

# *Радиоуглеродный анализ*

**Естественные науки в помощь гуманитарным**

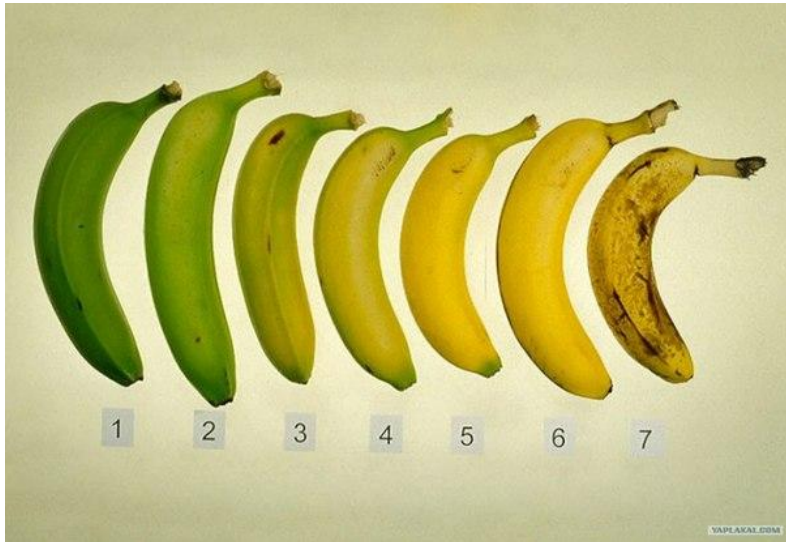
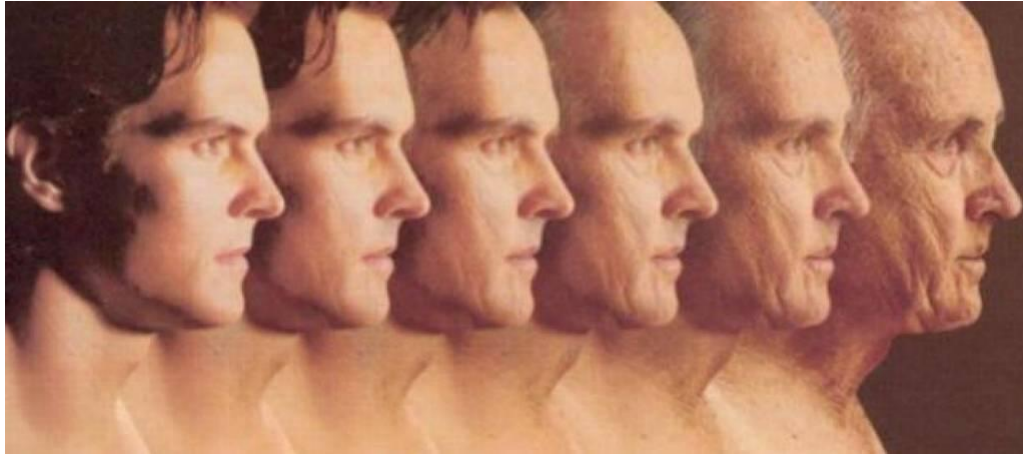
# В чем задача метода?



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

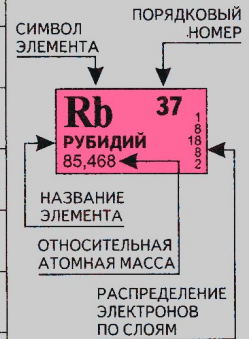
## ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

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



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

### ЛАНТАНОИДЫ

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
----------------------------	--------------------------	-------------------------------	---------------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------------	------------------------------	----------------------------	-----------------------------	----------------------------	--------------------------	---------------------------	-----------------------------	----------------------------

### АКТИНОИДЫ

89 Ac актиний [227]	90 Th торий 232,038	91 Pa протактиний [231]	92 U уран 238,029	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]
---------------------------	---------------------------	-------------------------------	-------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------------	----------------------------	------------------------------

# Биологические, химические и физические основы метода

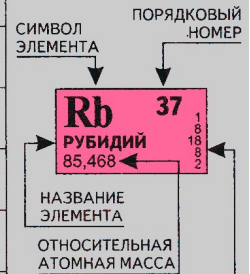
## ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

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	<b>H</b> водород 1,008																<b>He</b> гелий 4,003	2
2	2	<b>Li</b> литий 6,941	<b>Be</b> бериллий 9,0122	<b>B</b> бор 10,811	<b>C</b> углерод 12,011	<b>N</b> азот 14,007	<b>O</b> кислород 15,999	<b>F</b> фтор 18,998										<b>Ne</b> неон 20,179	10
3	3	<b>Na</b> натрий 22,99	<b>Mg</b> магний 24,312	<b>Al</b> алюминий 26,982	<b>Si</b> кремний 28,086	<b>P</b> фосфор 30,974	<b>S</b> сера 32,064	<b>Cl</b> хлор 35,453										<b>Ar</b> аргон 39,948	18
4	4	<b>K</b> калий 39,102	<b>Ca</b> кальций 40,08	<b>Sc</b> скандий 44,956	<b>Ti</b> титан 47,956	<b>V</b> ванадий 50,941	<b>Cr</b> хром 51,996	<b>Mn</b> марганец 54,938	<b>Fe</b> железо 55,849	<b>Co</b> кобальт 58,933	<b>Ni</b> никель 58,7								
	5	<b>Cu</b> медь 63,546	<b>Zn</b> цинк 65,37	<b>Ga</b> галлий 69,72	<b>Ge</b> германий 72,59	<b>As</b> мышьяк 74,922	<b>Se</b> селен 78,96	<b>Br</b> бром 79,904										<b>Kr</b> криптон 83,8	36
5	6	<b>Rb</b> рубидий 85,468	<b>Sr</b> стронций 87,62	<b>Y</b> иттрий 88,906	<b>Zr</b> цирконий 91,22	<b>Nb</b> ниобий 92,906	<b>Mo</b> молибден 95,94	<b>Tc</b> технеций [99]	<b>Ru</b> рутений 101,07	<b>Rh</b> родий 102,906	<b>Pd</b> палладий 106,4								
	7	<b>Ag</b> серебро 107,868	<b>Cd</b> кадмий 112,41	<b>In</b> индий 114,82	<b>Sn</b> олово 118,69	<b>Sb</b> сурьма 121,75	<b>Te</b> теллур 127,6	<b>I</b> йод 126,905										<b>Xe</b> ксенон 131,3	54
6	8	<b>Cs</b> цезий 132,905	<b>Ba</b> барий 137,34	57–71 лантаноиды			<b>Hf</b> гафний 178,49	<b>Ta</b> тантал 180,948	<b>W</b> вольфрам 183,85	<b>Re</b> рений 186,207	<b>Os</b> осмий 190,2	<b>Ir</b> иридий 192,22	<b>Pt</b> платина 195,09						
	9	<b>Au</b> золото 196,967	<b>Hg</b> ртуть 200,59	<b>Tl</b> таллий 204,37	<b>Pb</b> свинец 207,19	<b>Bi</b> висмут 208,98	<b>Po</b> полоний [210]	<b>At</b> астат [210]	<b>Rn</b> радон [222]										
7	10	<b>Fr</b> франций [223]	<b>Ra</b> радий [226]	89–103 актиноиды			<b>Rf</b> резерфордий [261]	<b>Db</b> дубний [262]	<b>Sg</b> сигборгий [263]	<b>Bh</b> борий [262]	<b>Hn</b> ханний [265]	<b>Mt</b> мейтнерий [266]	<b>110</b>						
ВЫСШИЕ ОКСИДЫ		R <sub>2</sub> O		RO		R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		RO <sub>2</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		RO <sub>3</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		RO <sub>4</sub>			
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ						RH <sub>4</sub>		RH <sub>3</sub>		H <sub>2</sub> R		HR							



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

### Л А Н Т А Н О И Д Ы

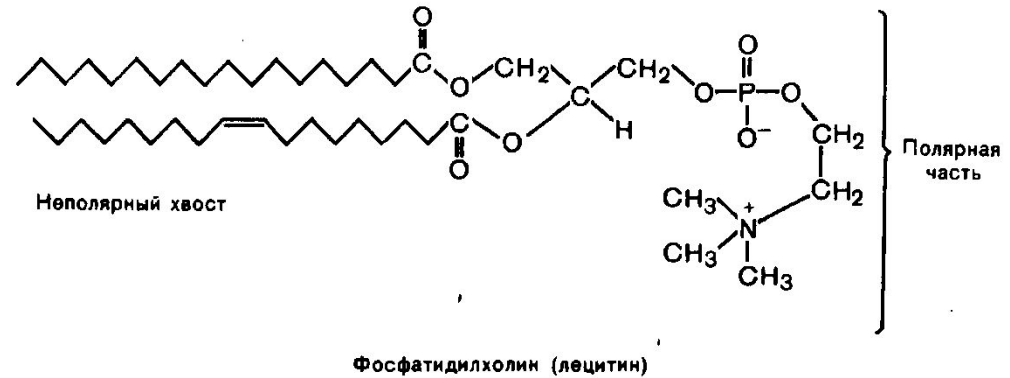
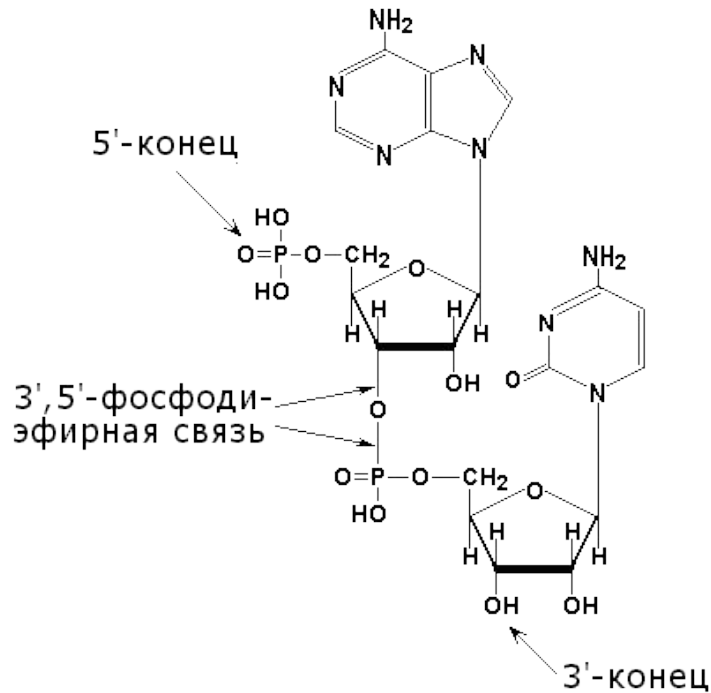
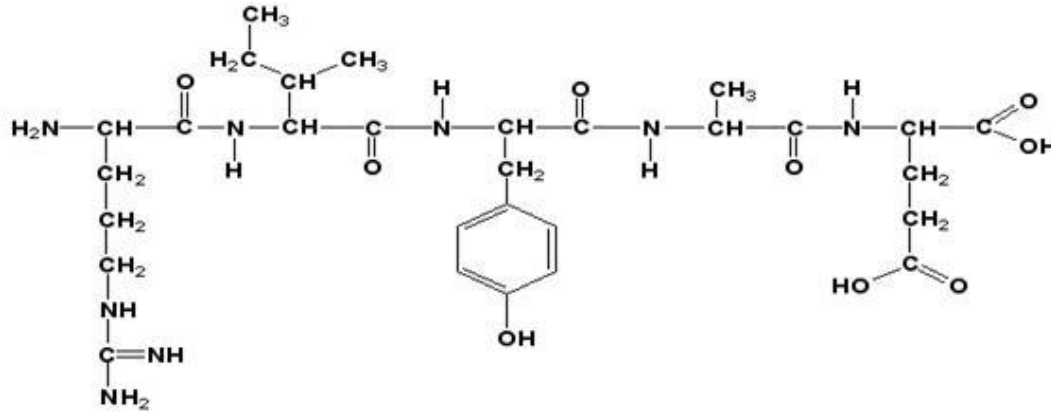
57 <b>La</b> лантан 138,906	58 <b>Ce</b> церий 140,12	59 <b>Pr</b> празеодим 140,908	60 <b>Nd</b> неодим 144,24	61 <b>Pm</b> прометий [145]	62 <b>Sm</b> самарий 150,4	63 <b>Eu</b> европий 151,96	64 <b>Gd</b> гадолиний 157,25	65 <b>Tb</b> тербий 158,926	66 <b>Dy</b> диспрозий 162,5	67 <b>Ho</b> гольмий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

