

# *Радиоуглеродный анализ*

**Естественные науки в помощь гуманитарным**

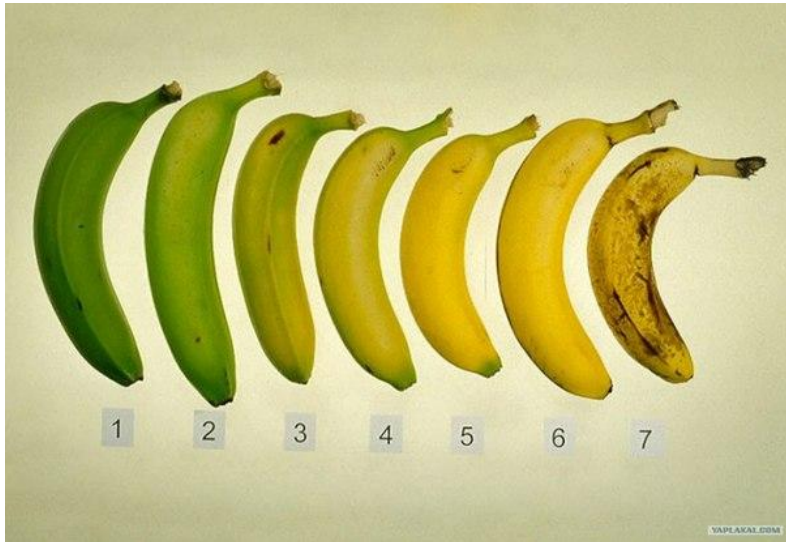
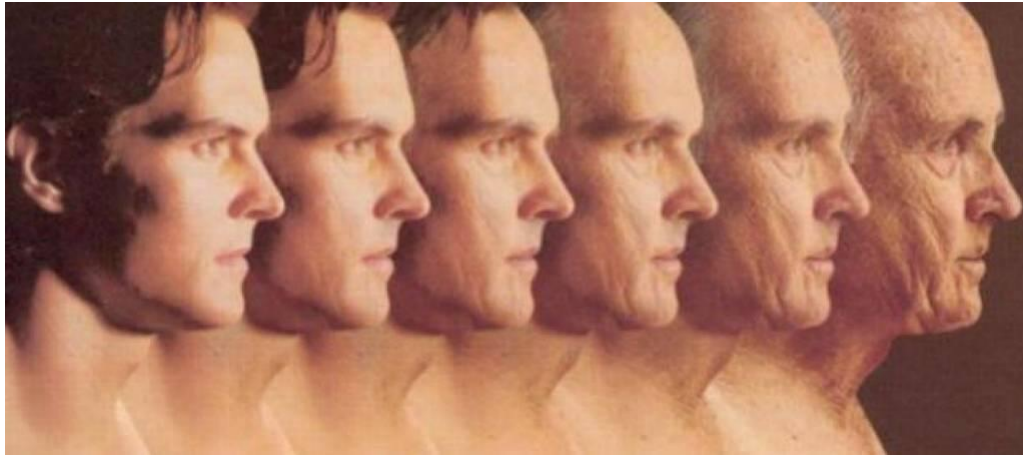
# В чем задача метода?



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

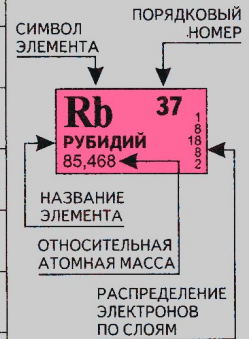
## ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

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	жгг			
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								жгжг		
	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	жгжгг		
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									жгжгжг	
	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	жгжгжгг		
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								жгжгжгжг	
	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]												жгжгжгжгжг
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 [268]	<b>110</b>									жгжгжгжгжгжг
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 <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
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

### АКТИНОИДЫ

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> менделеев [258]	102 <b>No</b> нобелий [259]	103 <b>Lr</b> лоуренсий [260]
----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

# Биологические, химические и физические основы метода

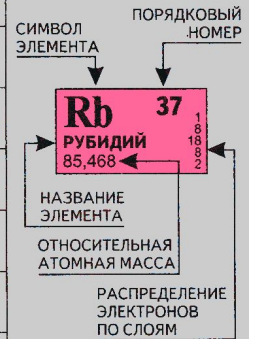
## ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

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
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
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							

www.calc.ru



Д.И. Менделеев  
1834–1907



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

### Л А Н Т А Н О И Д Ы

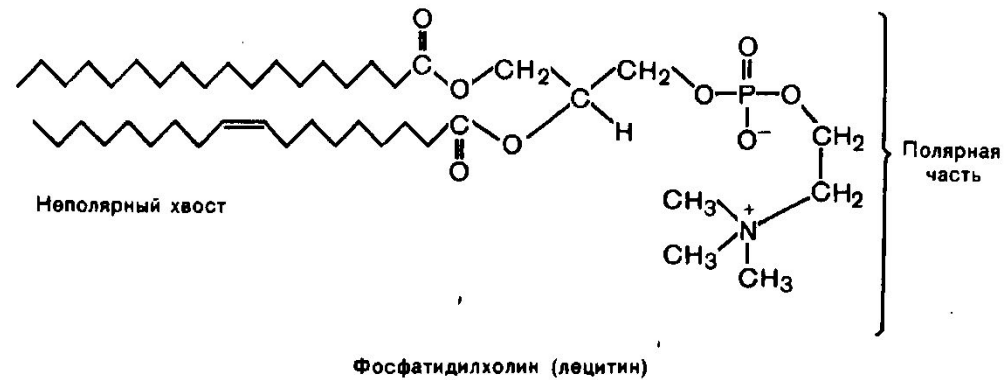
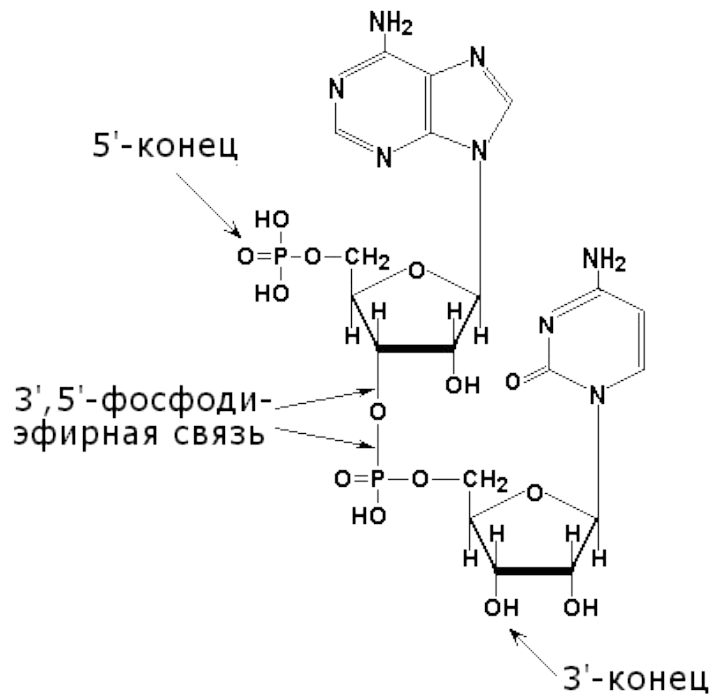
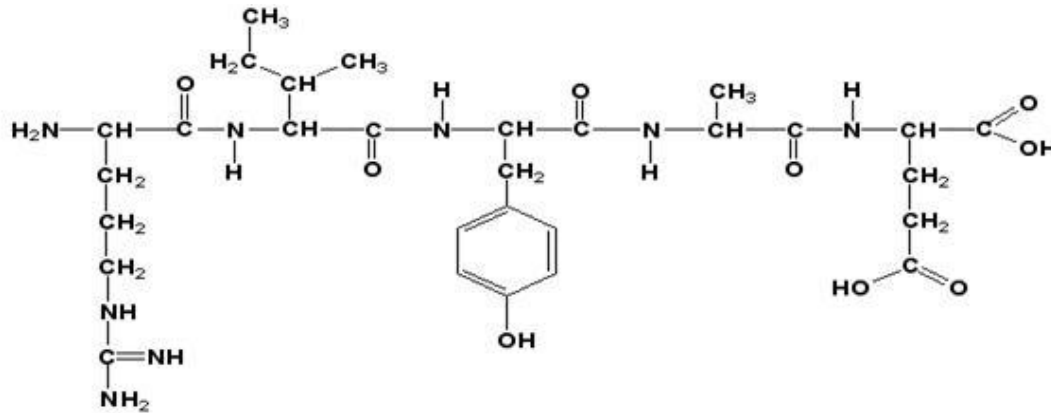
57 <b>La</b> лантан 138,906	58 <b>Ce</b> церий 140,12	59 <b>Pr</b> празеодим 140,908	60 <b>Nd</b> неодим 144,24	61 <b>Pm</b> прометий [145]	62 <b>Sm</b> самарий 150,4	63 <b>Eu</b> европий 151,96	64 <b>Gd</b> гадолиний 157,25	65 <b>Tb</b> тербий 158,926	66 <b>Dy</b> диспрозий 162,5	67 <b>Ho</b> гольмий 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

