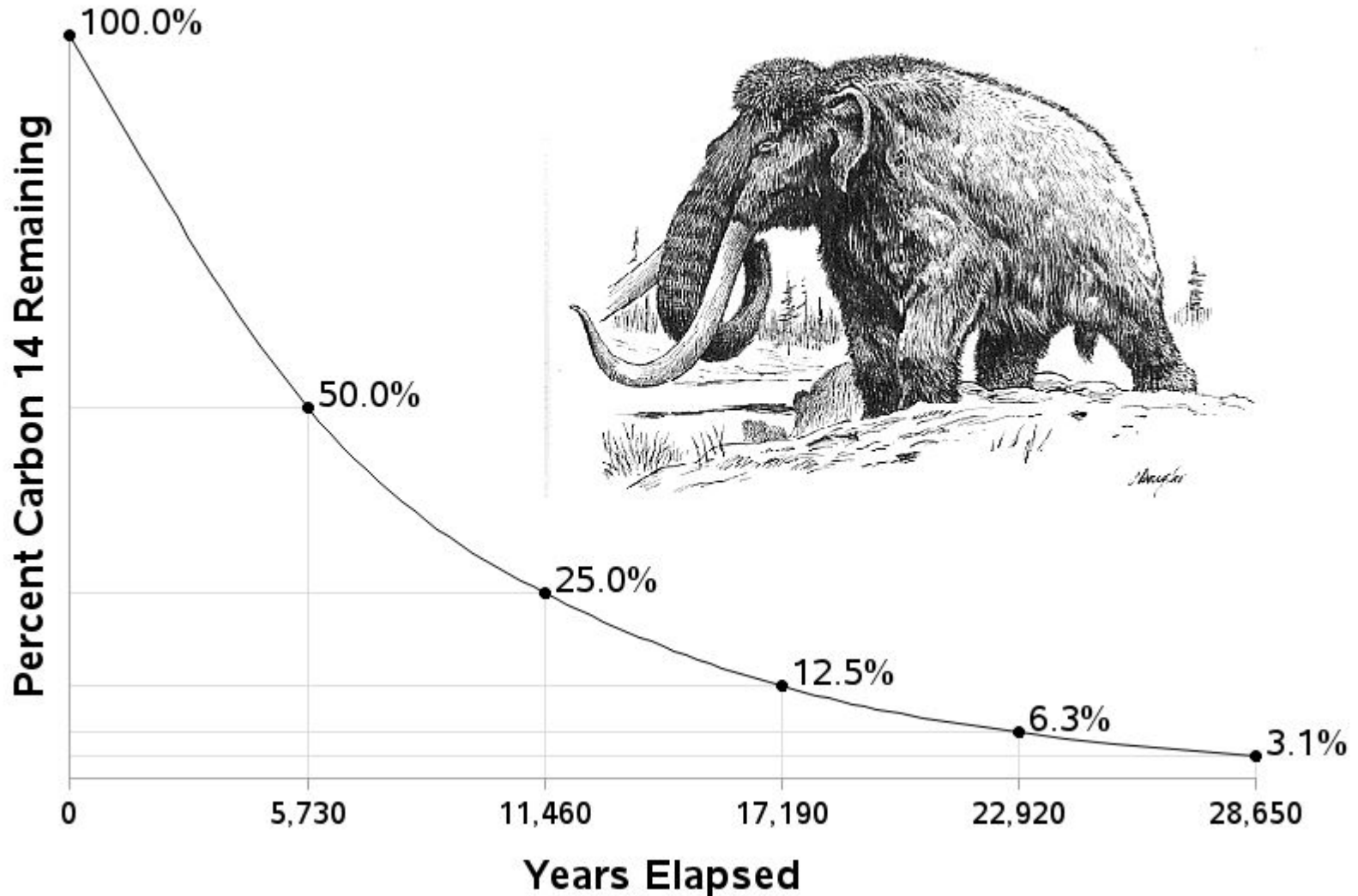


Период полураспада $T_{1/2}$ радиоуглерода составляет 5730 лет. За это время $1/2$ всего радиоуглерода распадется.

Вопрос: какое количество радиоуглерода останется в образце спустя 11460 лет?