### А К Т И Н О И Д Ы

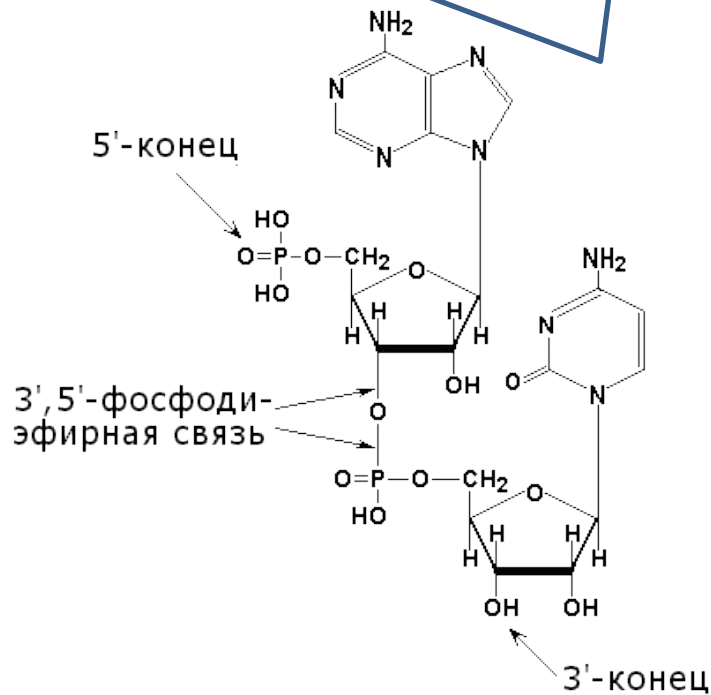
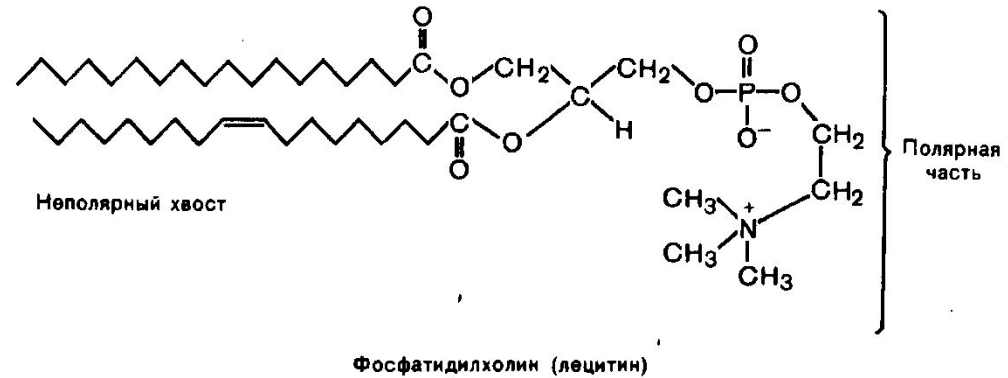
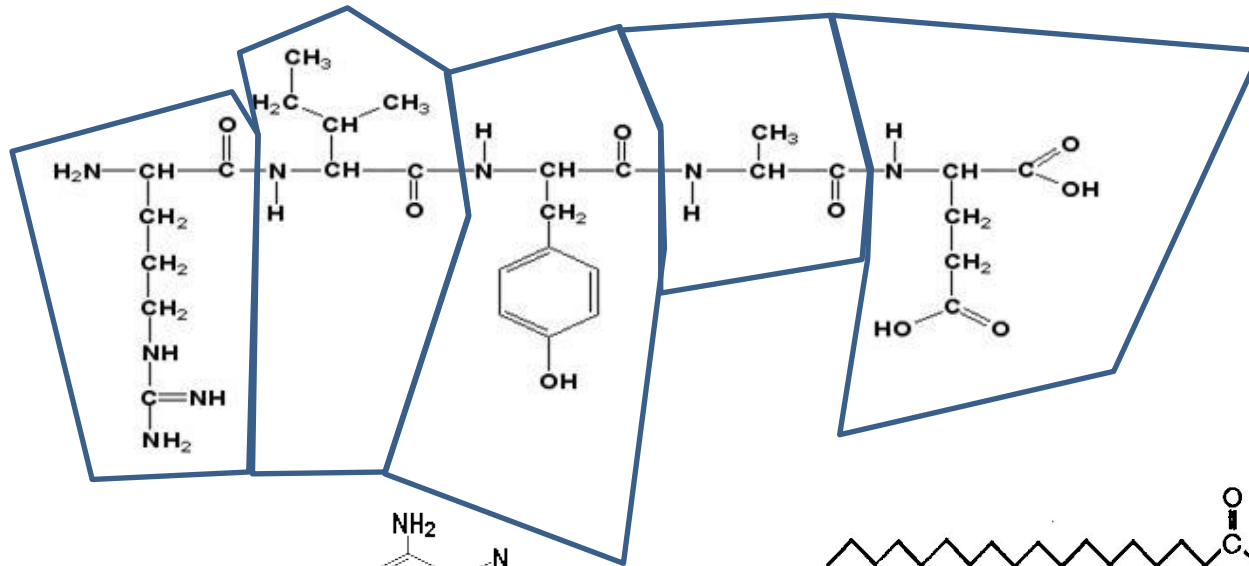
89 <b>Ac</b> актиний [227]	90 <b>Th</b> торий 232,038	91 <b>Pa</b> протактиний [231]	92 <b>U</b> уран 238,29	93 <b>Np</b> нептуний [237]	94 <b>Pu</b> плутоний [244]	95 <b>Am</b> амерций [243]	96 <b>Cm</b> кюрий [247]	97 <b>Bk</b> берклий [247]	98 <b>Cf</b> калфорний [251]	99 <b>Es</b> эйзенштейний [254]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



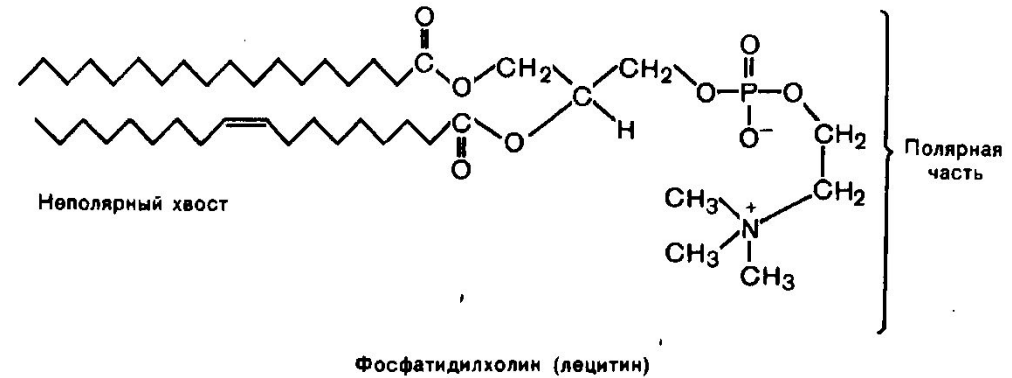
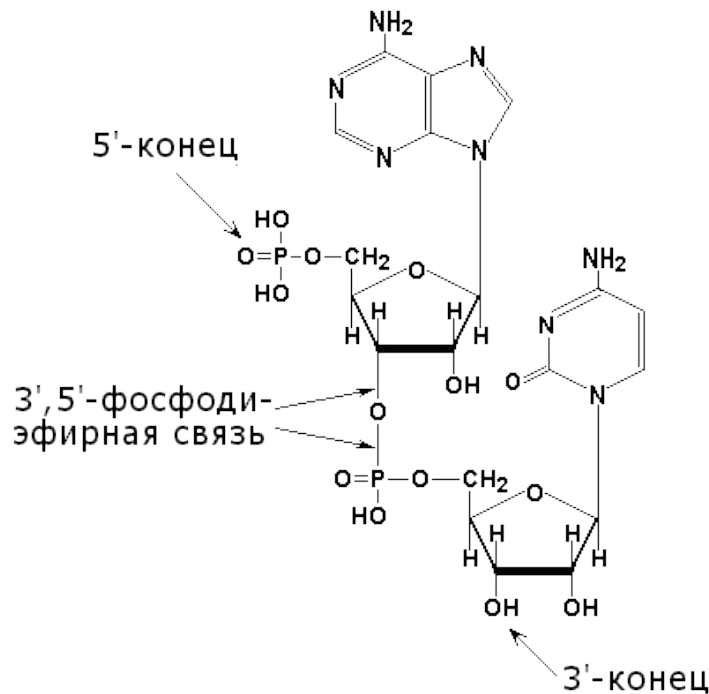
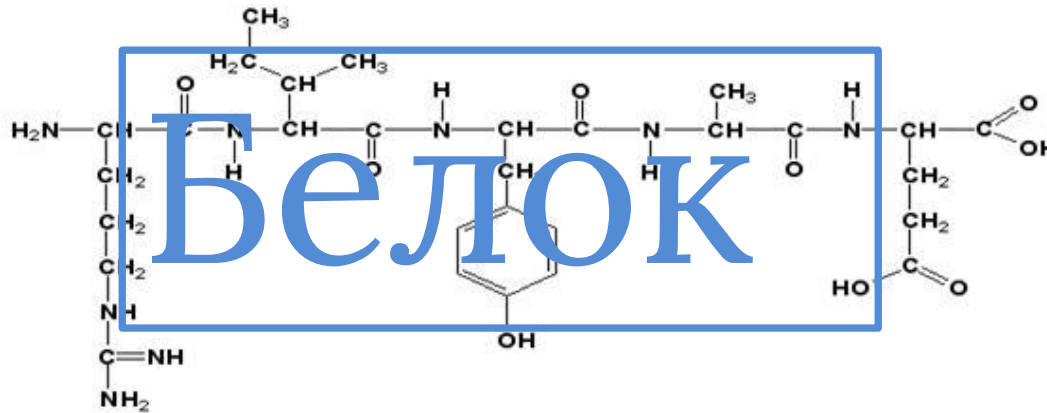
# Углерод – основа жизни на Земле