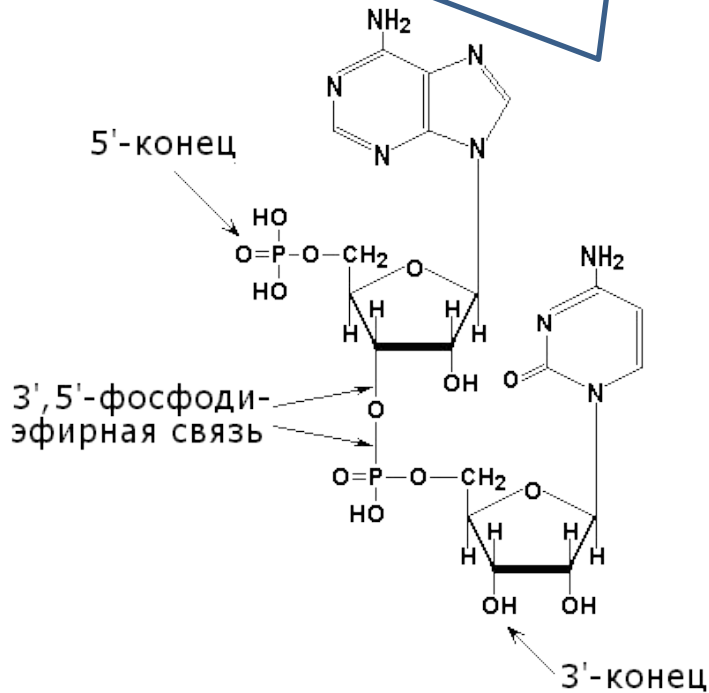
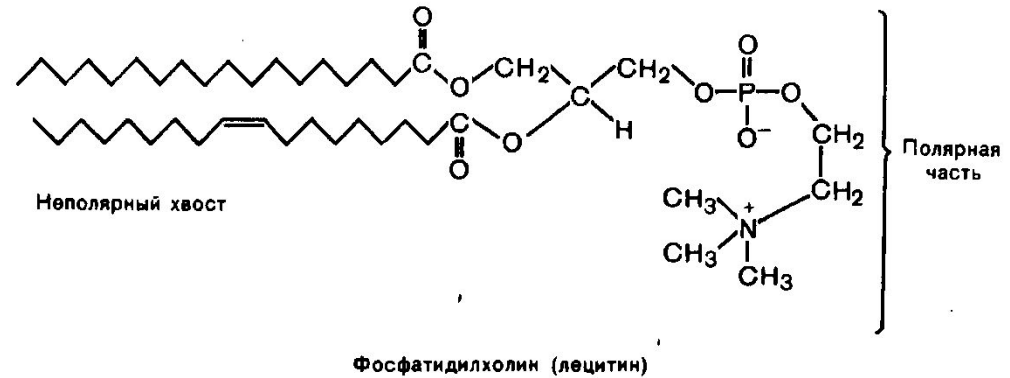
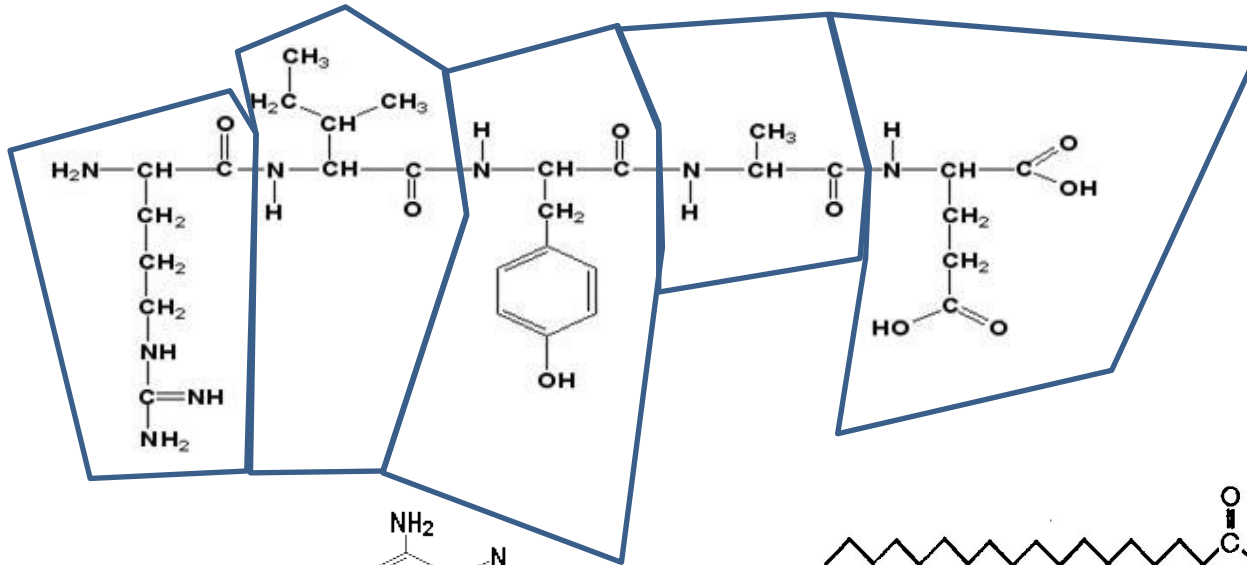
89 <b>Ac</b> актиний [227]	90 <b>Th</b> торий 232,038	91 <b>Pa</b> протактиний [231]	92 <b>U</b> уран 238,29	93 <b>Np</b> нептуний [237]	94 <b>Pu</b> плутоний [244]	95 <b>Am</b> амерций [243]	96 <b>Cm</b> кюрий [247]	97 <b>Bk</b> берклий [247]	98 <b>Cf</b> калфорний [251]	99 <b>Es</b> эйзенштейний [254]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



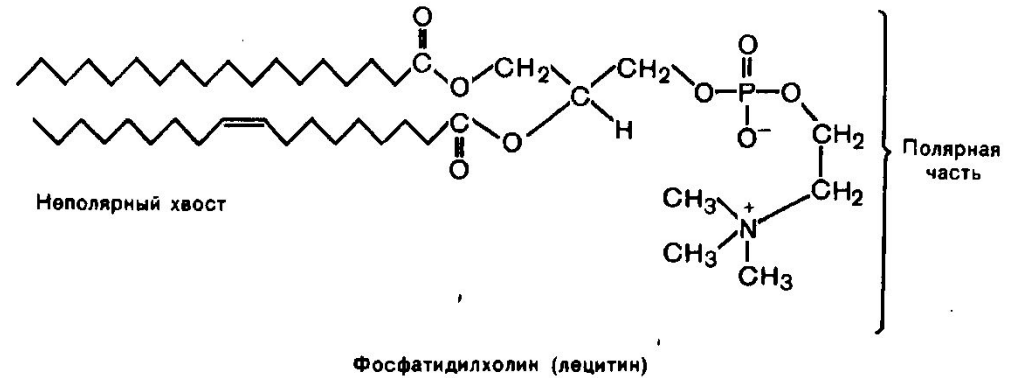
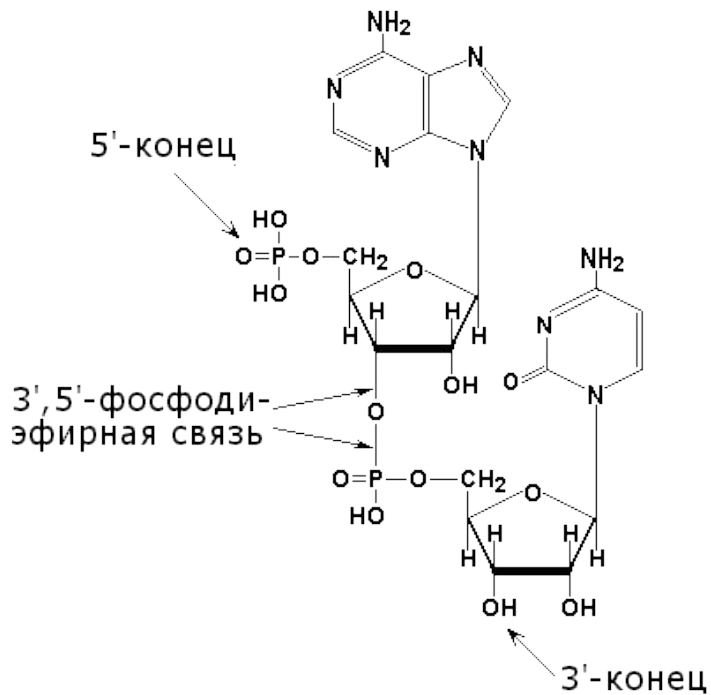
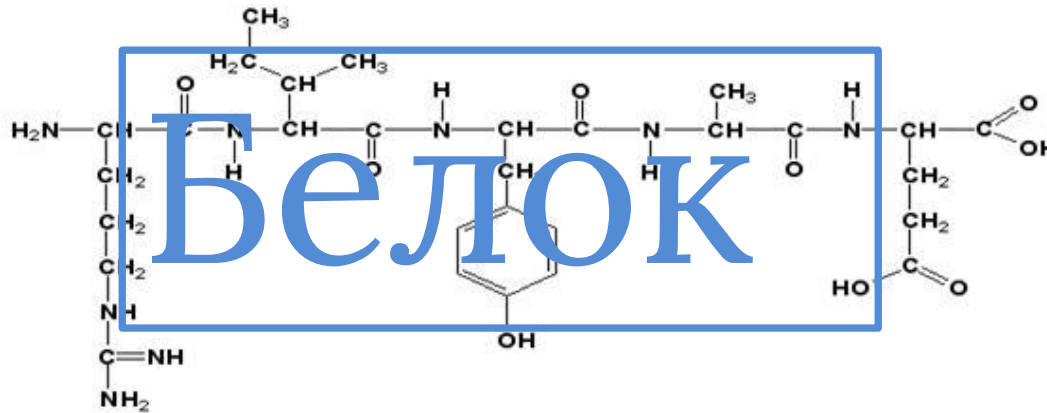
# Углерод – основа жизни на Земле