Радиоактивность углерода С-14

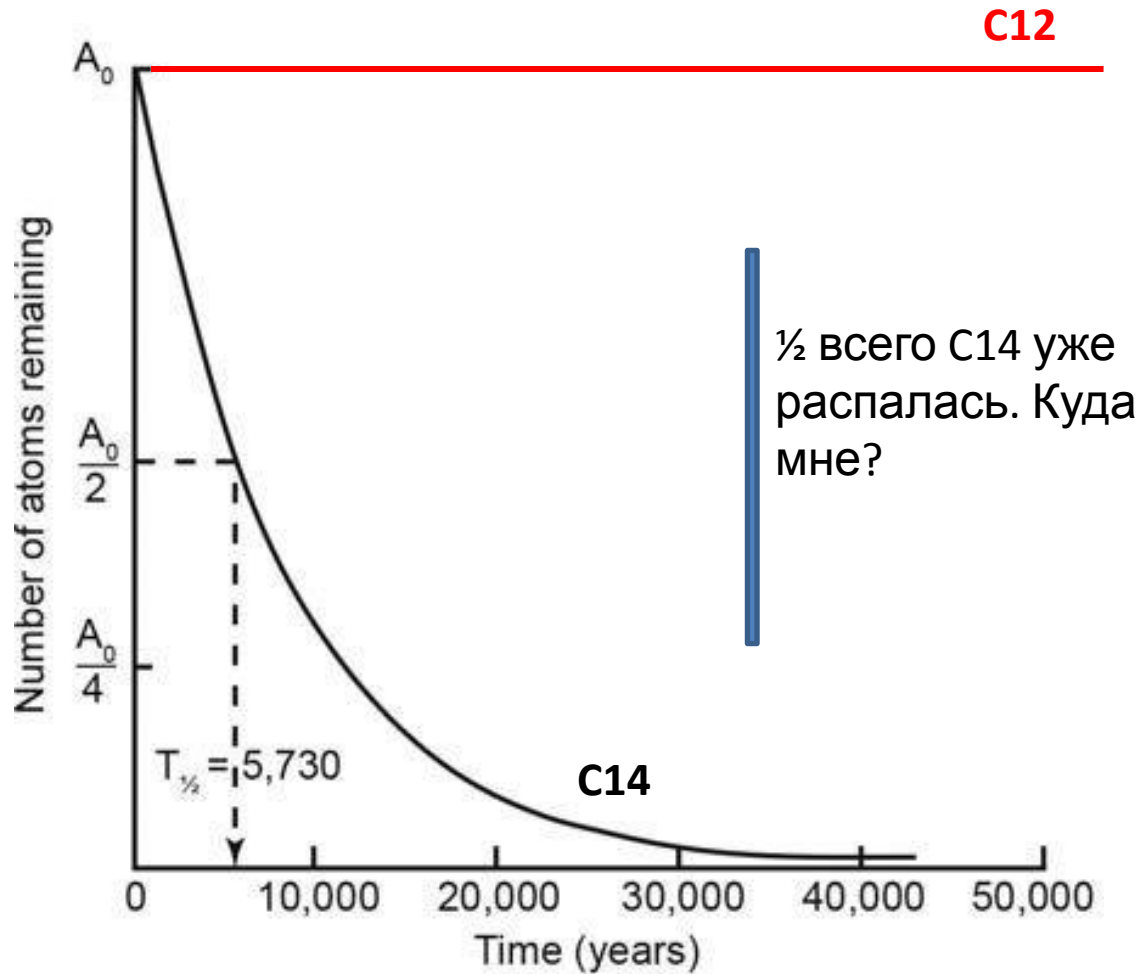
Rate of Decay for Carbon 14



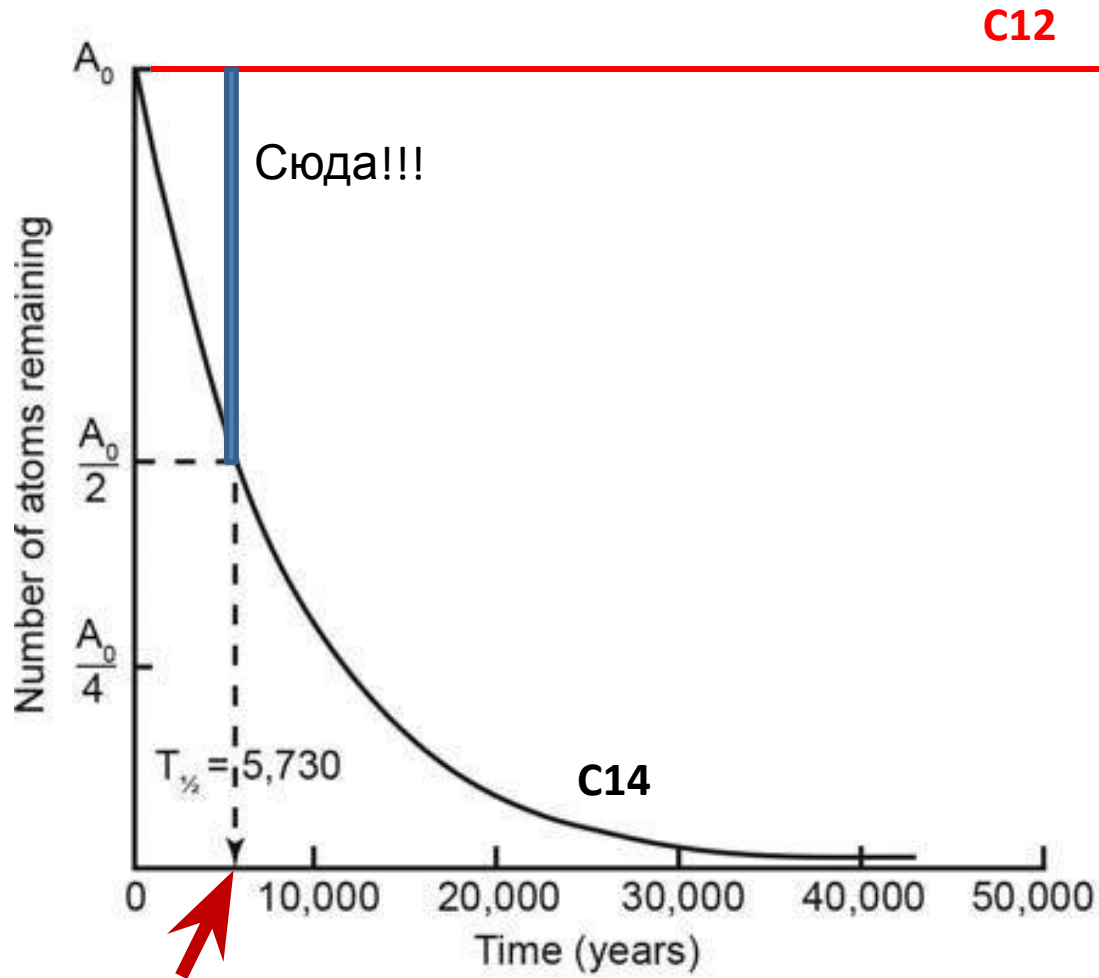
Итоги

- 1) Все живое основано на углероде
- 2) Углерод C^{14} из атмосферы попадает в пищевую цепочку при фотосинтезе
- 3) При жизни организма происходит постоянный обмен углерода, поэтому соотношение C^{14}/C^{12} остается неизменным
- 4) После смерти организма обмен углерода прекращается, количество стабильного углерода C^{12} не изменяется, радиоактивный изотоп C^{14} начинает распадаться
- 5) Измеряя соотношение C^{14}/C^{12} в образце можно судить о времени его смерти

Как угадать возраст?