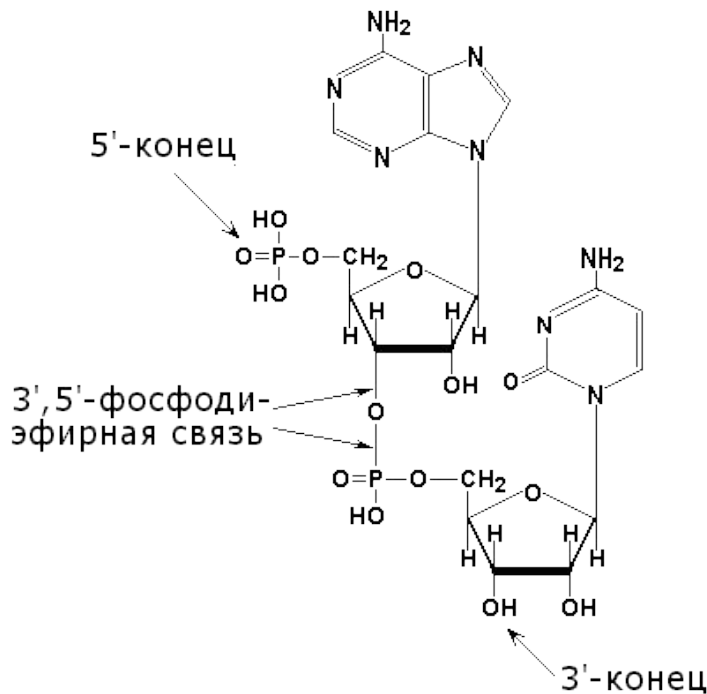
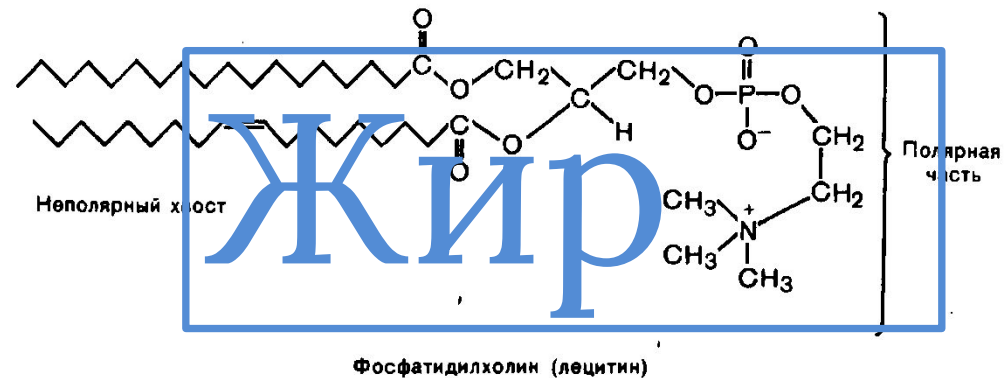
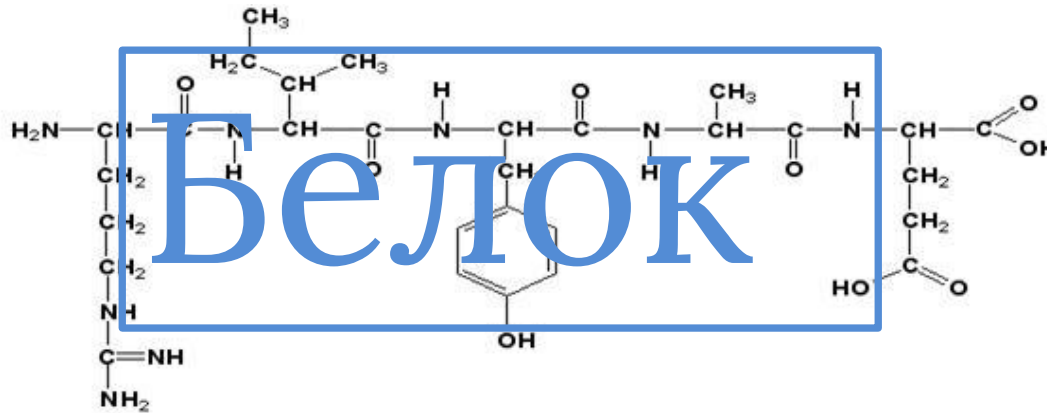
# Углерод – основа жизни на Земле



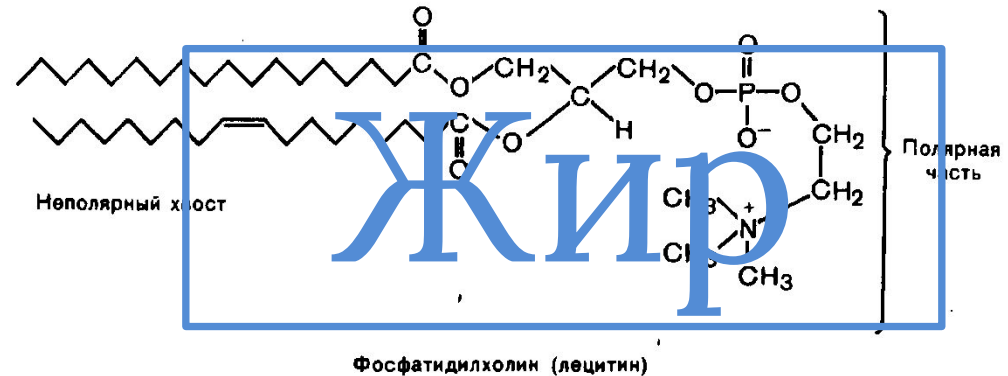
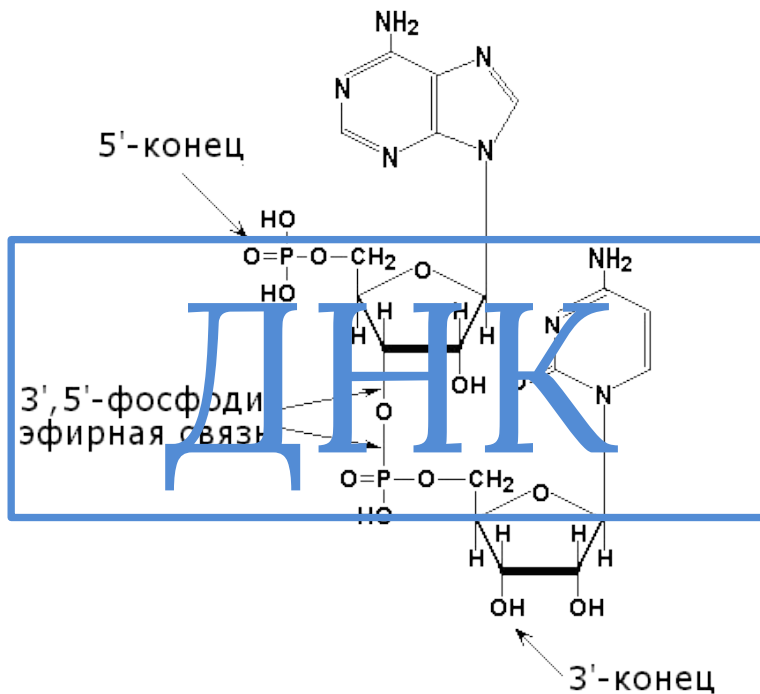
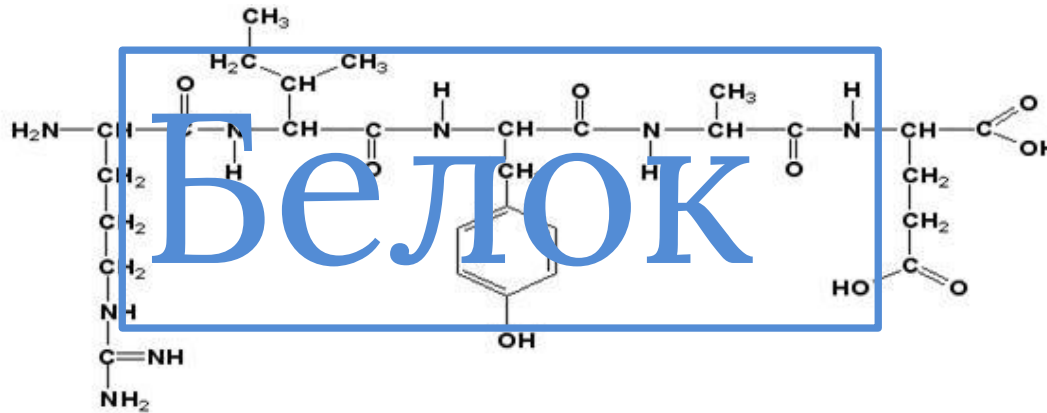
# Углерод – основа жизни на Земле