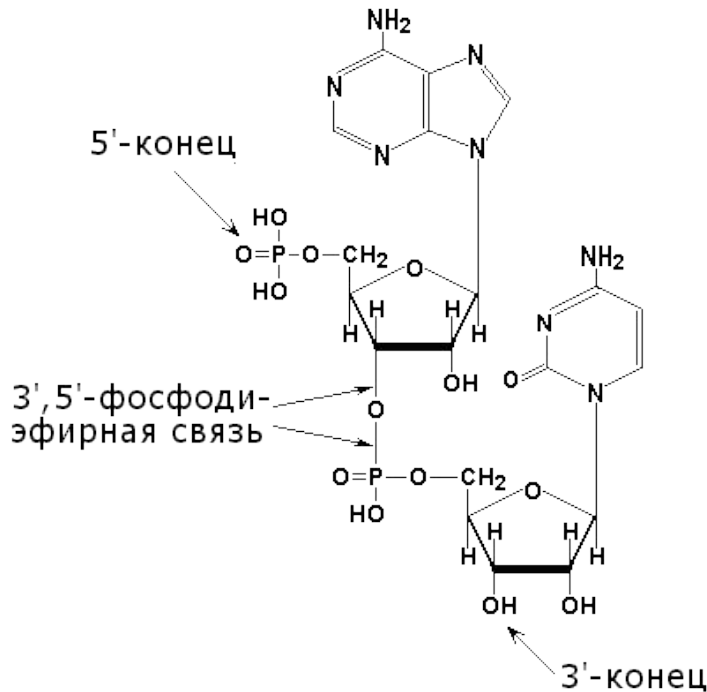
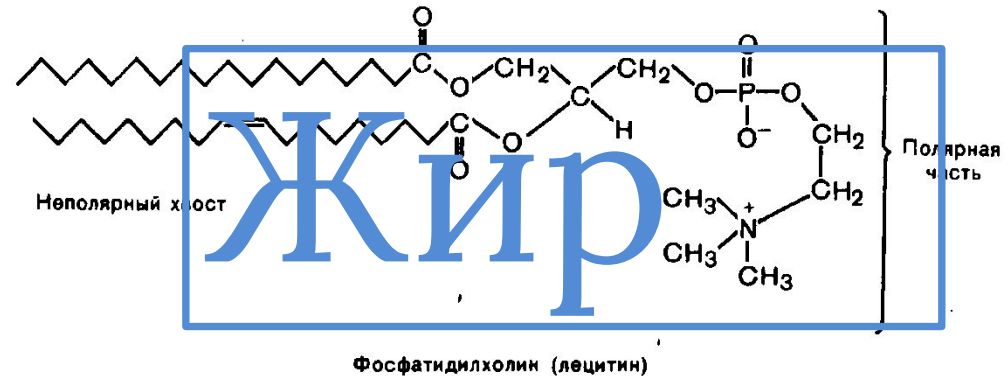
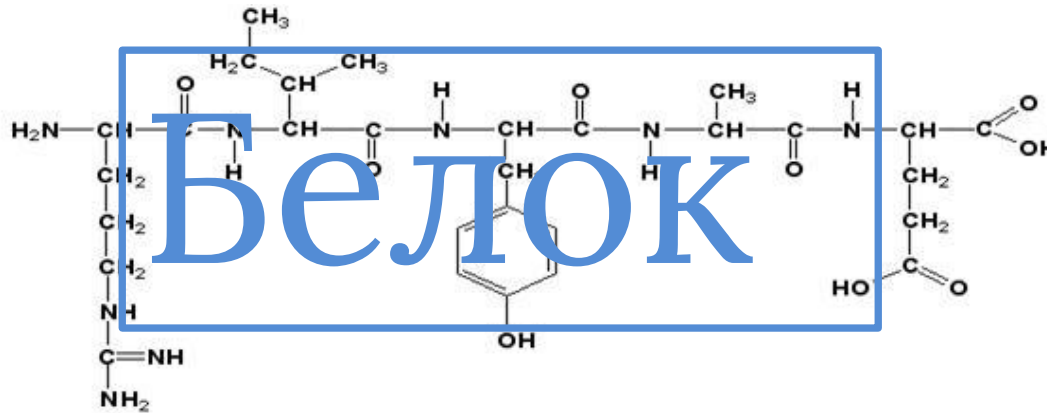
# Углерод – основа жизни на Земле



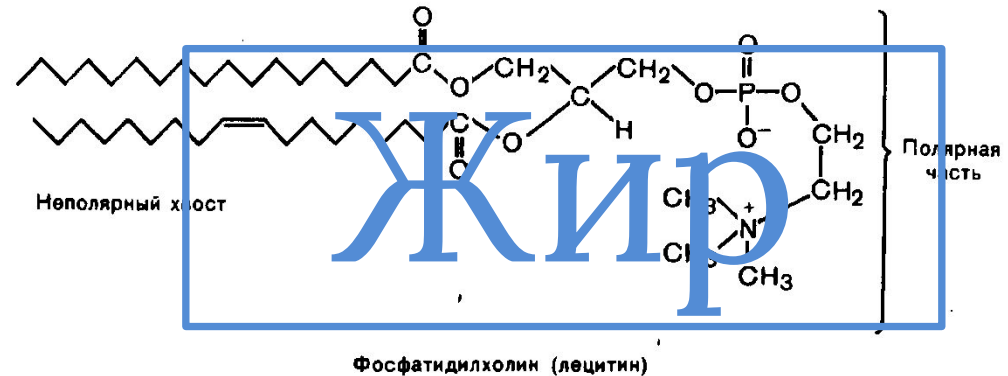
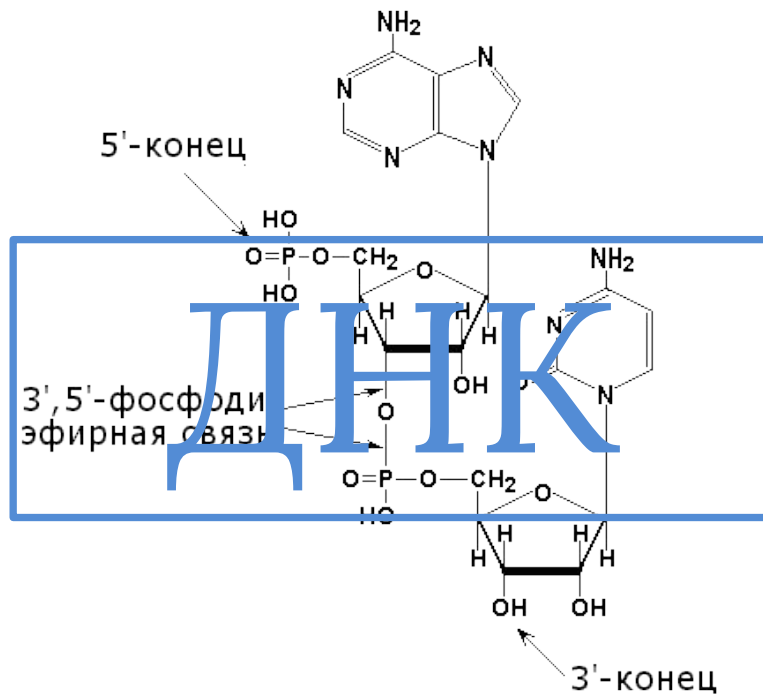
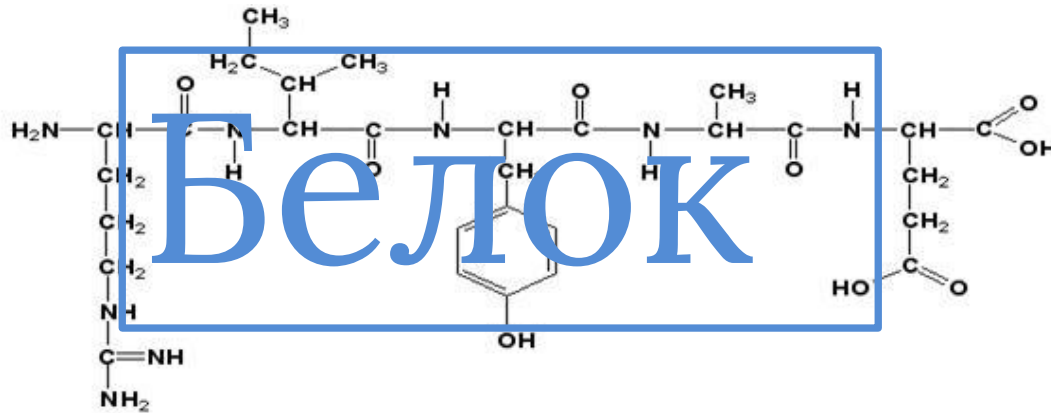
# Углерод – основа жизни на Земле



# Углерод – основа жизни на Земле



# Углерод – основа жизни на Земле



# Круговорот углерода



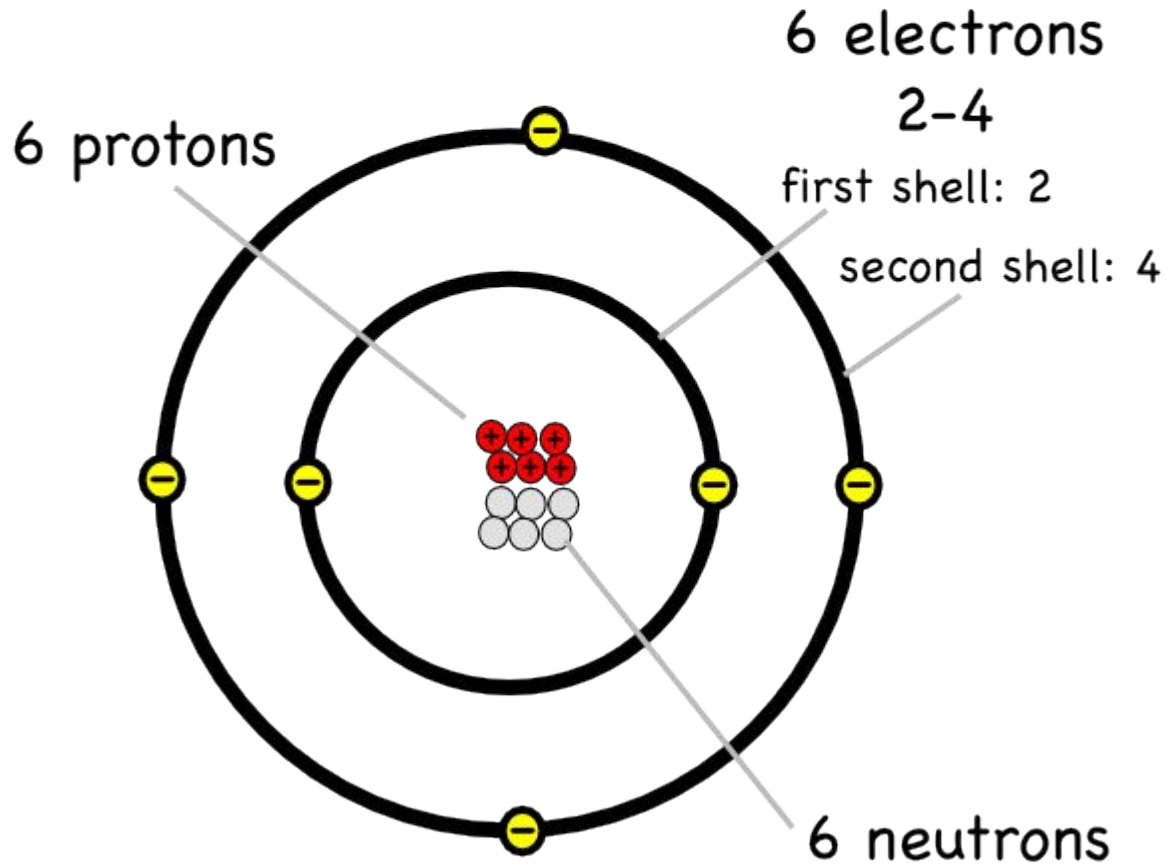
# Круговорот углерода



# Атом углерода

12 C

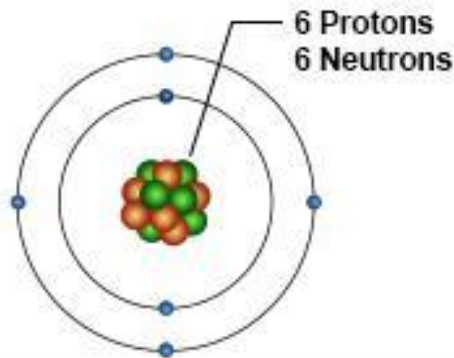
6 protons (+)  
6 electrons (-)  
6 neutrons  
electron configuration: 2-4