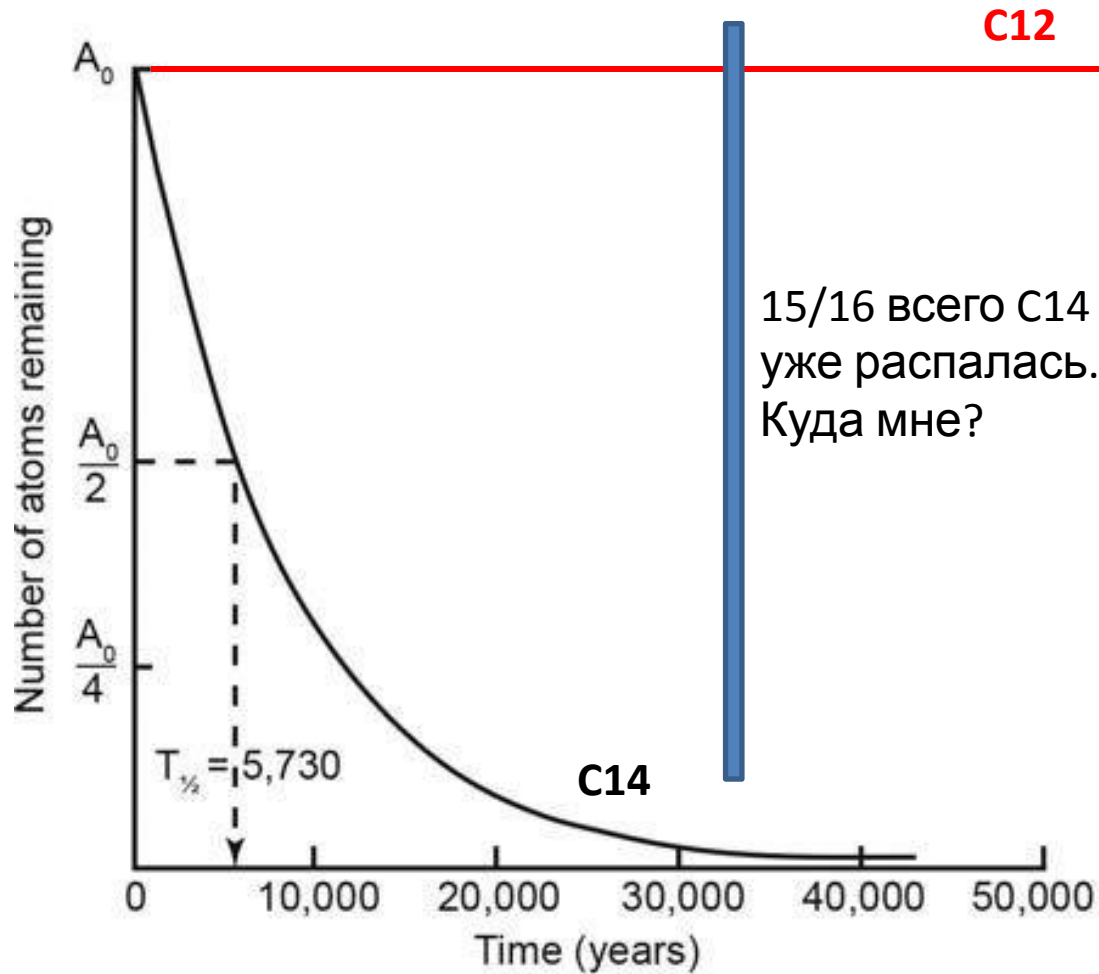


Как угадать возраст?