# Углерод – основа жизни на Земле



# Углерод – основа жизни на Земле



# Круговорот углерода



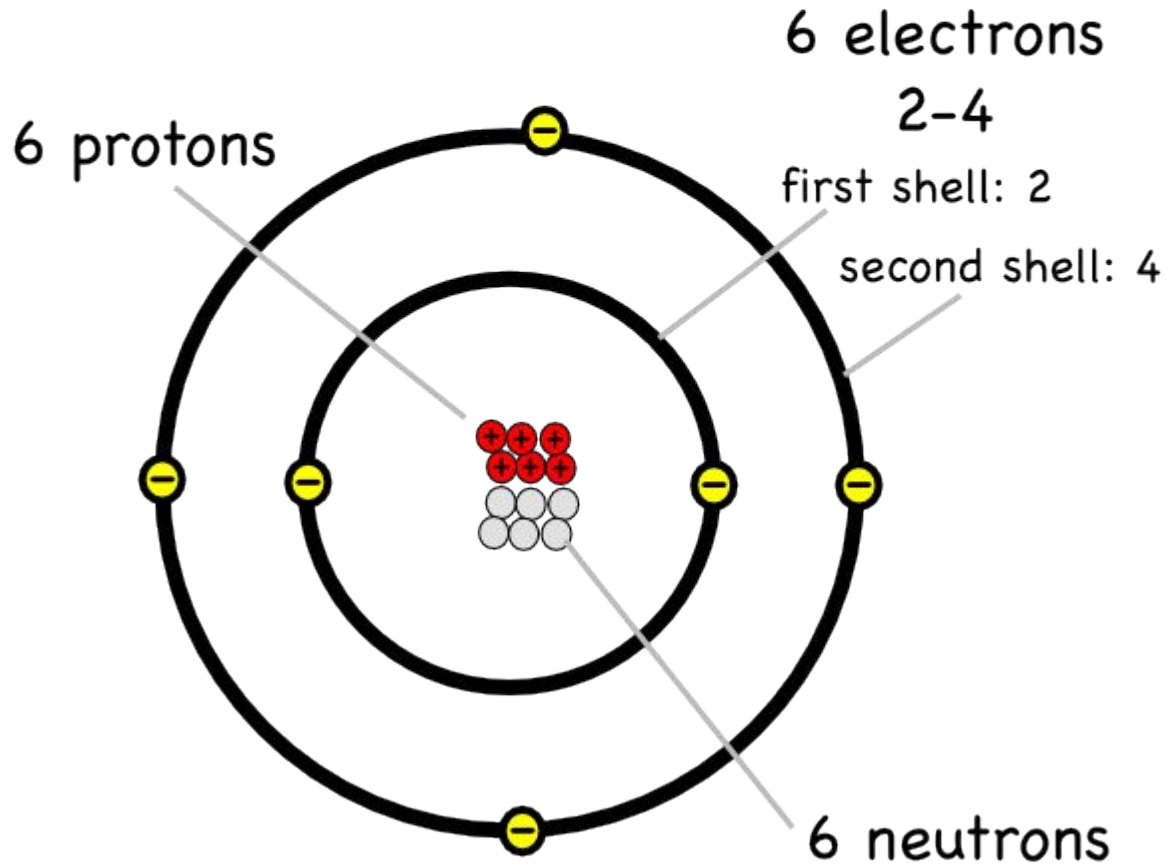
# Круговорот углерода



# Атом углерода

12 C

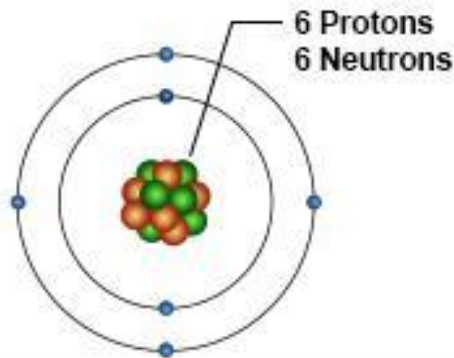
6 protons (+)  
6 electrons (-)  
6 neutrons  
electron configuration: 2-4



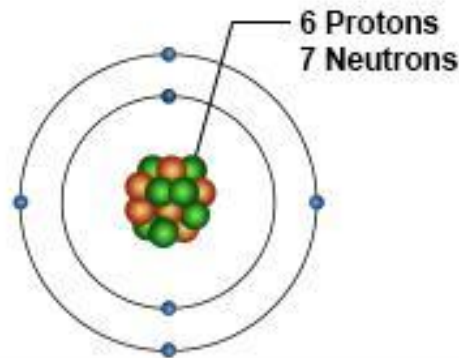


# Изотопы углерода

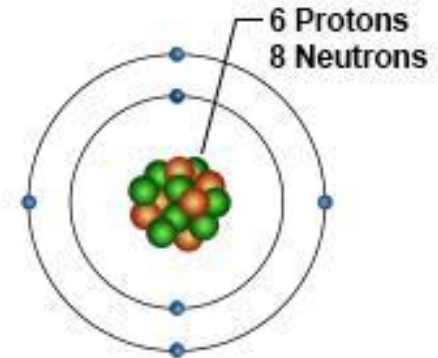
## NATURAL ISOTOPES OF CARBON



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

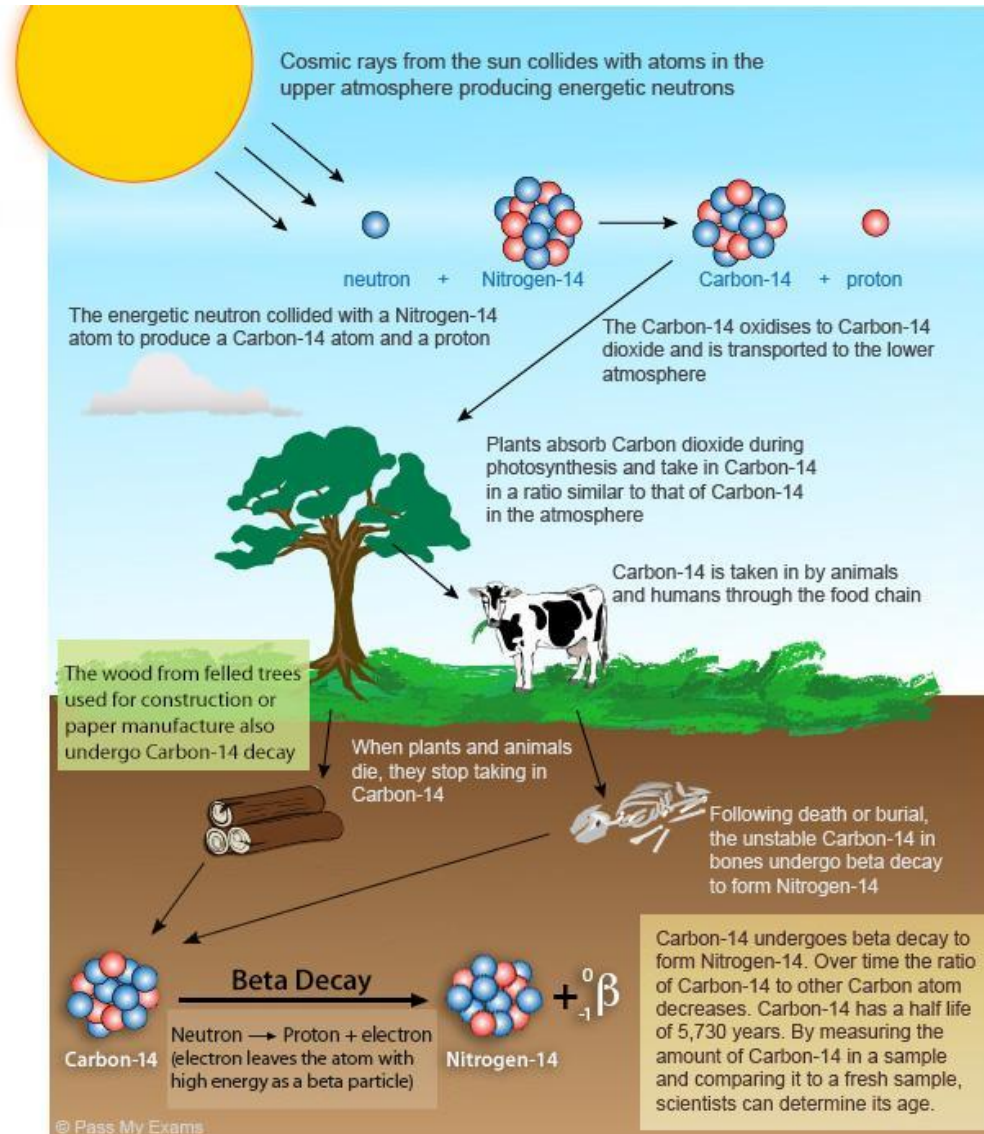


**Carbon-13**  
(6P + 7N)  
Atomic Weight = 13  
Atomic Mass = 13.00335 u  
Abundance: 1.109%

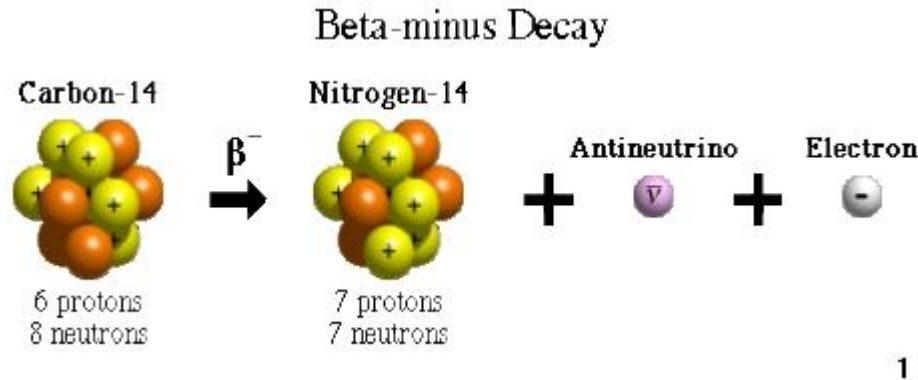


**Carbon-14**  
(6P + 8N)  
Atomic Weight = 14  
Isotope Mass: 14.003241 u  
Abundance: 1 Part Per Trillion  
Half-life: 5,730 ± 40 Years