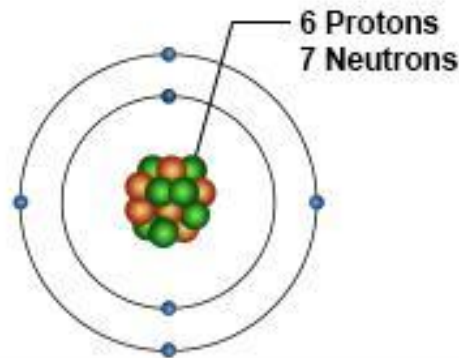


# Изотопы углерода

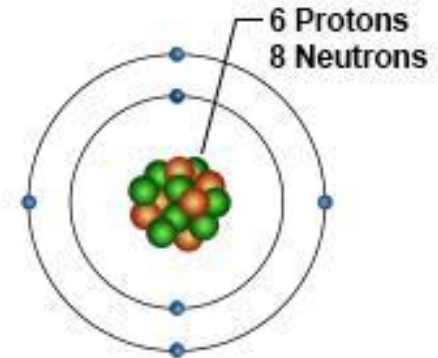
## NATURAL ISOTOPES OF CARBON



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

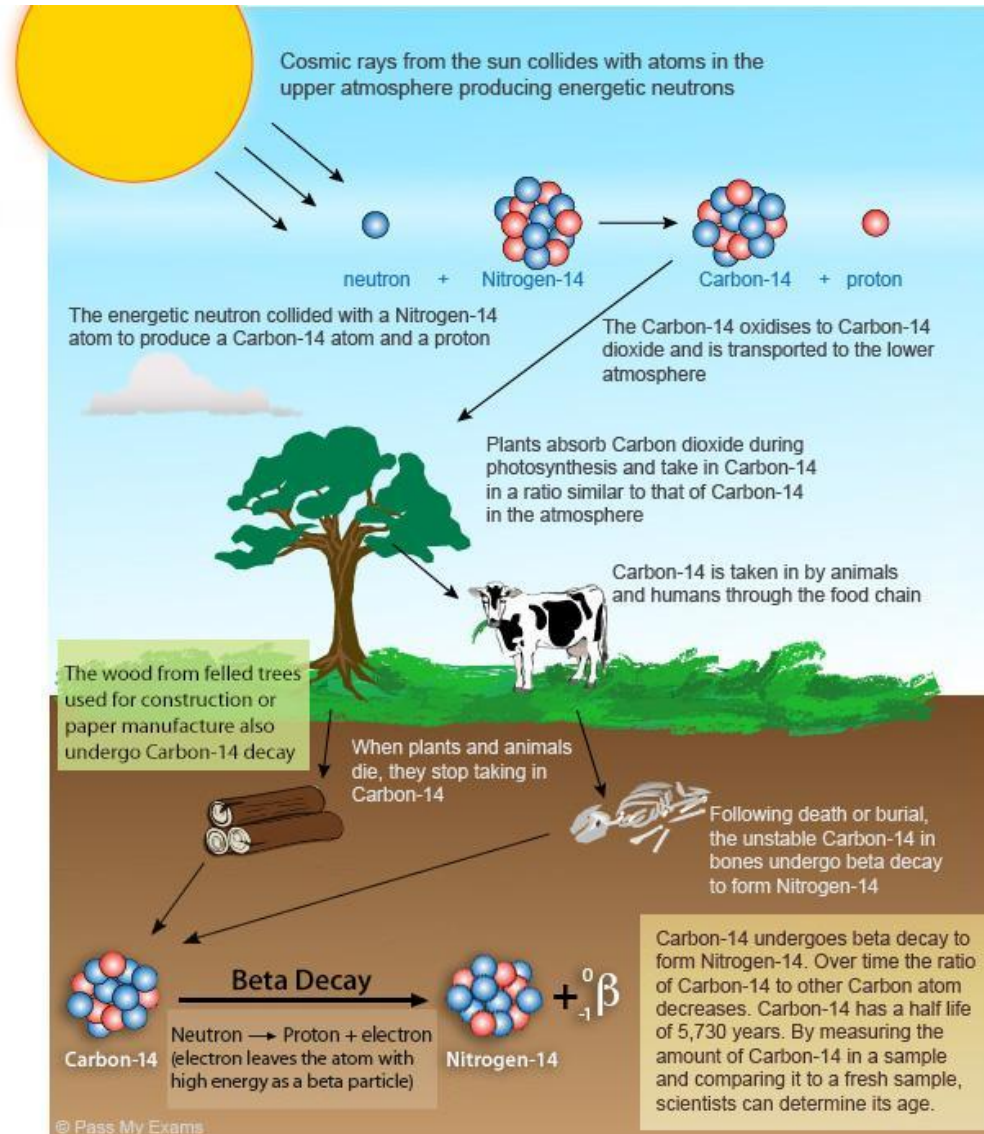


**Carbon-13**  
(6P + 7N)  
Atomic Weight = 13  
Atomic Mass = 13.00335 u  
Abundance: 1.109%

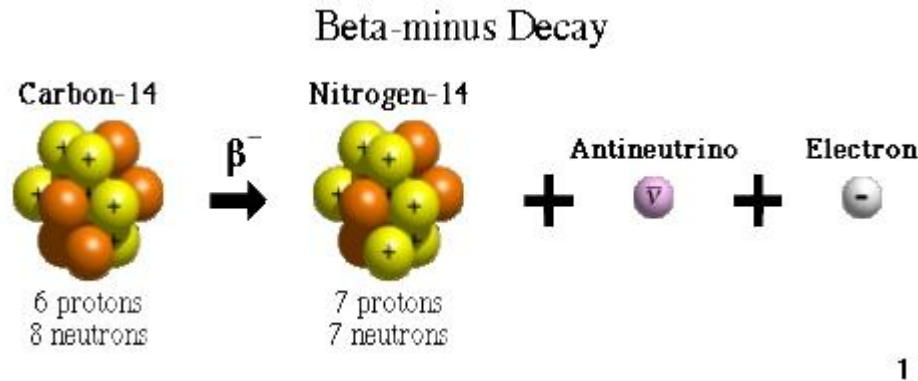


**Carbon-14**  
(6P + 8N)  
Atomic Weight = 14  
Isotope Mass: 14.003241 u  
Abundance: 1 Part Per Trillion  
Half-life: 5,730 ± 40 Years

# Изотопы углерода



# Радиоактивность углерода C-14

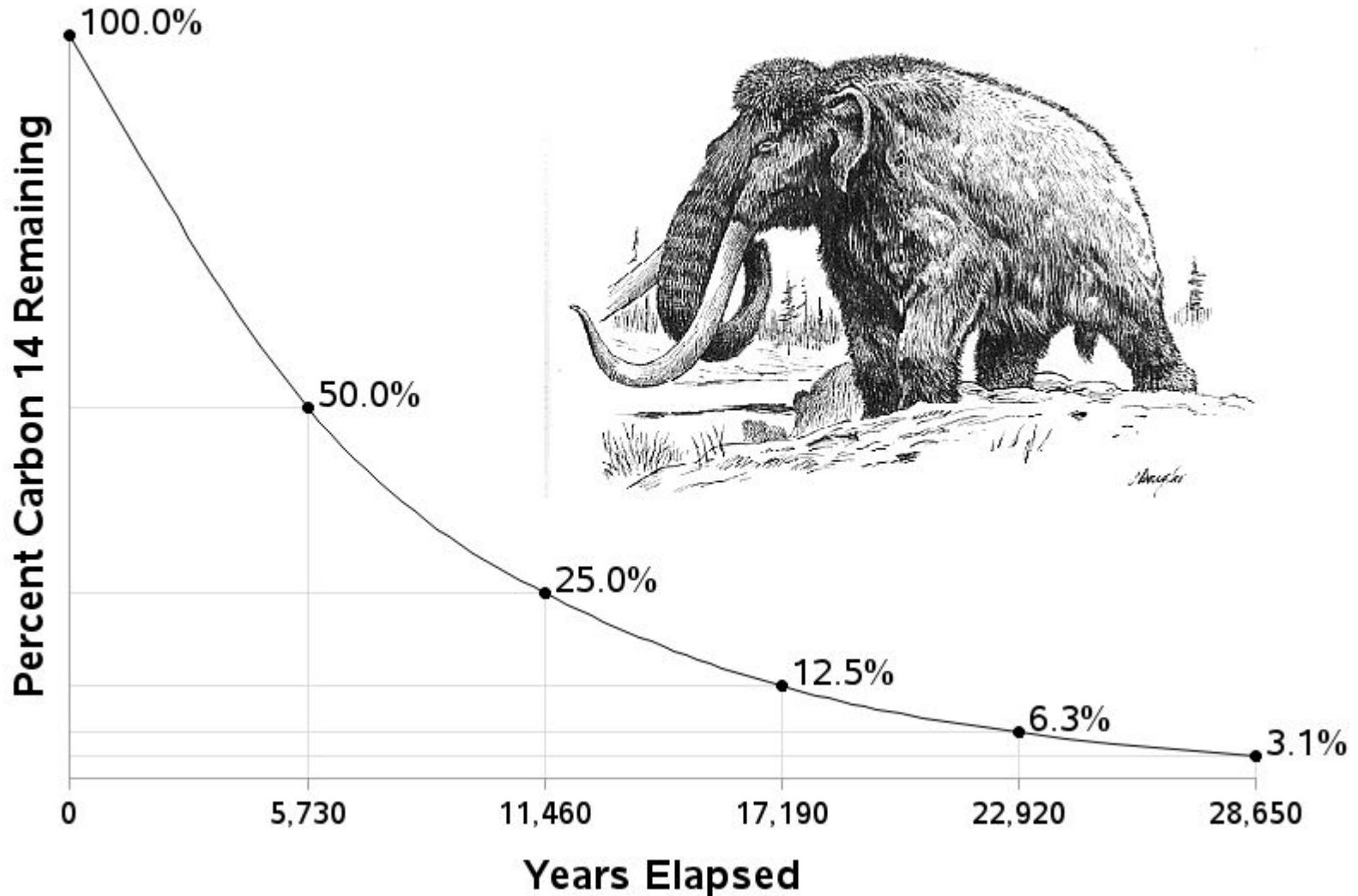


Период полураспада  $T_{1/2}$  радиоуглерода составляет 5730 лет. За это время  $1/2$  всего радиоуглерода распадется.