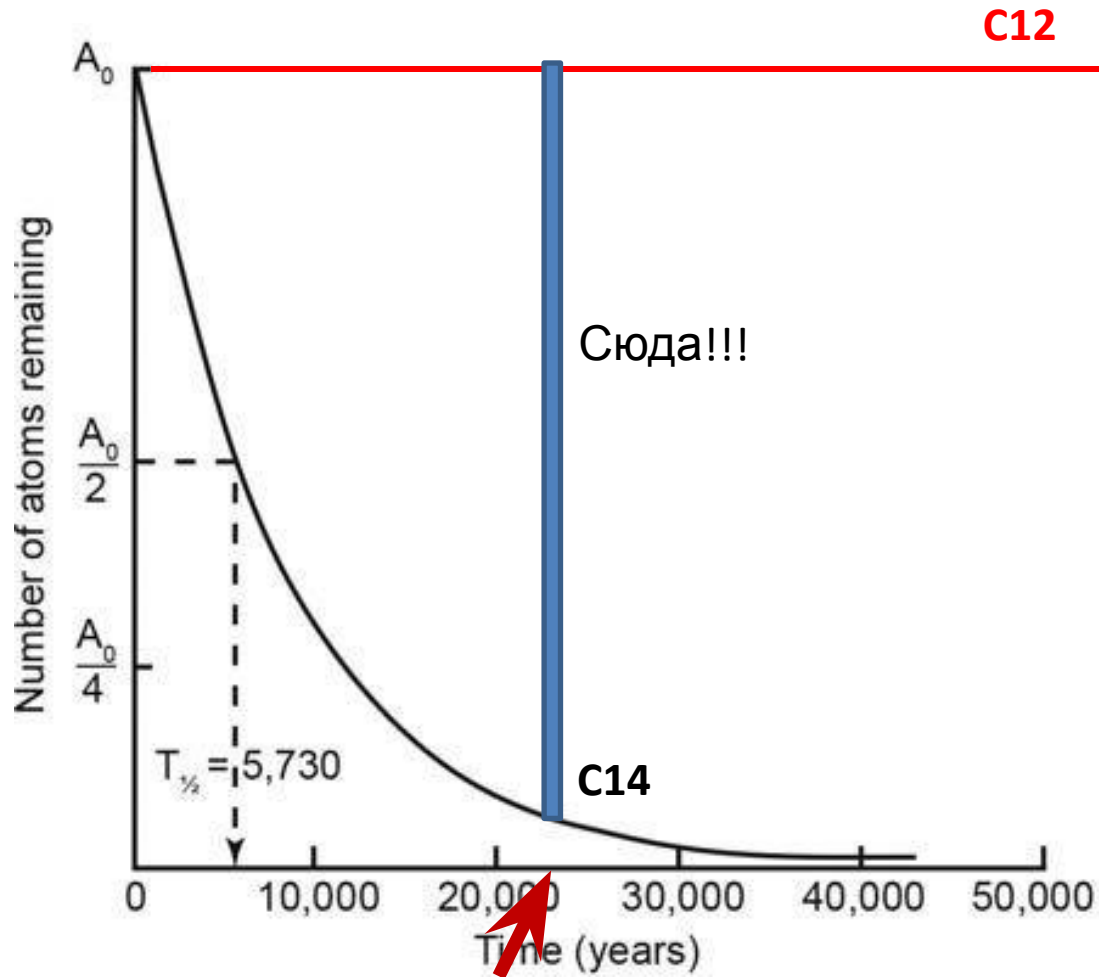


5730

Как угадать возраст?



Как угадать возраст?



22920

Необходимость калибровки

Как убедиться в работоспособности метода?

Необходимость калибровки

Как убедиться в работоспособности метода?

- 1) Сравнить возраст, полученный по данным радиоуглеродного анализа, с данными, полученными независимо
- 2) Сравнить результаты, полученные в разных лабораториях (слепое исследование)

Оказалось, что радиоуглеродный анализ обладает значительной погрешностью и нуждается в доработке (1950-е годы)

Необходимость калибровки

Предположения метода:

- 1) Соотношение C^{14}/C^{12} в атмосфере неизменно во времени
- 2) Соотношение C^{14}/C^{12} внутри организма совпадает с атмосферным
- 3) Соотношение C^{14}/C^{12} совпадает во всех живых существах

Калибровка – это процедура уточнения результатов анализа. Калибровка выполняется путем сравнения результатов радиоуглеродного анализа с результатами других методов.