# Изотопы углерода



# Радиоактивность углерода C-14

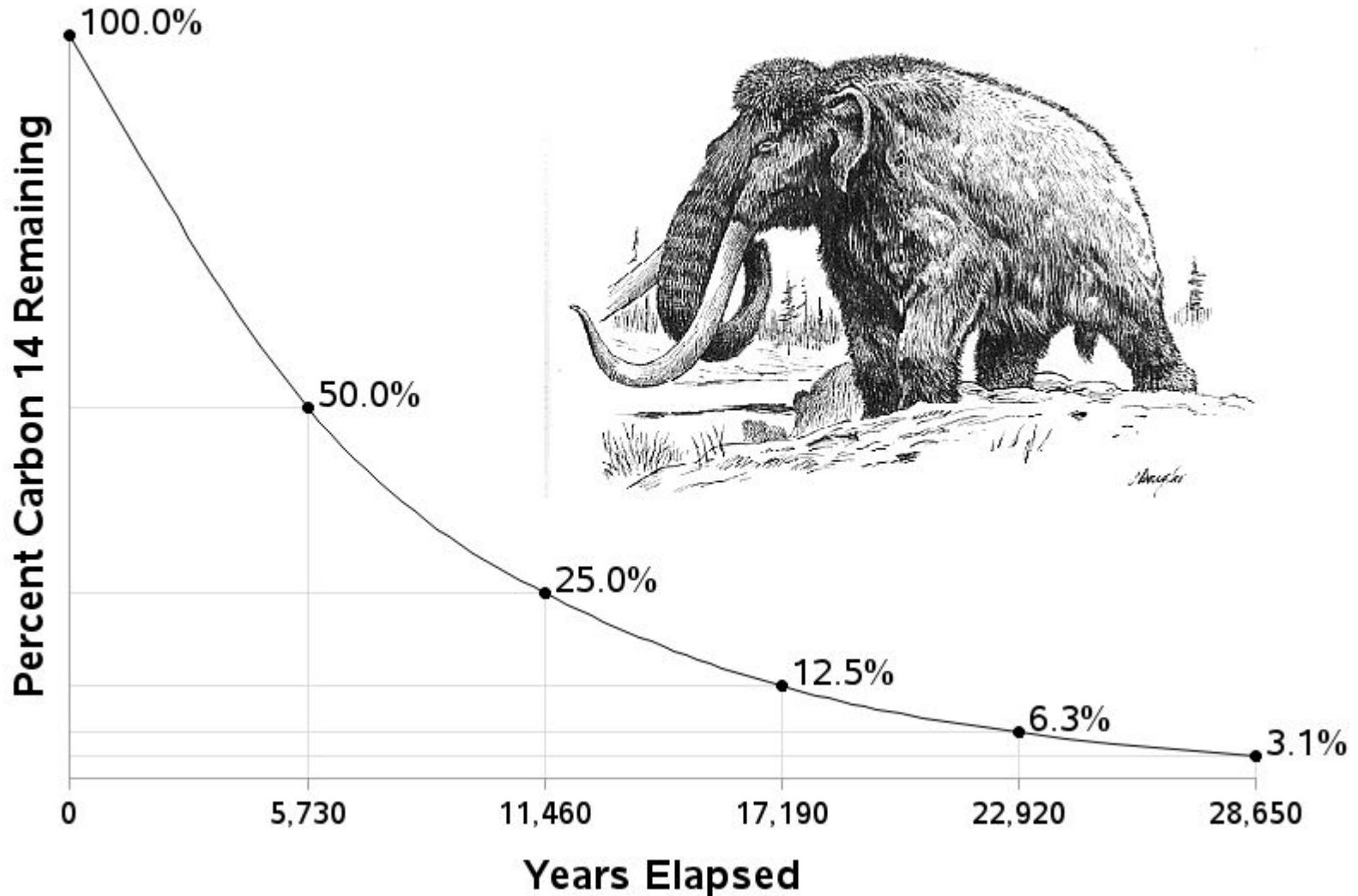


Период полураспада  $T_{1/2}$  радиоуглерода составляет 5730 лет. За это время  $1/2$  всего радиоуглерода распадется.

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

# Радиоактивность углерода С-14

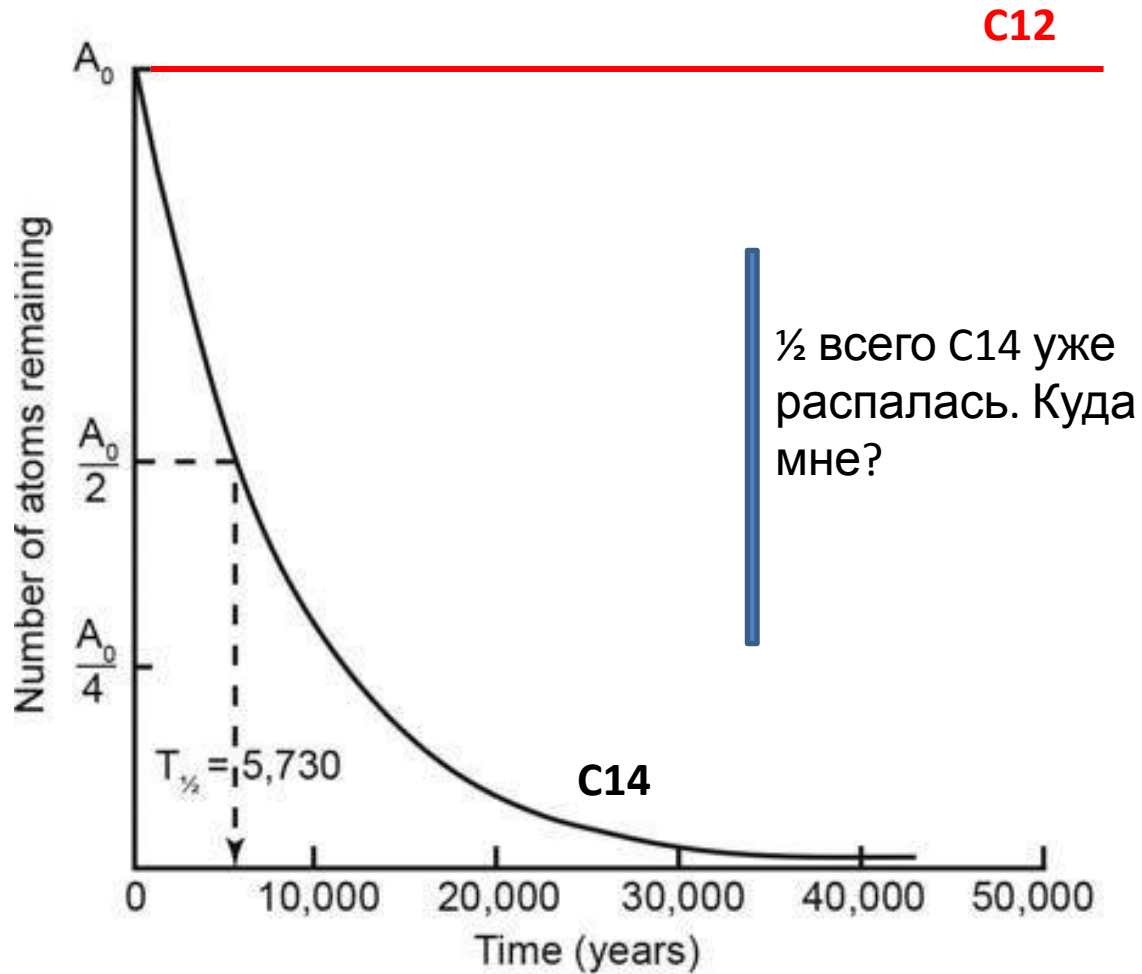
## Rate of Decay for Carbon 14



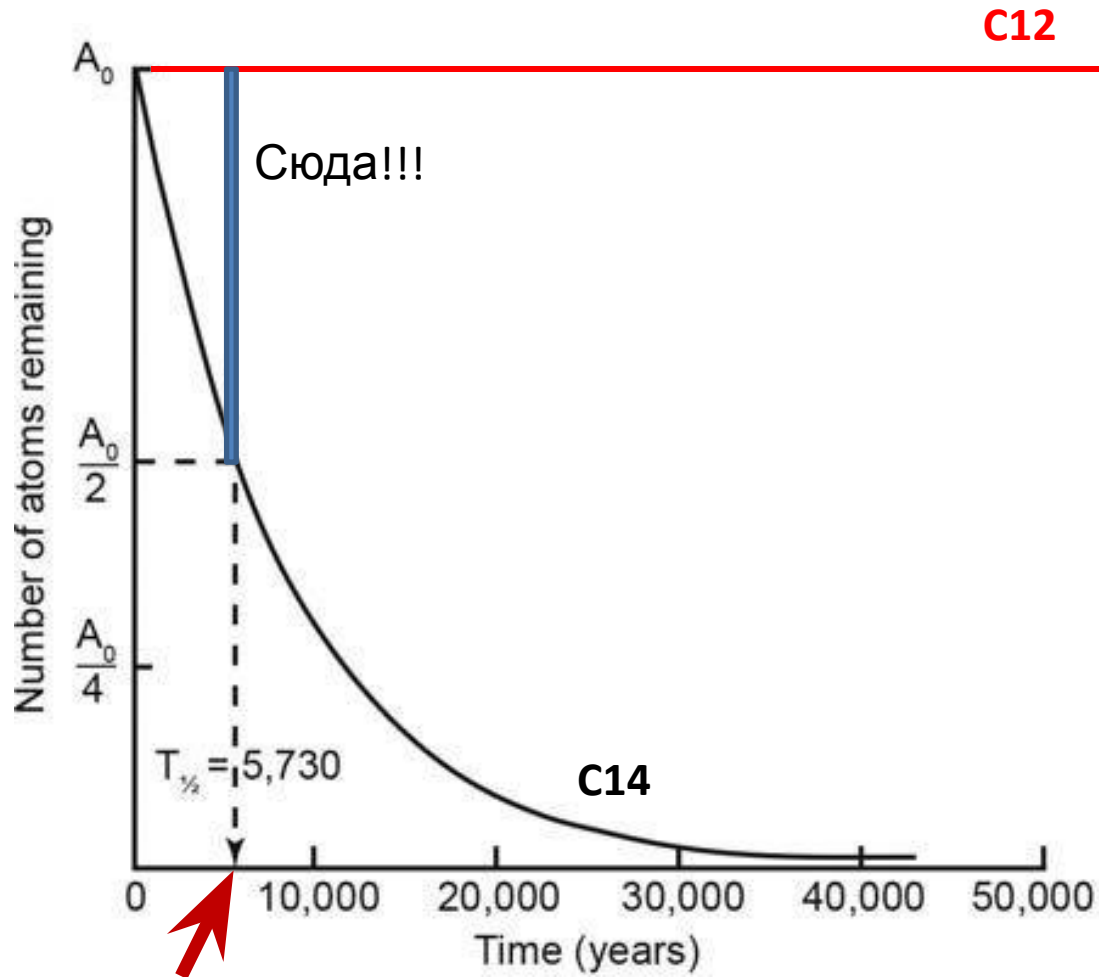
# Итоги

- 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?