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

# Радиоактивность углерода C-14

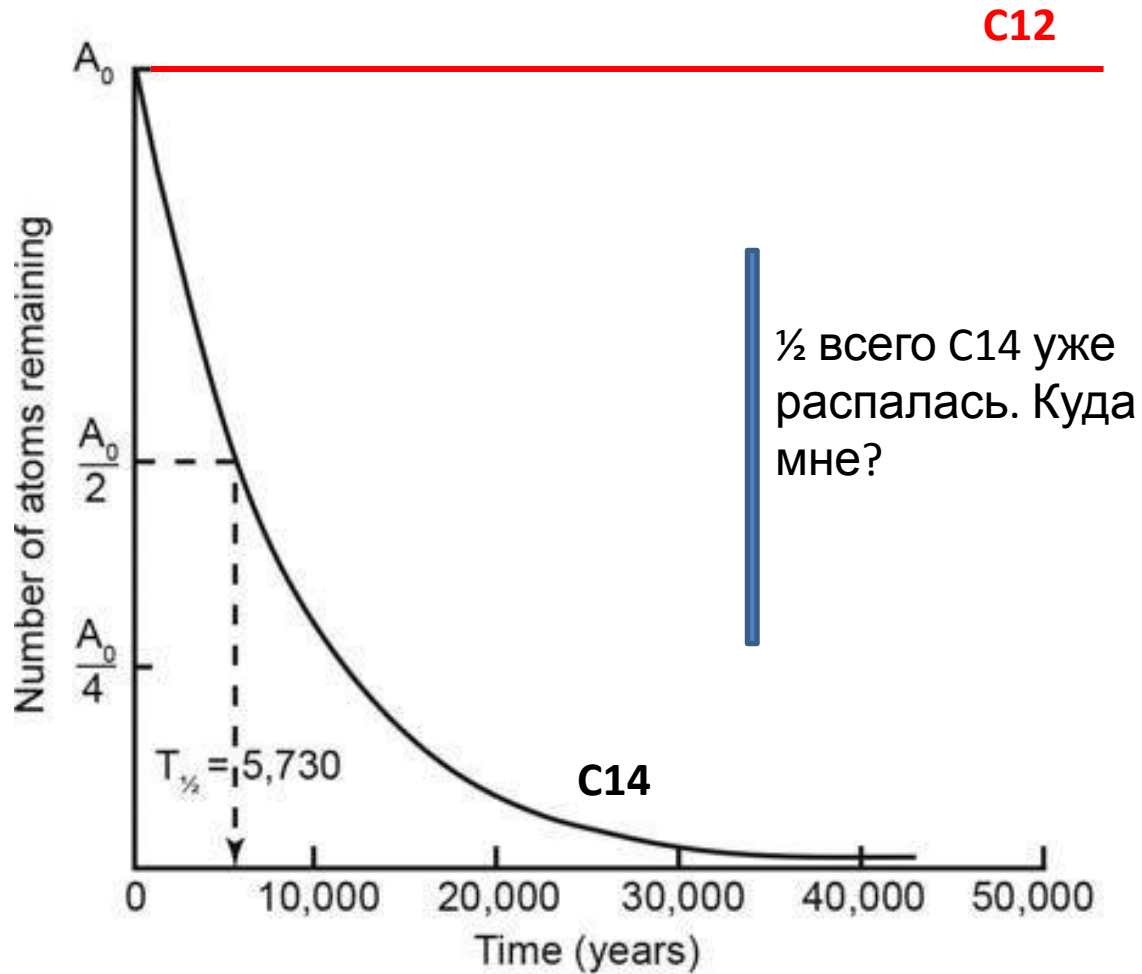
## Rate of Decay for Carbon 14



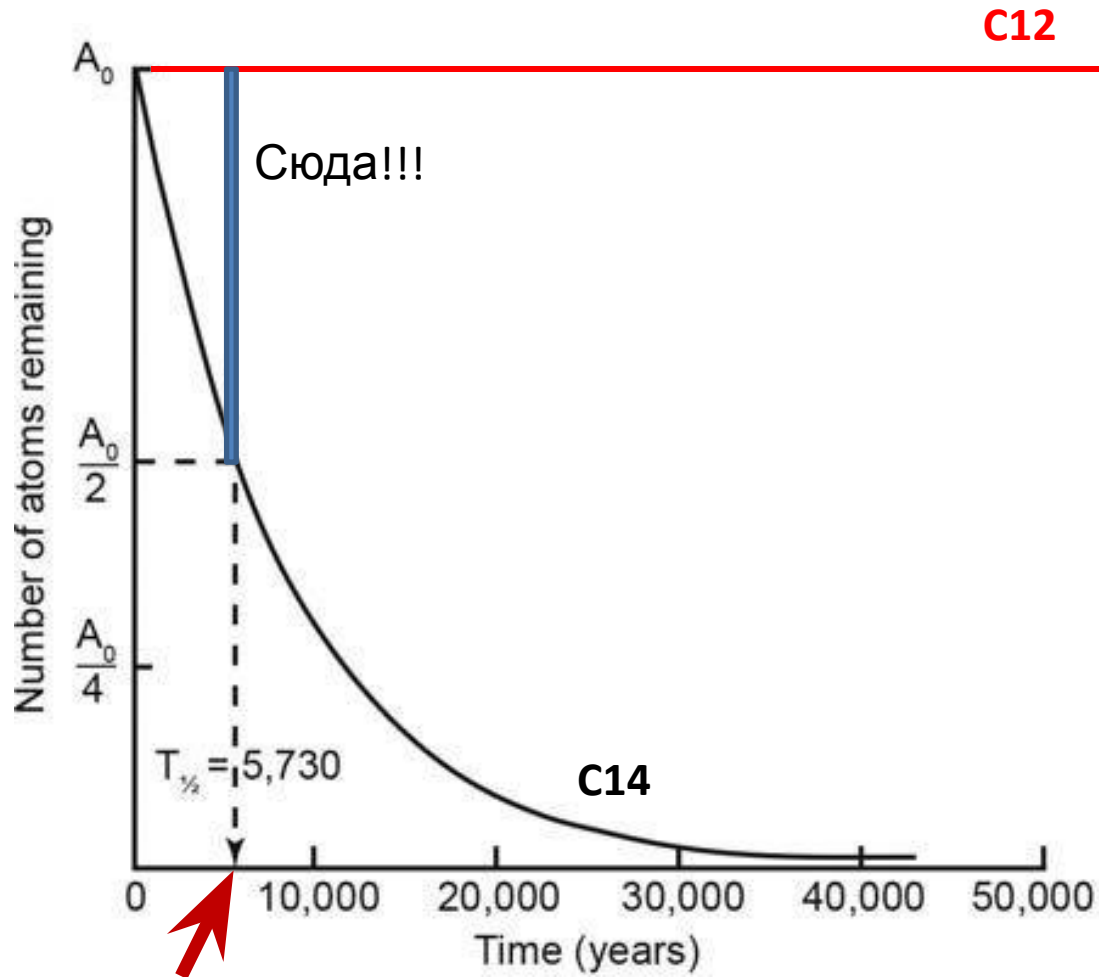
# Итоги

- 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?