Старожилы Земли



**Мафусайл. 4847 лет. Калифорния,
США.**

Старожилы Земли



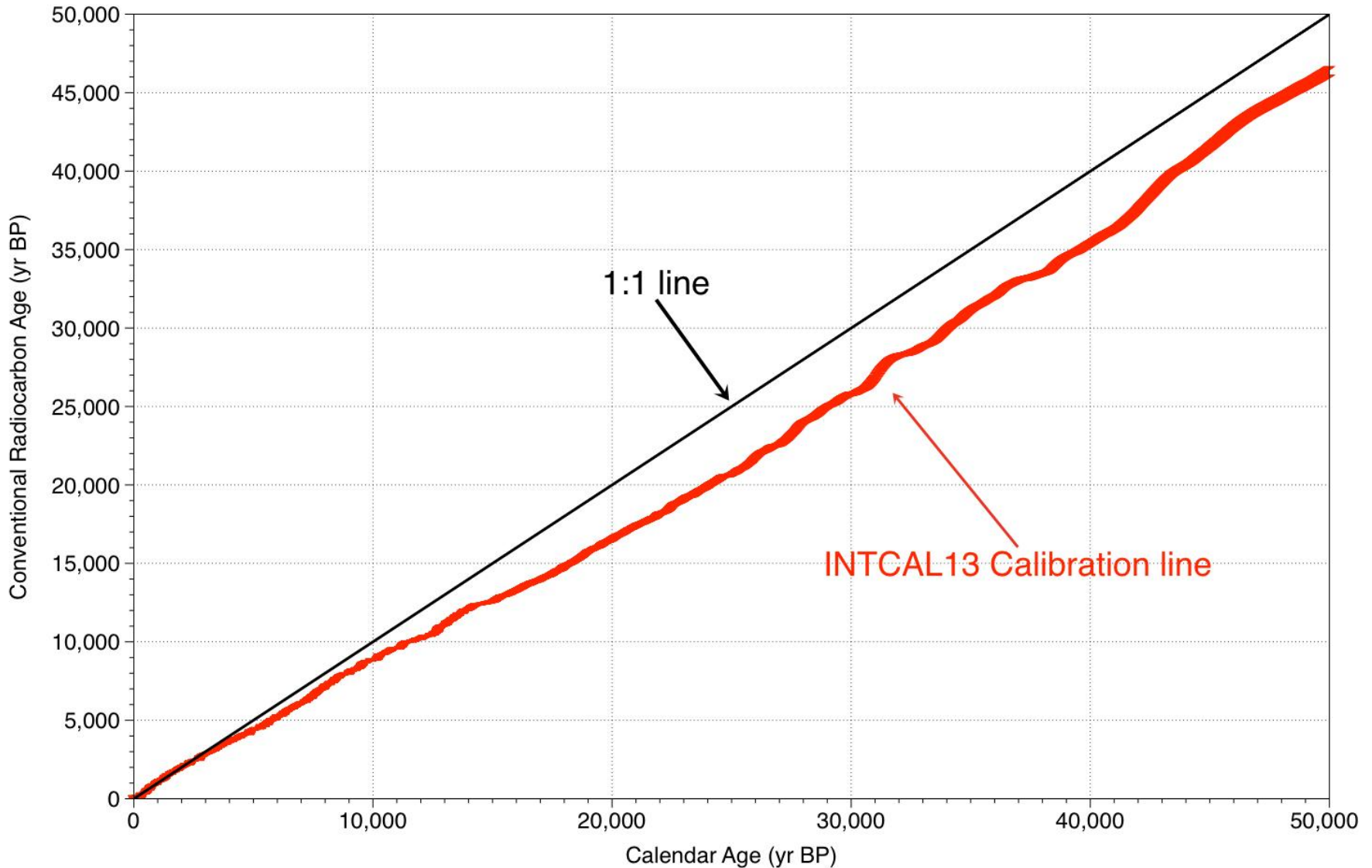
**Старый Тикко. 9550 лет.
Швеция.**

Старожилы Земли

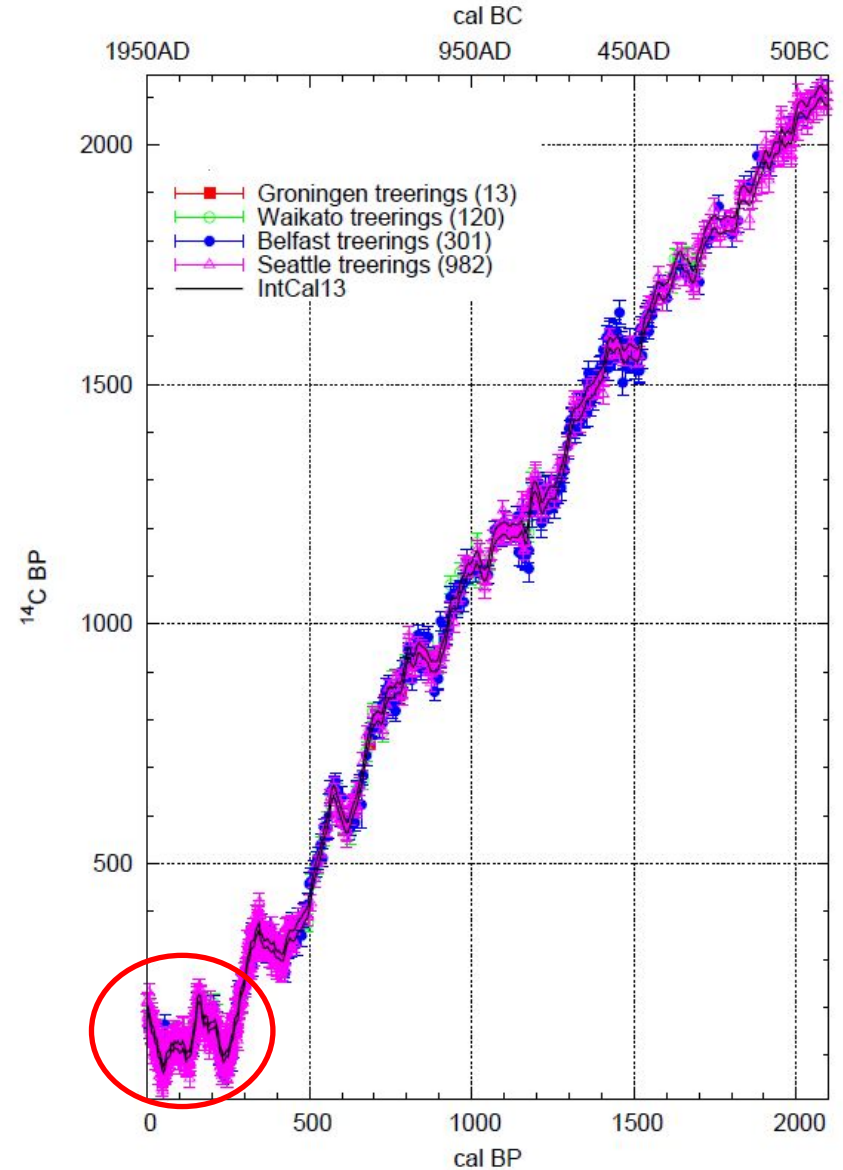
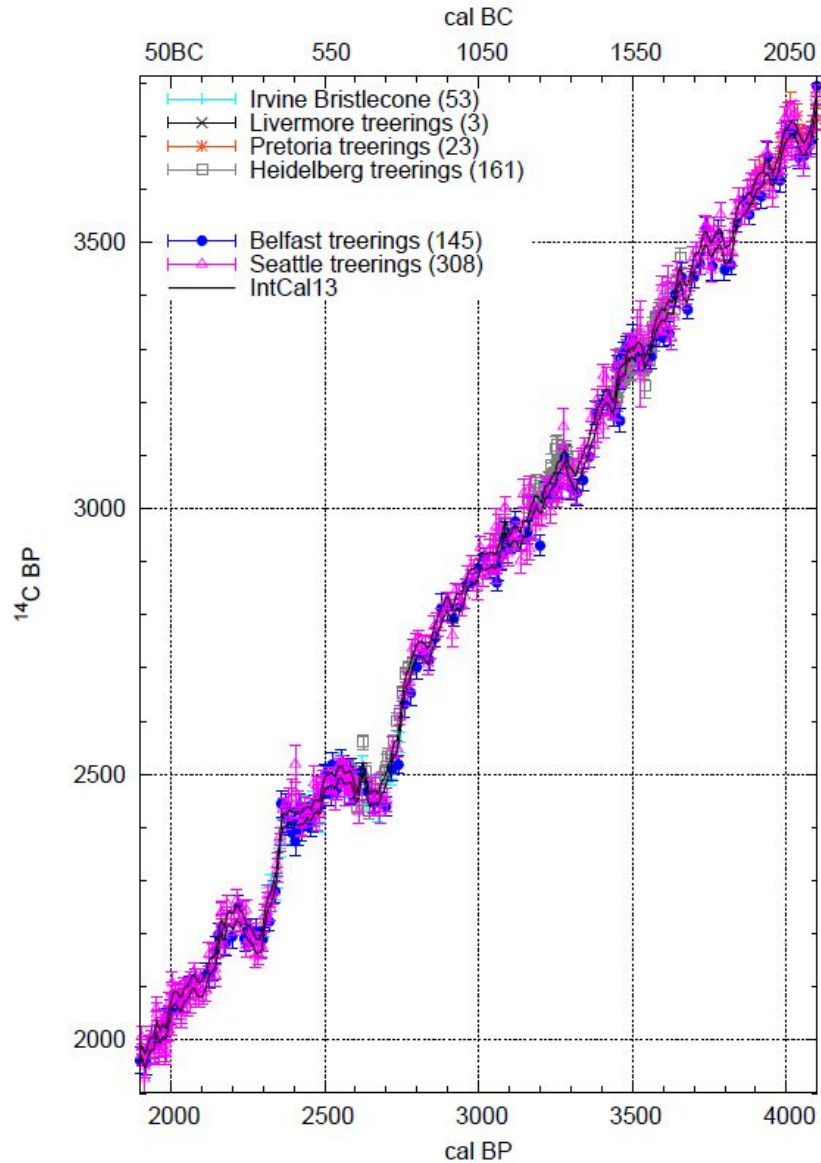