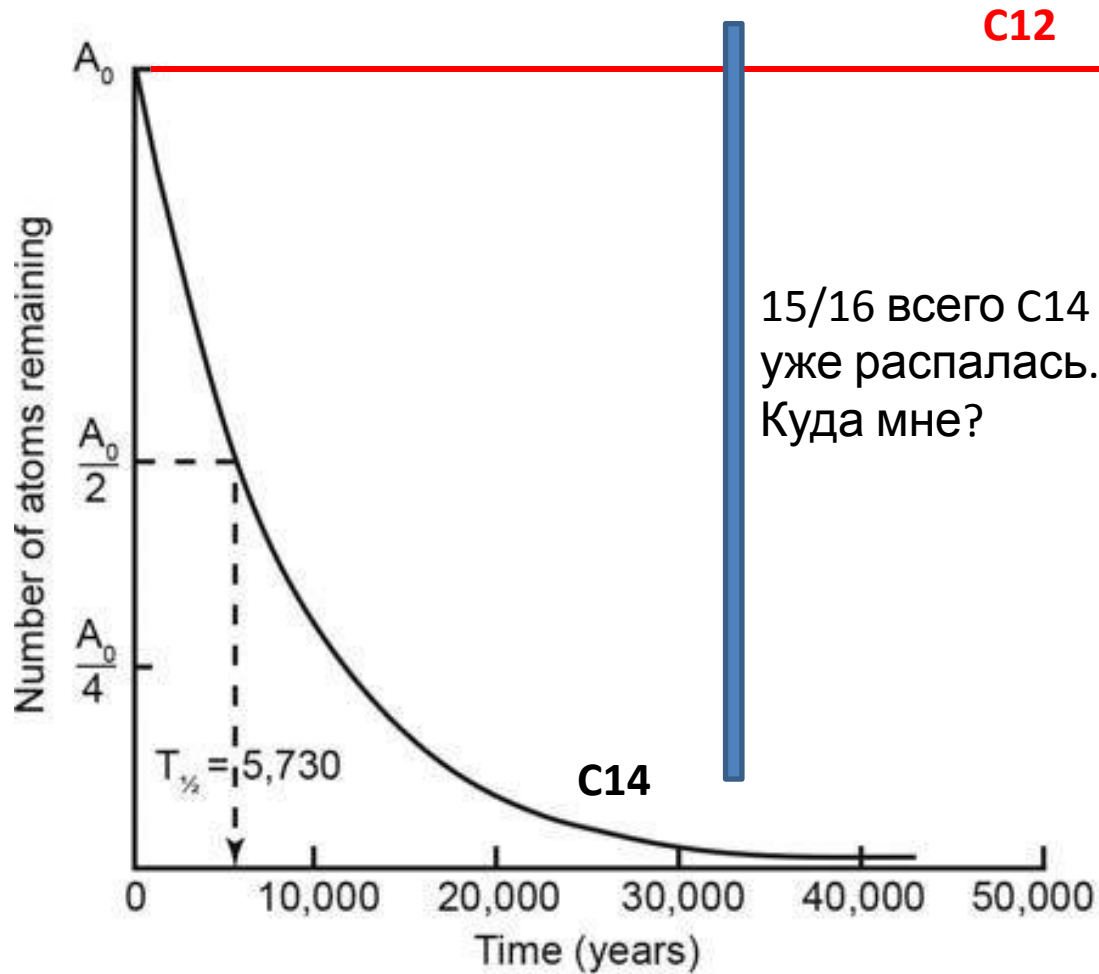


# Как угадать возраст?



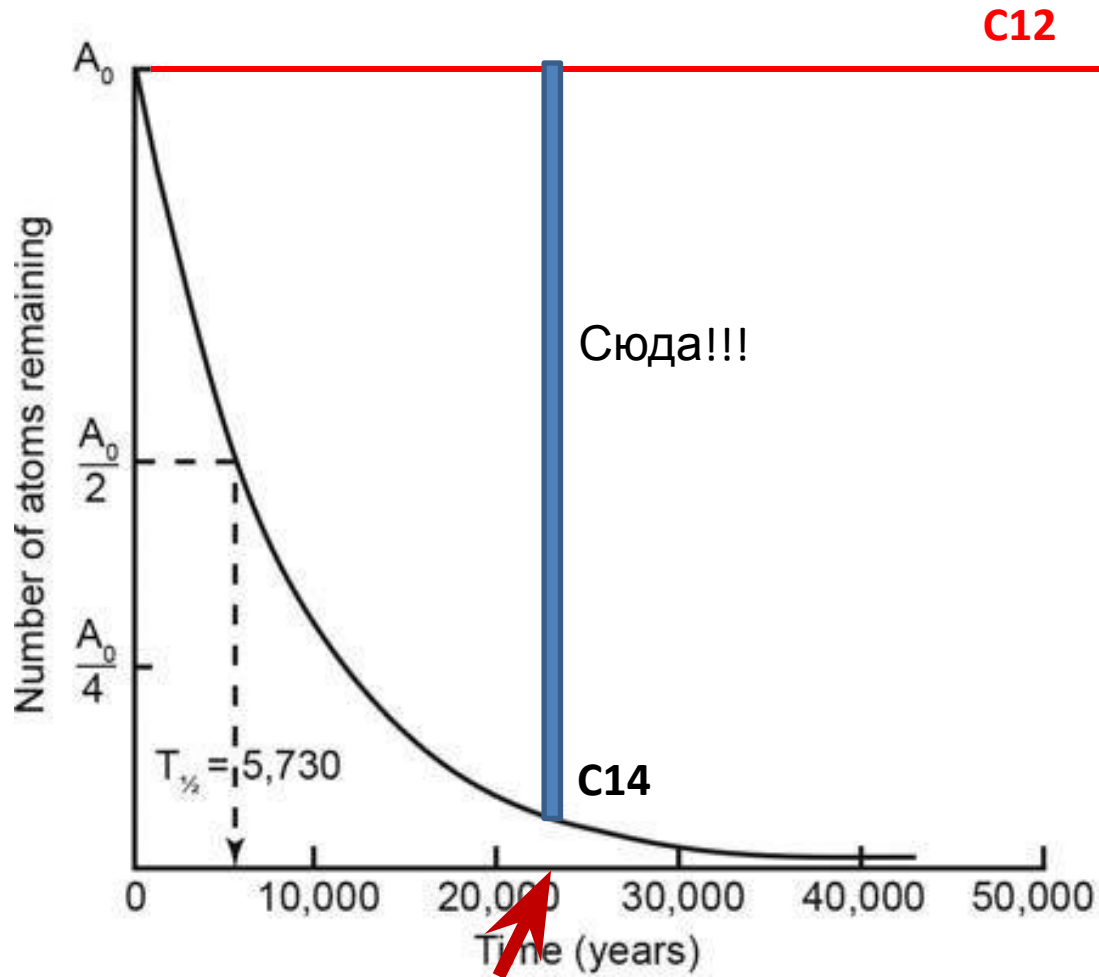
**5730**

# 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



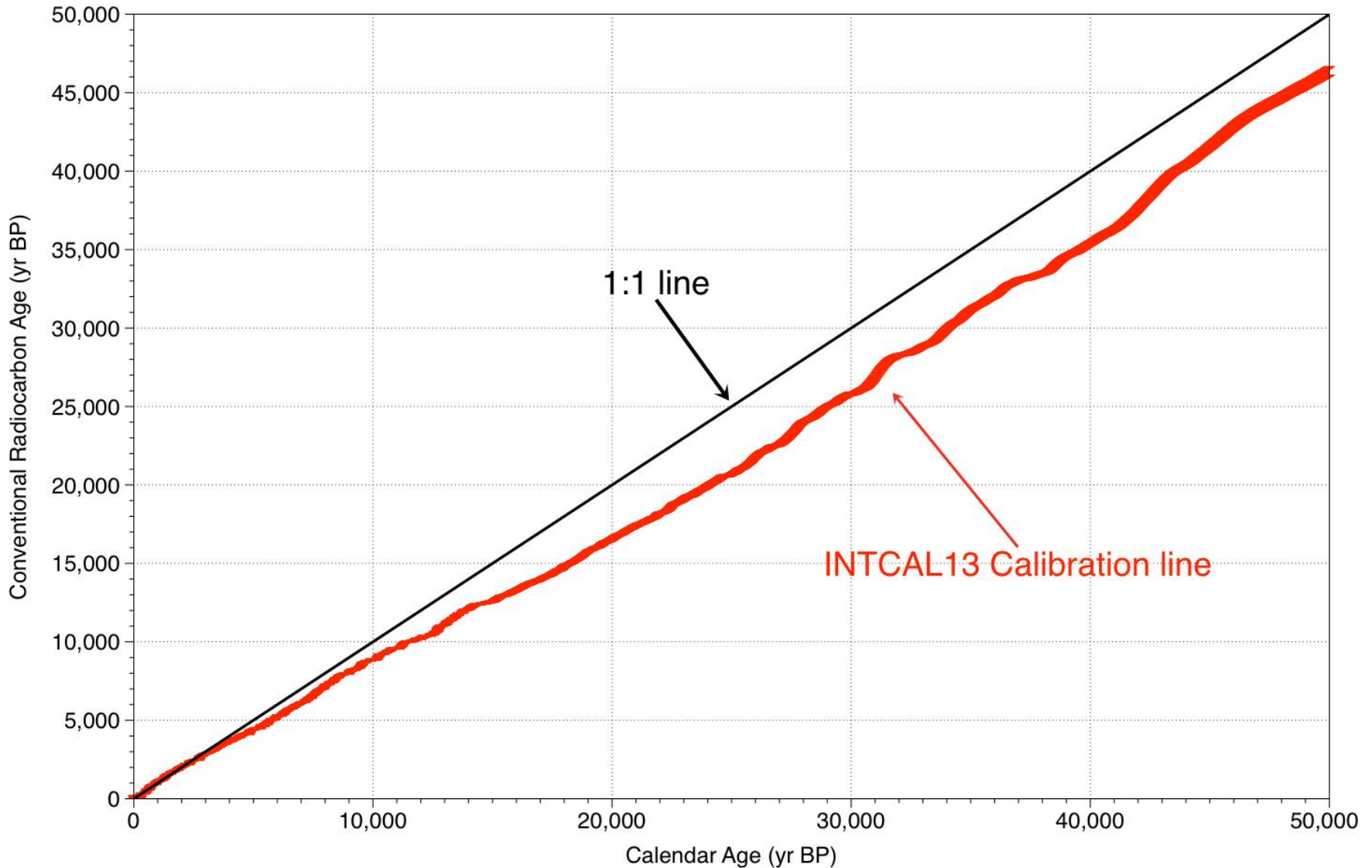
**Старый Тикко. 9550 лет.  
Швеция.**