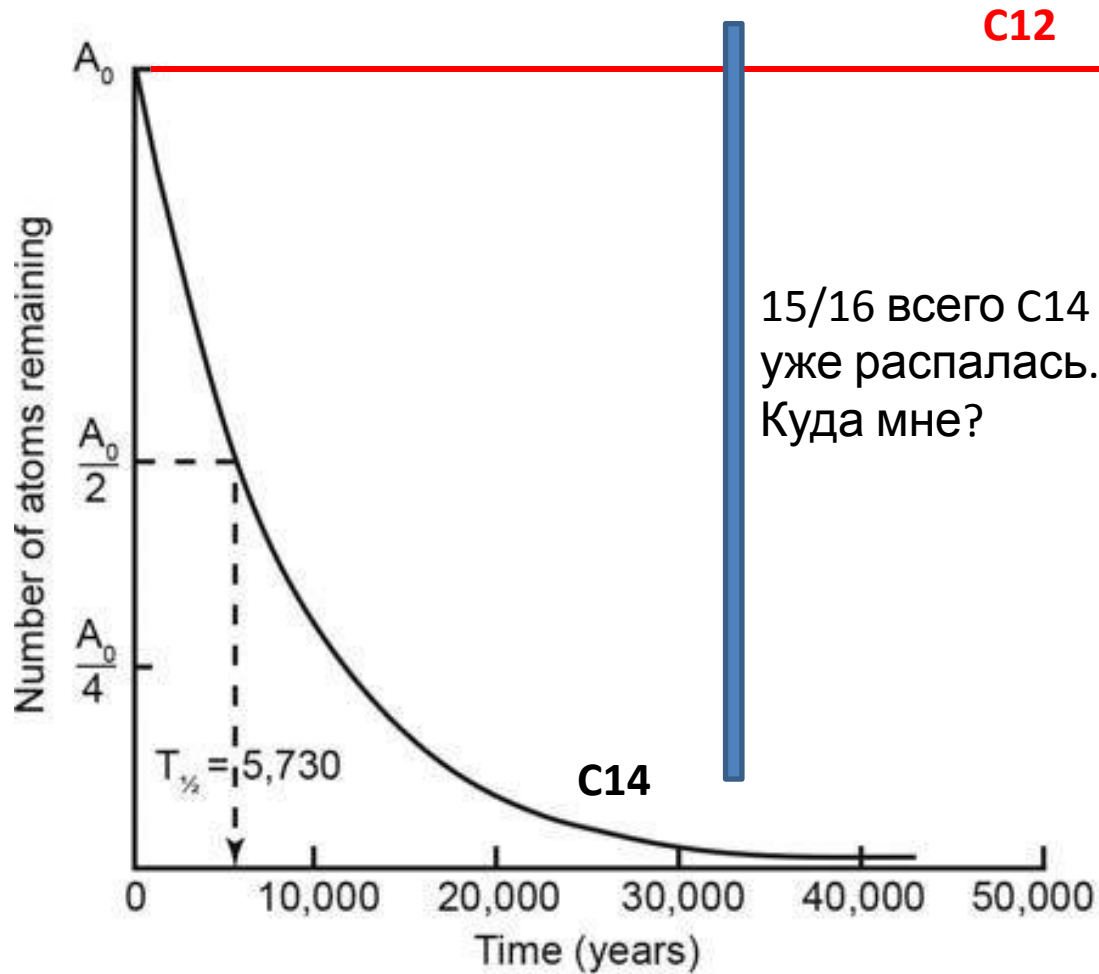


# Как угадать возраст?



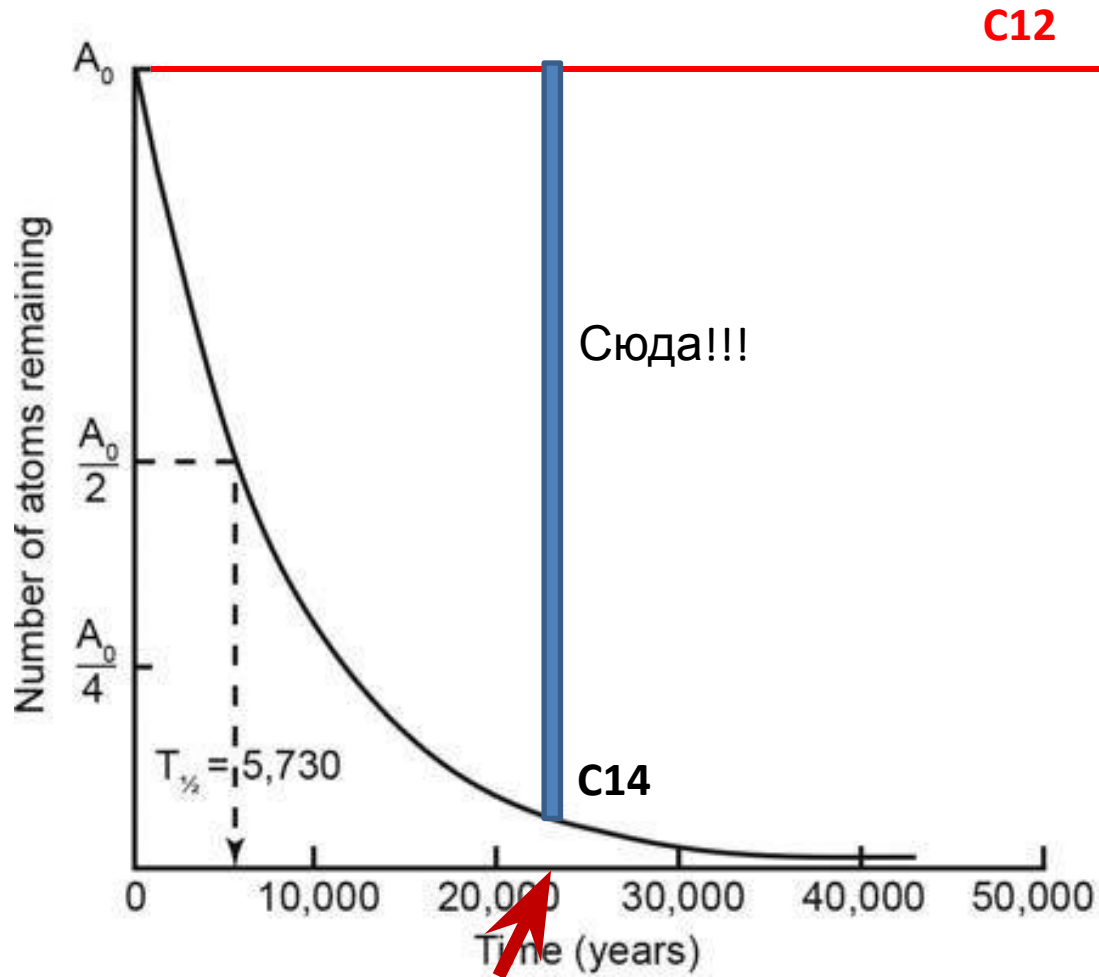
**5730**

# 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



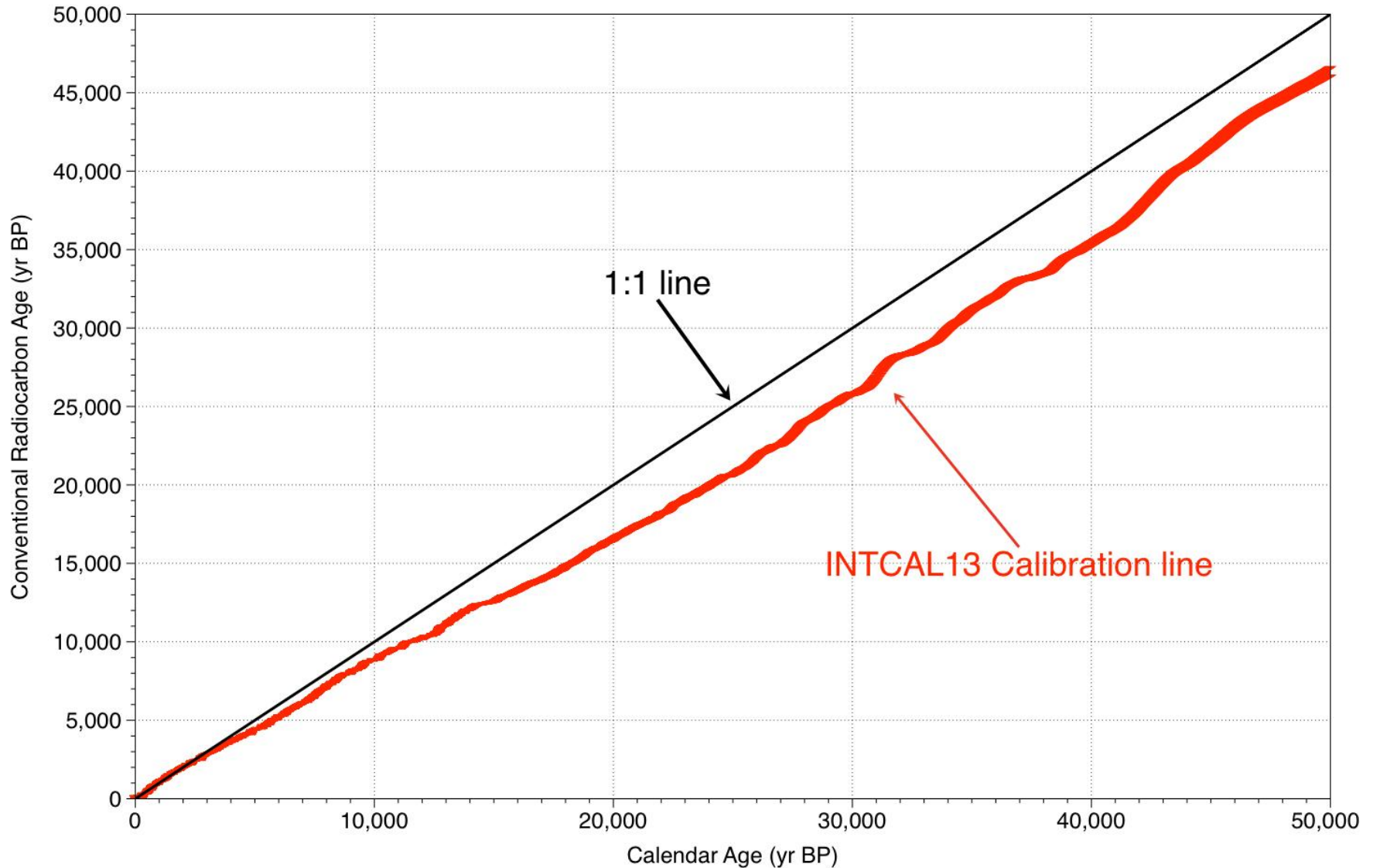
**Старый Тикко. 9550 лет.  
Швеция.**