**Колония Пандо. 80000 лет. Юта,
США.**

Калибровочная кривая INTCAL13 (2013)



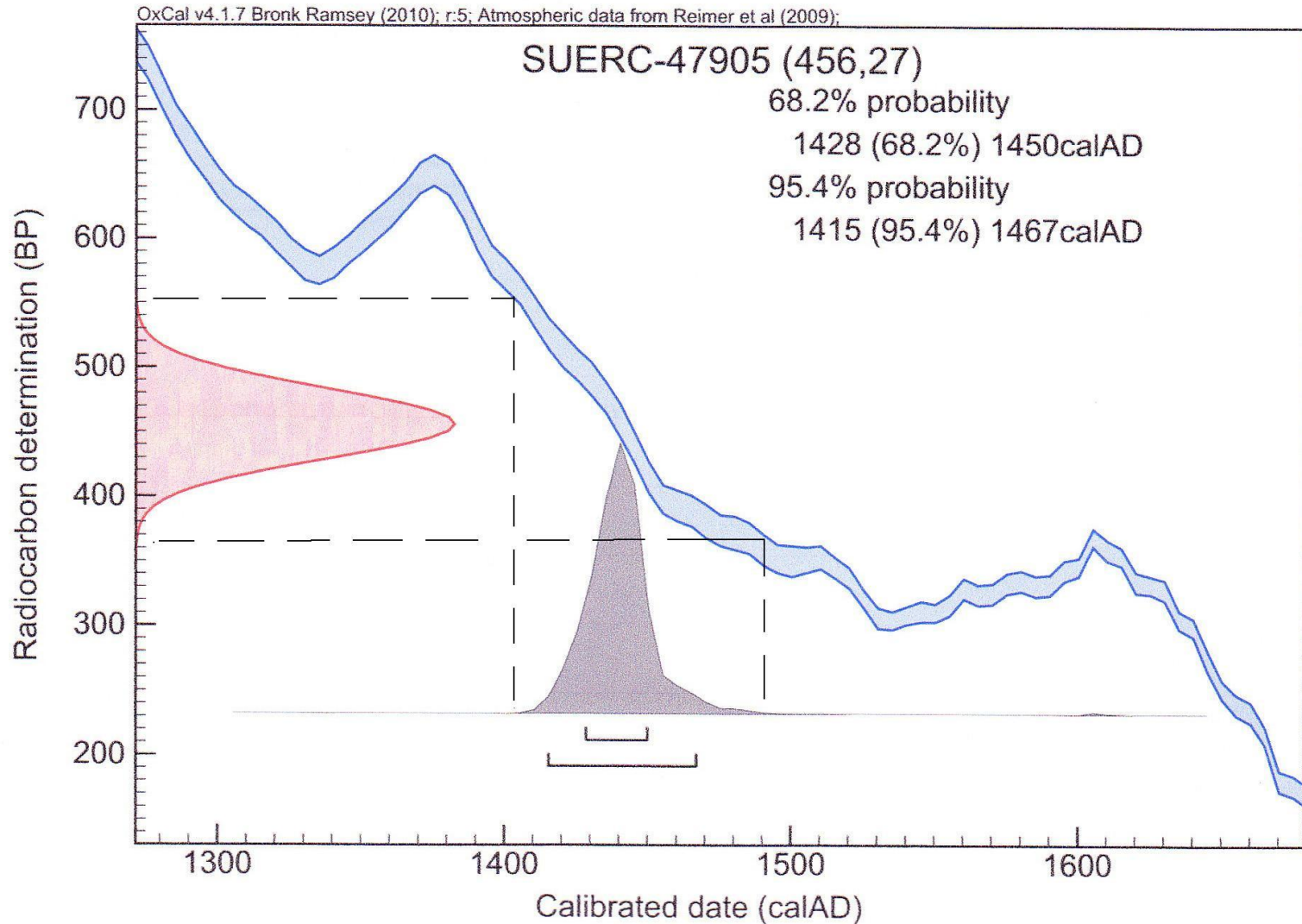
Калибровочная кривая INTCAL13 (2013)