# Старожилы Земли



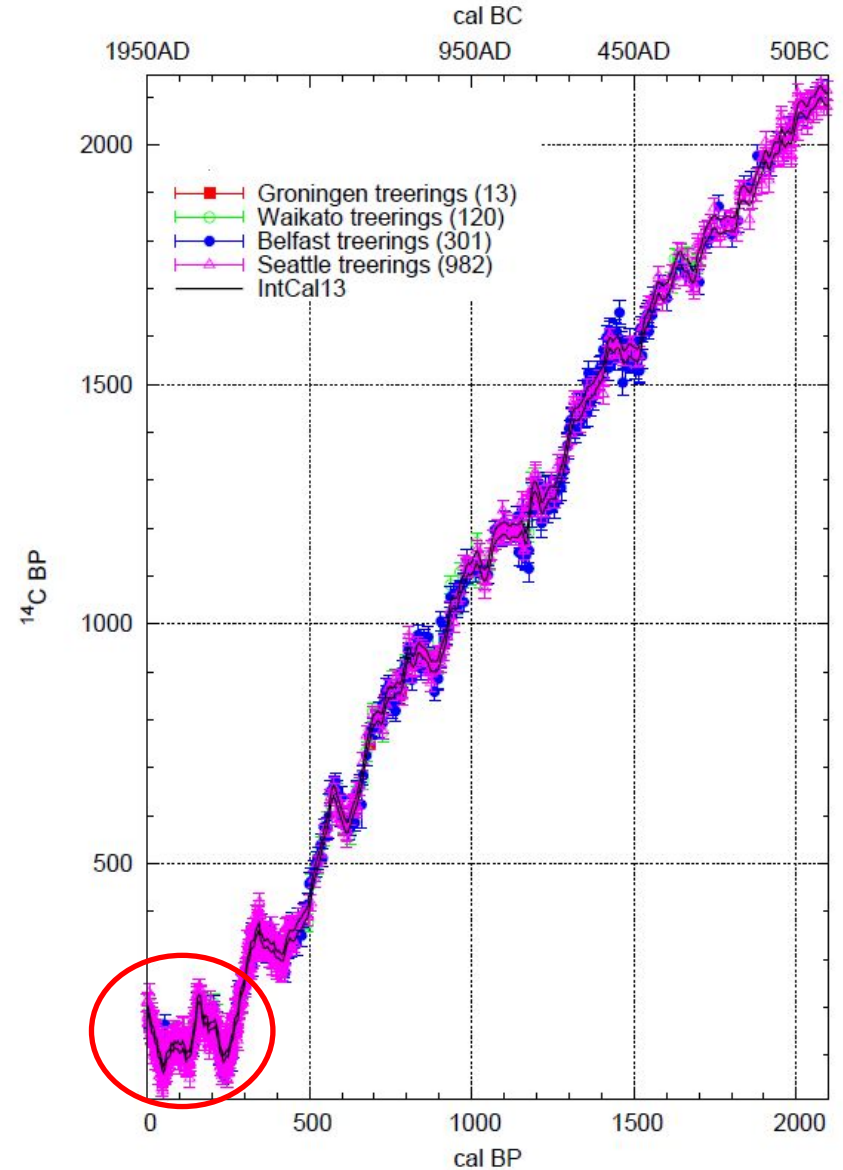
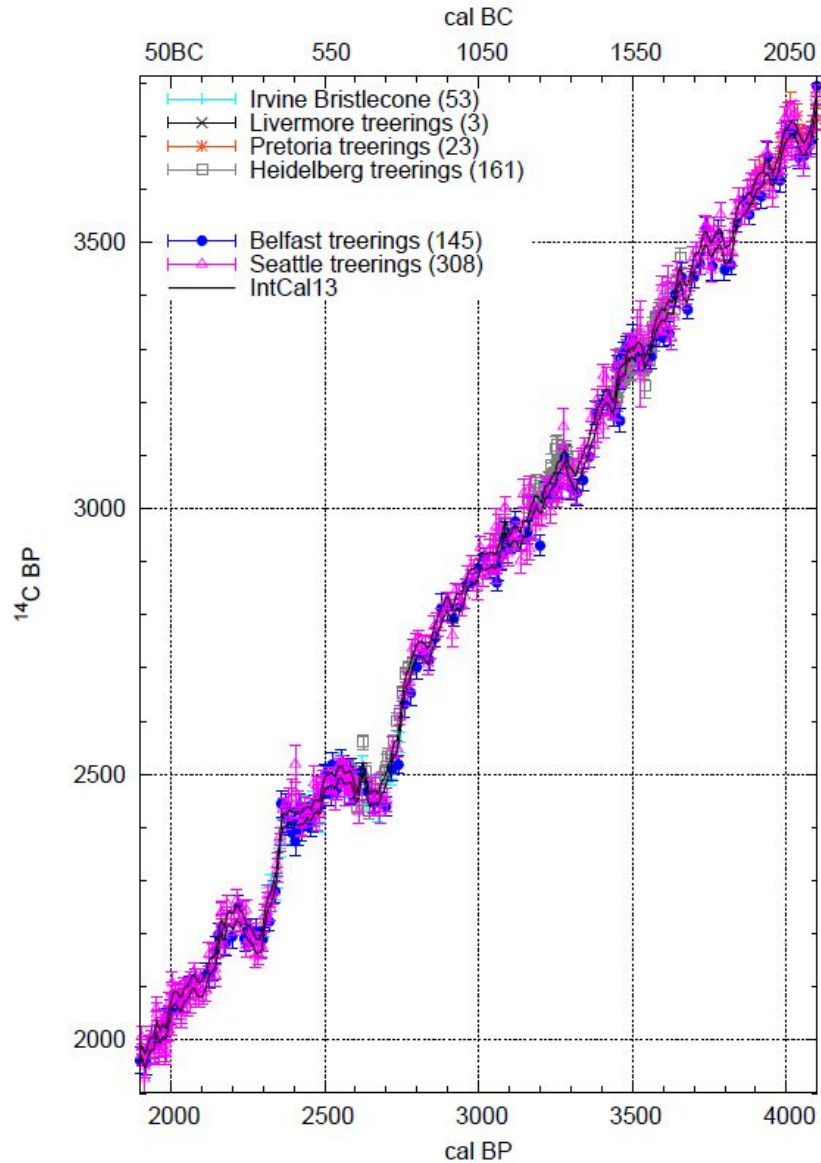
**Колония Пандо. 80000 лет. Юта,  
США.**

# Калибровочная кривая INTCAL13 (2013)





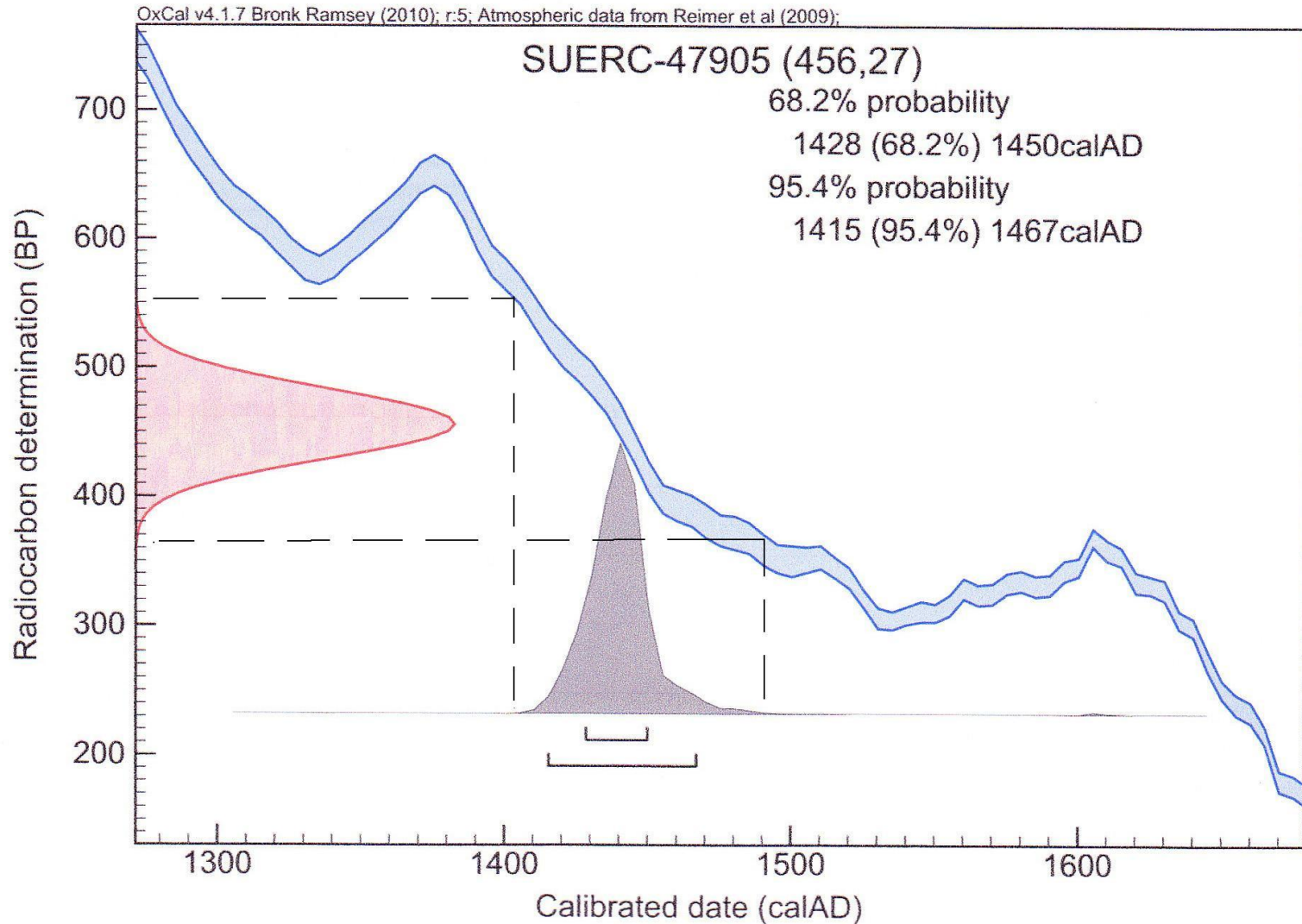
# Калибровочная кривая INTCAL13 (2013)