# Старожилы Земли



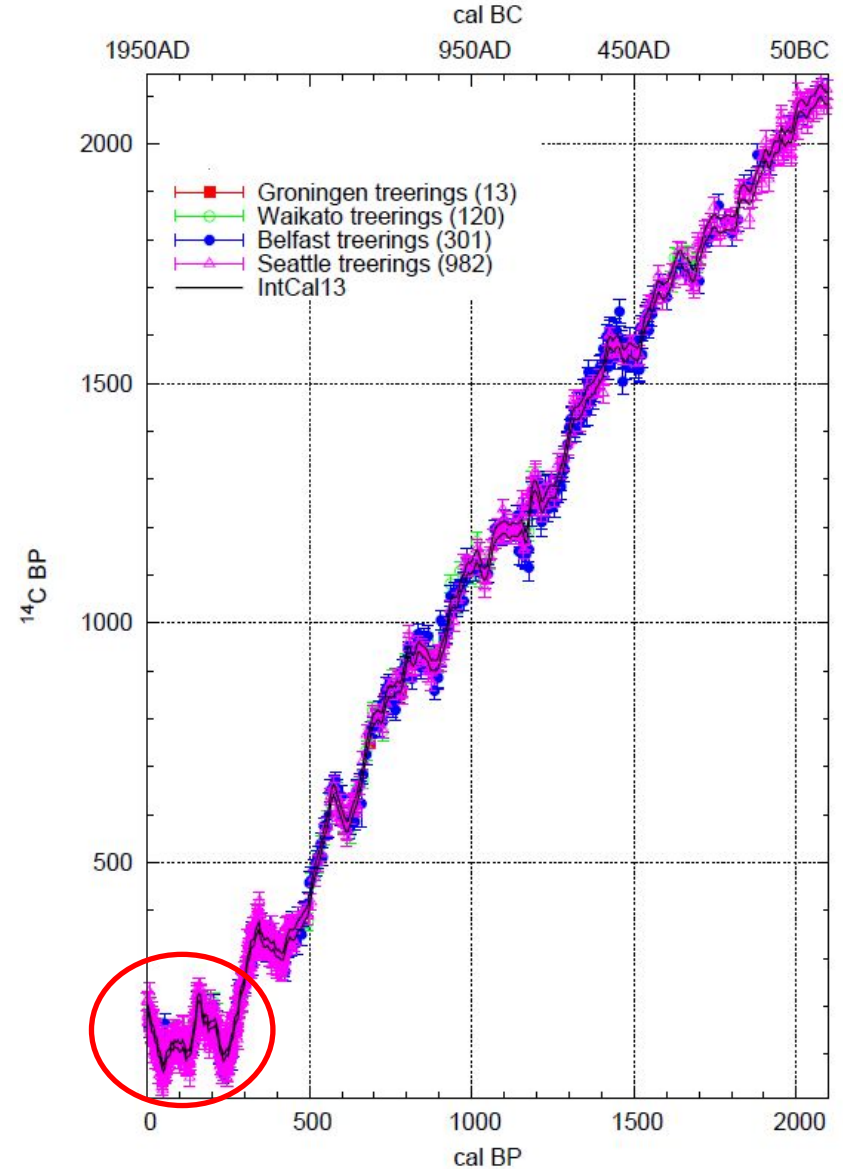
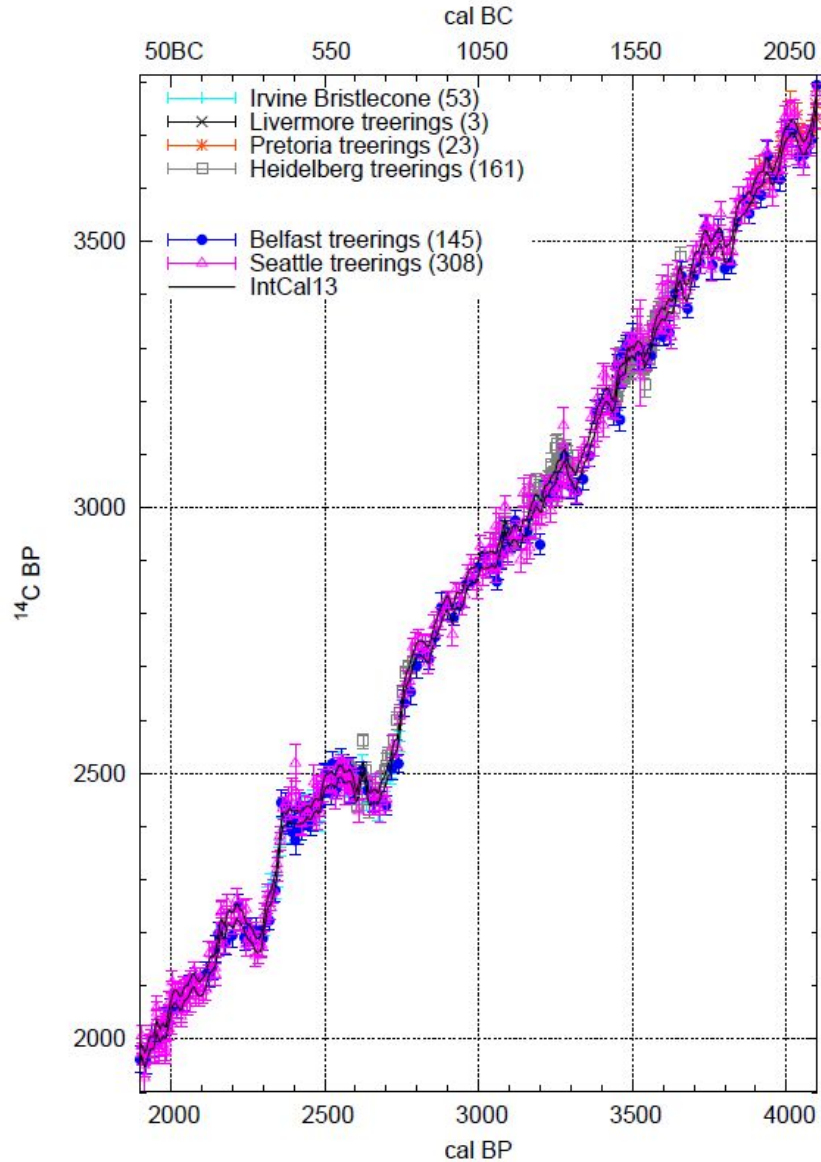
**Колония Пандо. 80000 лет. Юта,  
США.**

# Калибровочная кривая INTCAL13 (2013)





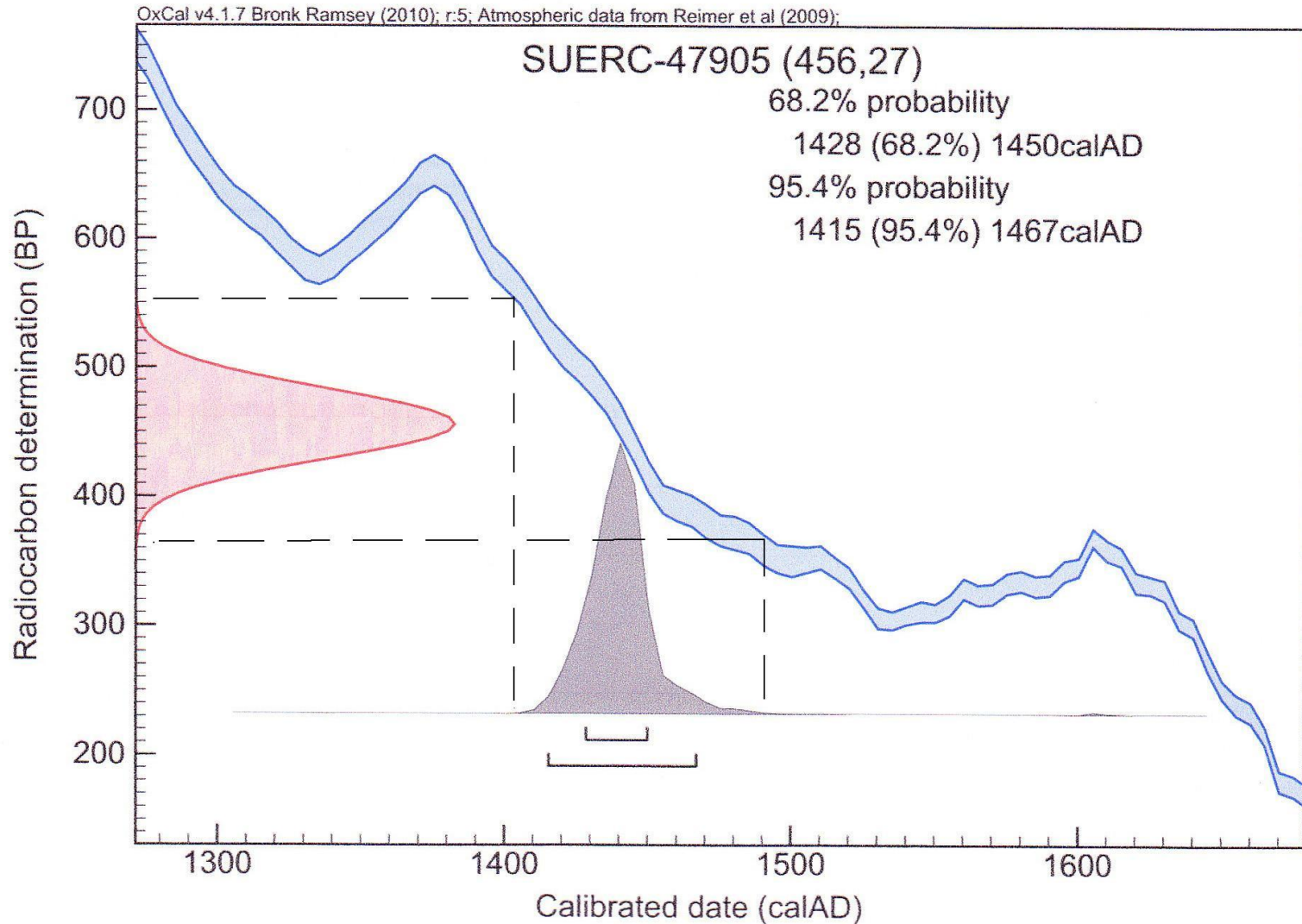
# Калибровочная кривая INTCAL13 (2013)