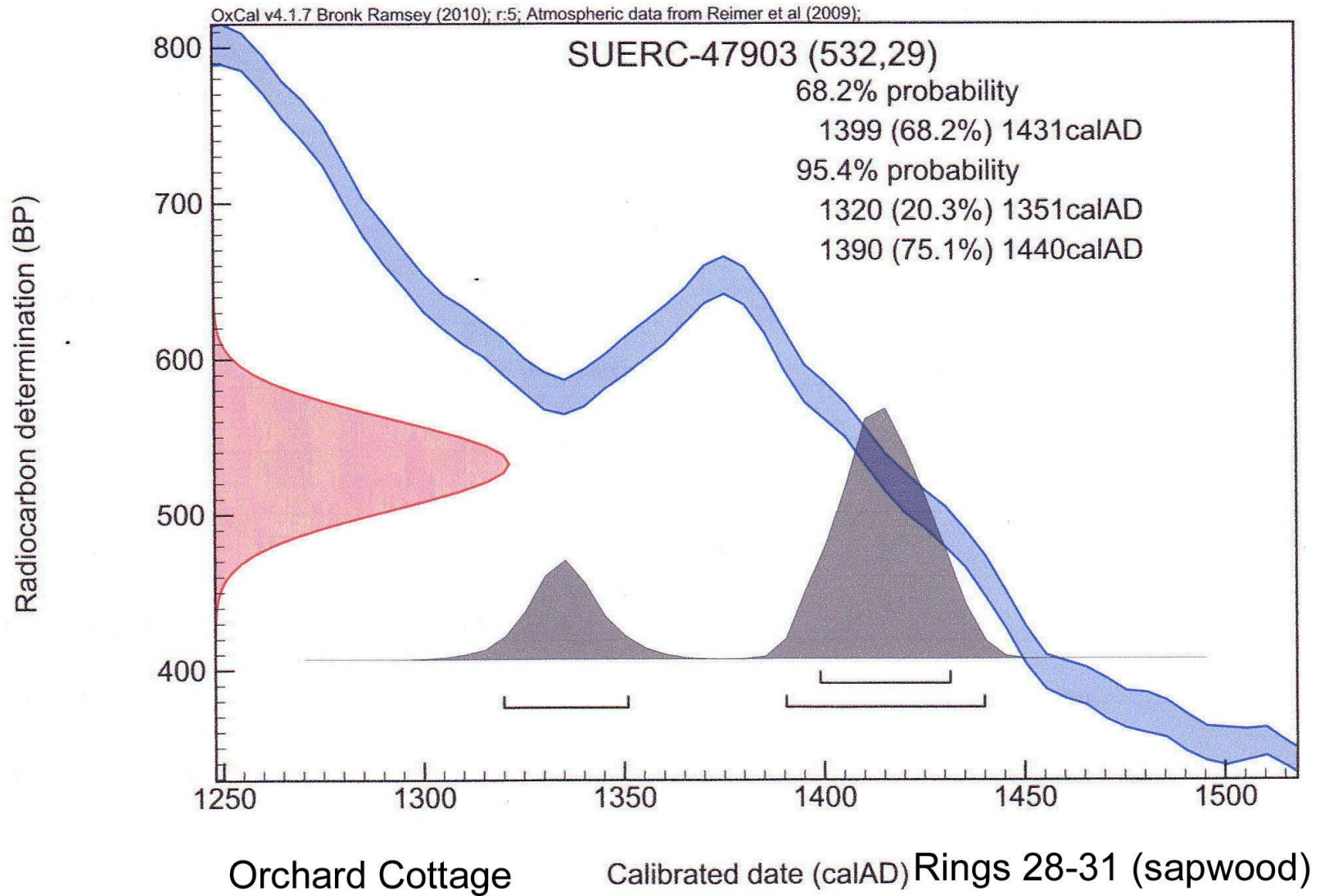
Как это выглядит



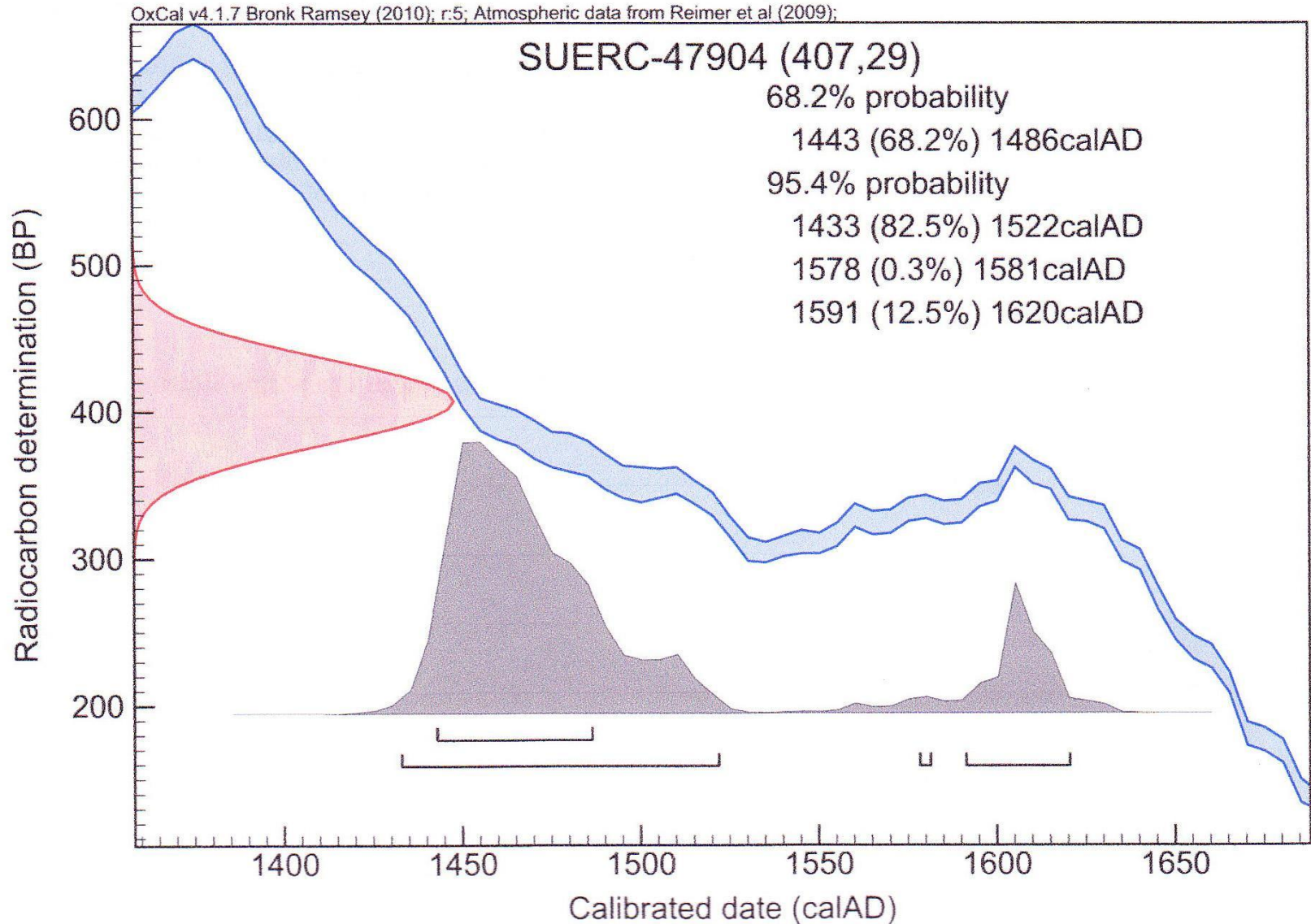
Типичный результат радиоуглеродного анализа