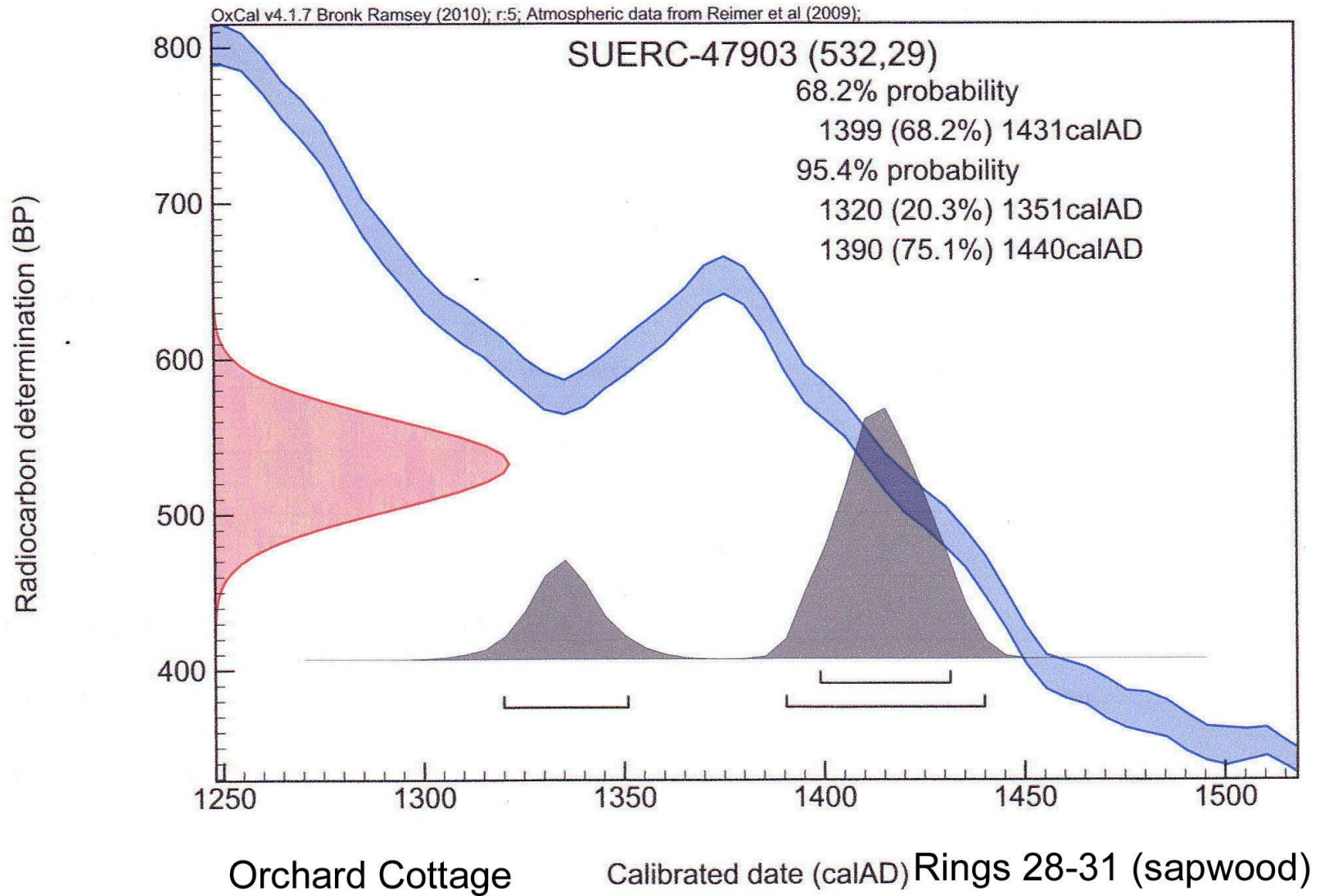
*Как это выглядит*



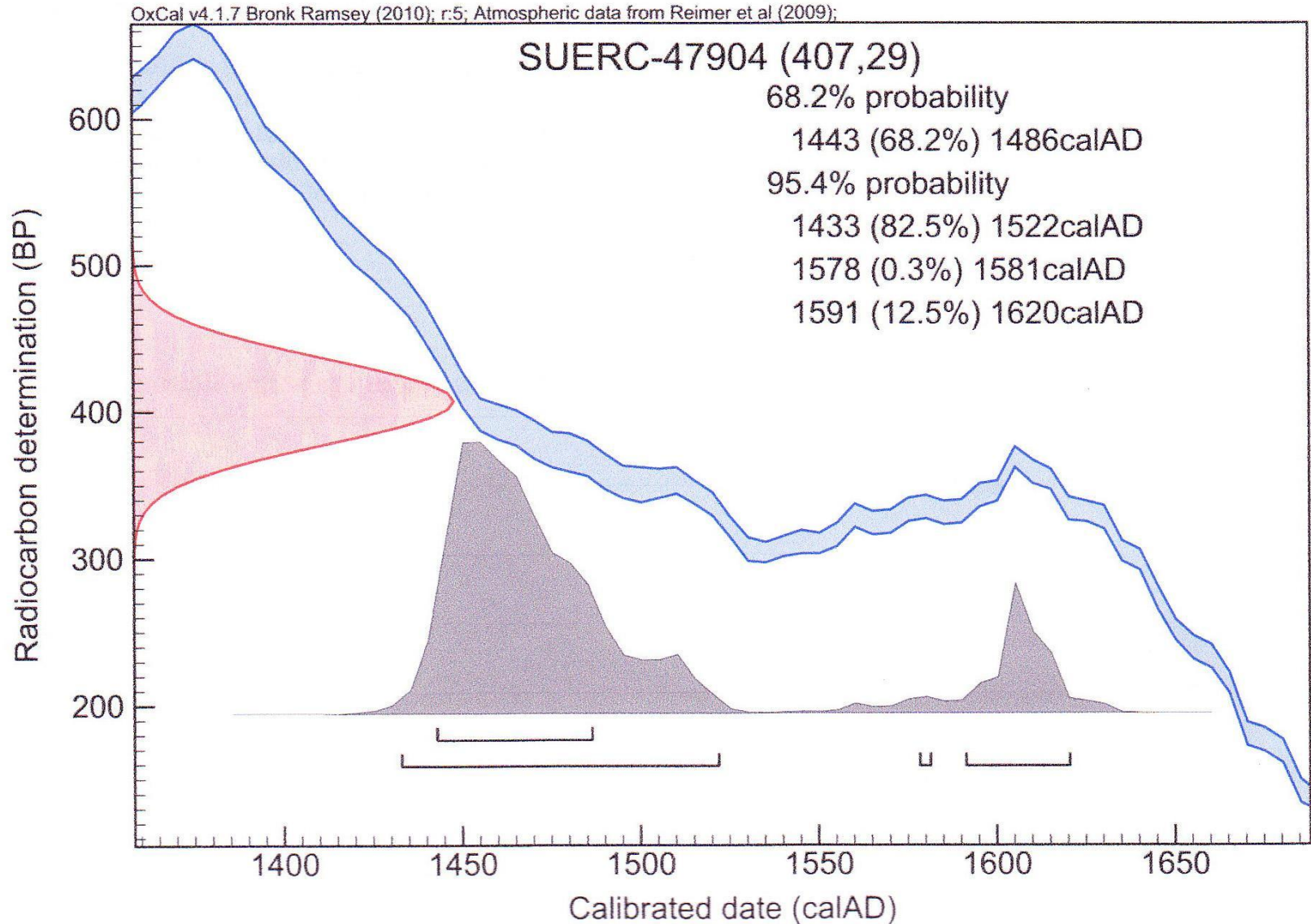
# Типичный результат радиоуглеродного анализа



# Типичный результат радиоуглеродного анализа

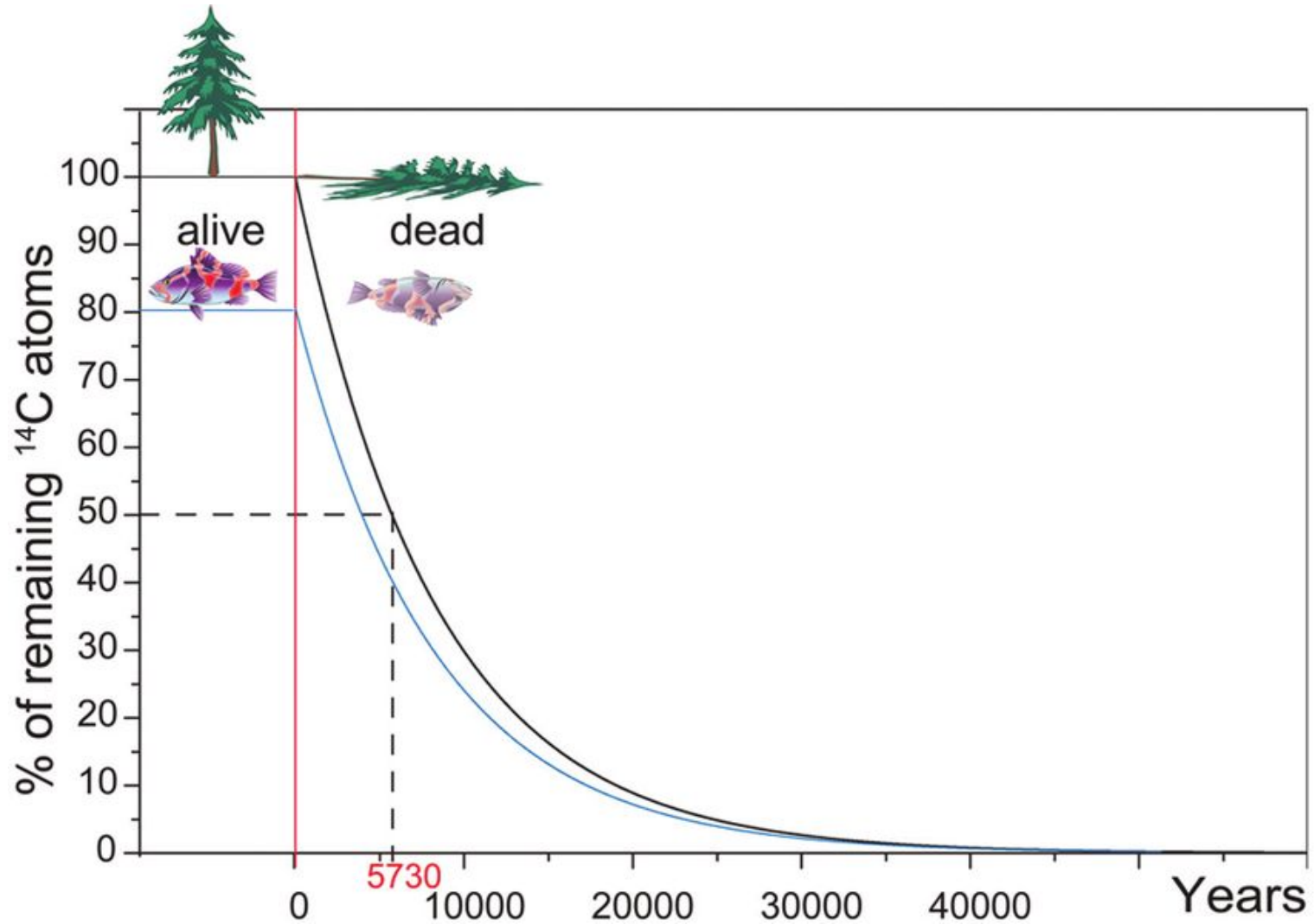


# Типичный результат радиоуглеродного анализа



**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**

# Резервуарный эффект



# Методика Wiggle-Matching