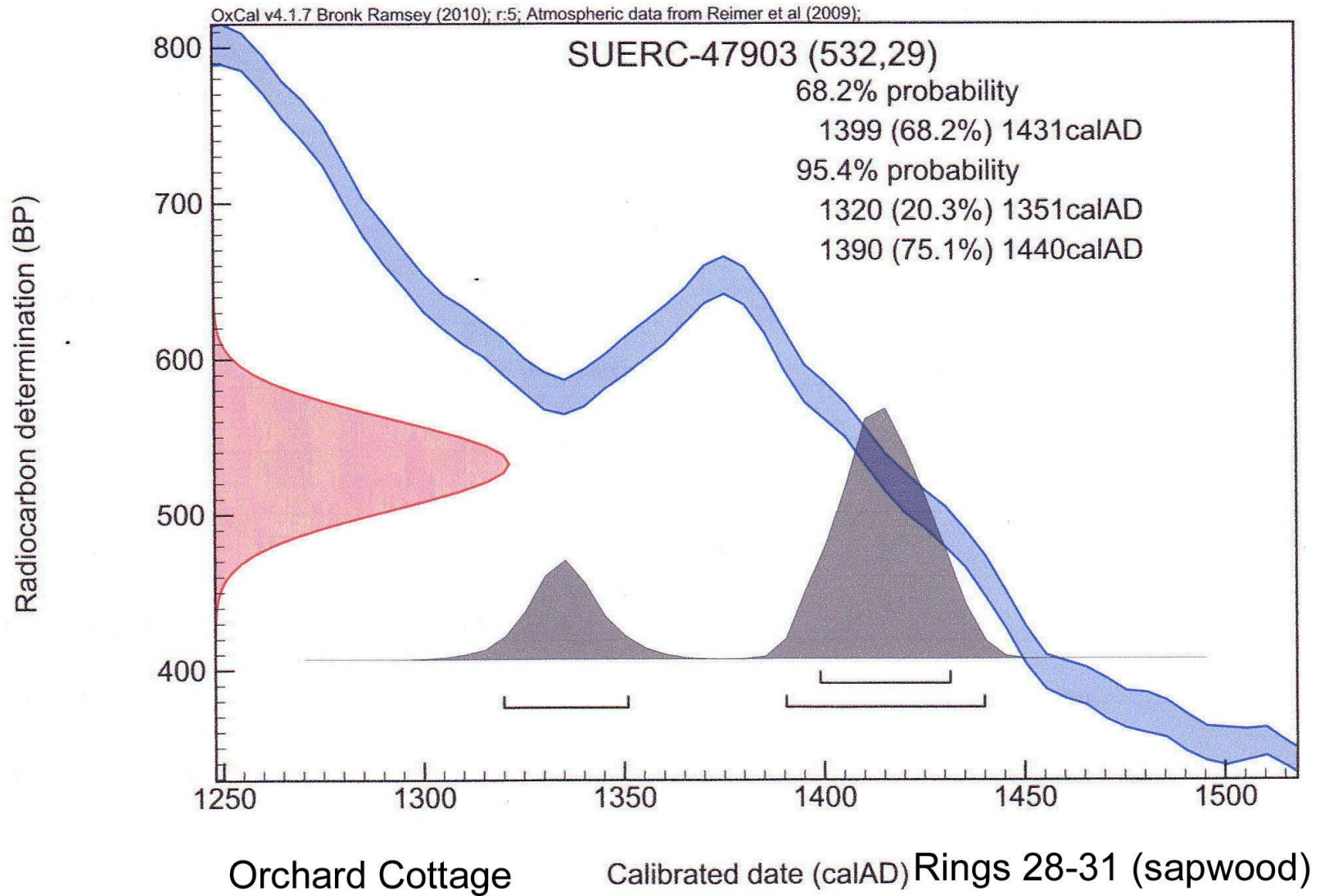
*Как это выглядит*



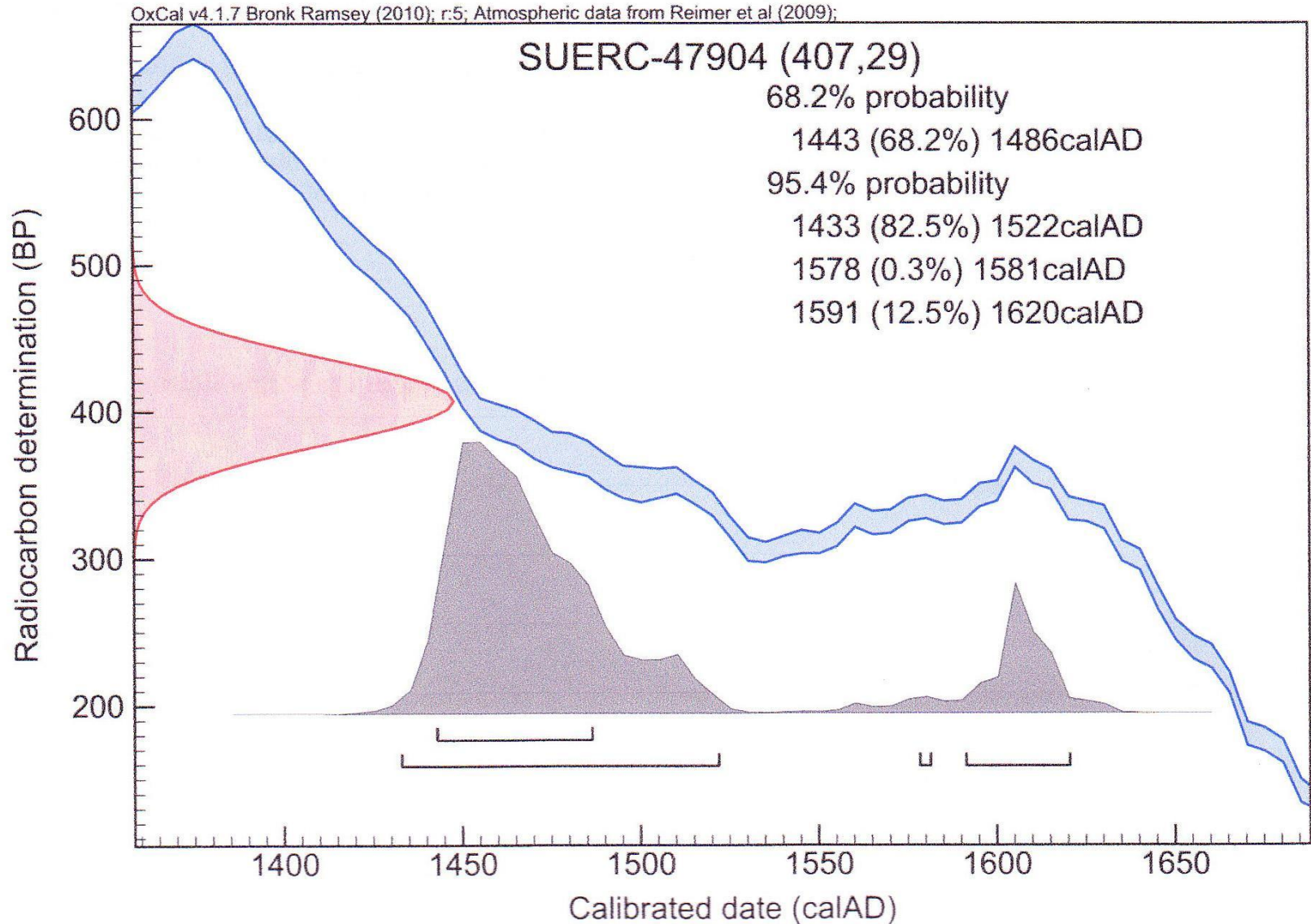
# Типичный результат радиоуглеродного анализа



# Типичный результат радиоуглеродного анализа

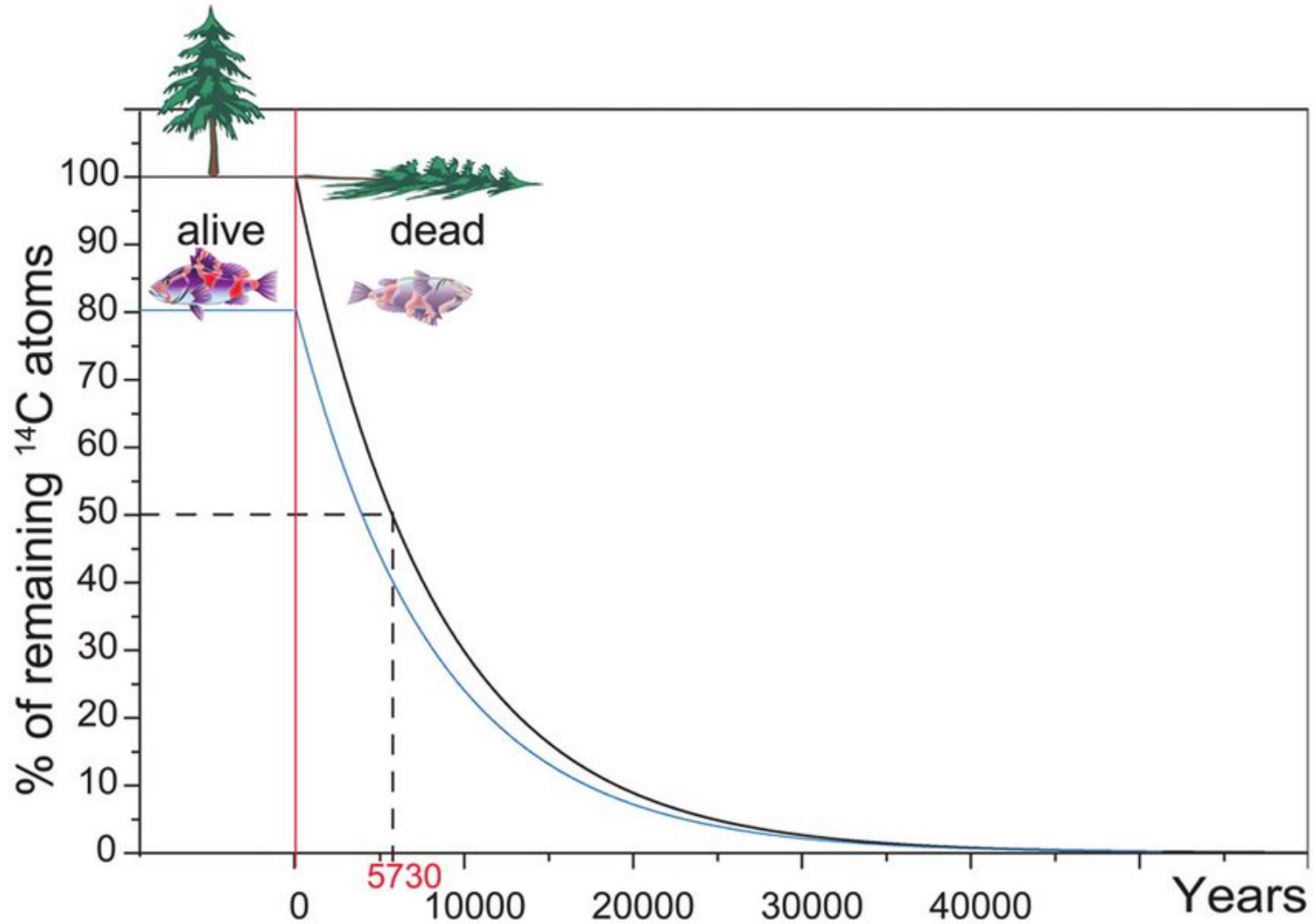


# Типичный результат радиоуглеродного анализа



**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**

# Резервуарный эффект



# Методика Wiggle-Matching