Типичный результат радиоуглеродного анализа

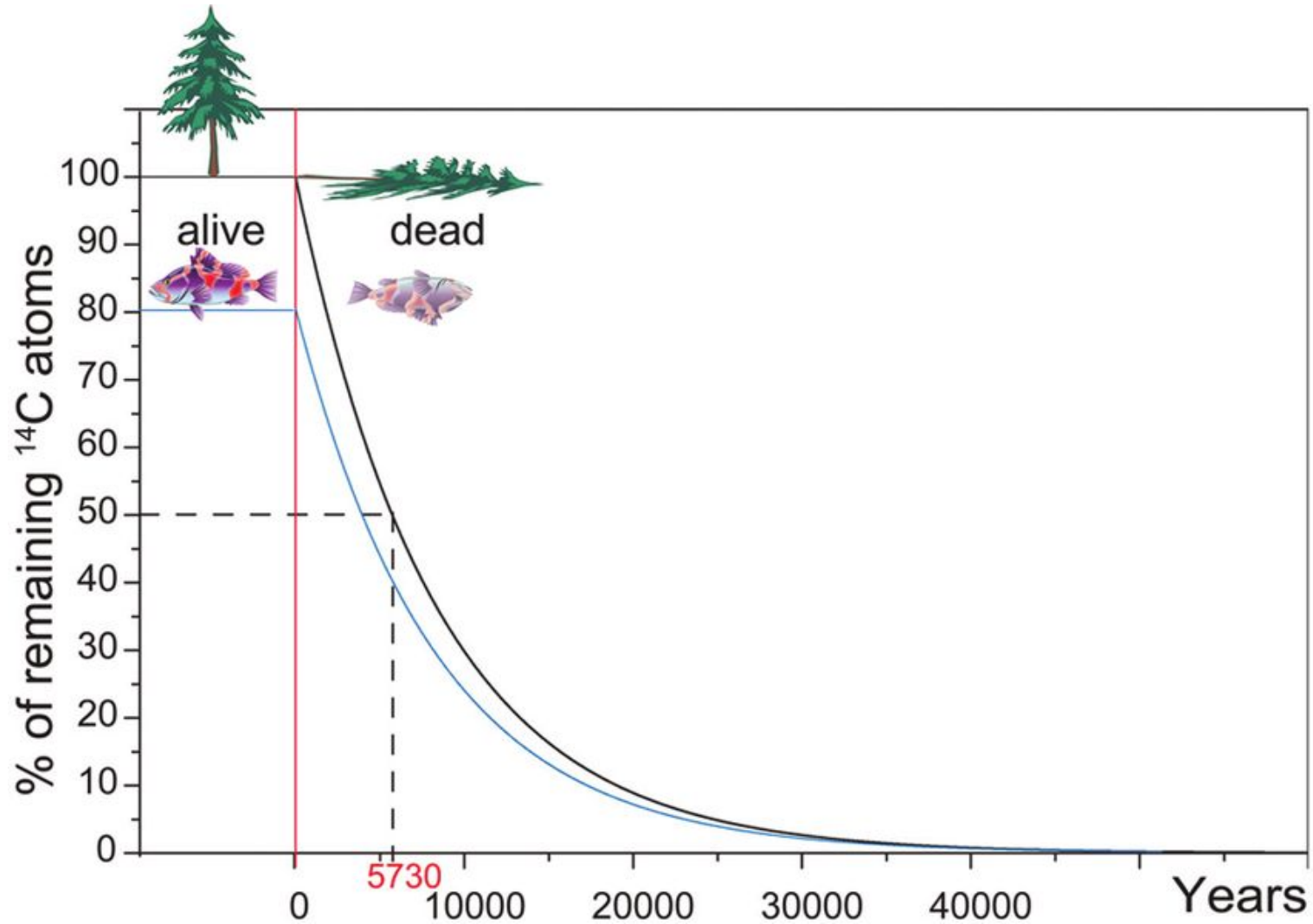


Типичный результат радиоуглеродного анализа



**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**

Резервуарный эффект



Методика Wiggle-Matching

