



Общая геохимия

Лекция 9

Изотопная геохимия.

**Геохимия стабильных изотопов,
Радиоуглеродный метод**

Геохимия стабильных изотопов

- Большинство встречающихся в природе элементов имеет несколько стабильных изотопов
- Определение изотопных соотношений сталкивается со значительными трудностями. *Чем значительнее различие масс разных изотопов, тем технически проще осуществлять их разделение. Чем тяжелее элемент, тем меньше будет различие атомной массы.*
- Предпочтительней определять изотопные соотношения для элементов с атомной массой легче, чем Са ($A < 40$).

- В геохимии стабильных изотопов наиболее часто используют такие элементы как H, C, N, O, S, (Li, B, Si, Cl).

Isotope pairs

Mass difference relative to the lighter isotope

^1H	^2H	100%
^{16}O	^{18}O	12.5%
^{12}C	^{13}C	8%
^{14}N	^{15}N	7%
^{32}S	^{34}S	6%

Области применения – позволяет определить:

- Природу источников магматических пород.
- Природу источников рудного вещества.
- Температуру образования минералов в магматических, метаморфических и гидротермальных породах.
- Температуру осадконакопления карбонатсодержащих типов пород.
- Степень равновесности флюид-порода при гидротермальных процессах.

- Отношение стабильных изотопов измеряется по отношению к стандарту и выражается в частях на 1000 (промилле, ‰)
- Это отношение обозначается величиной дельта δ.

Например, для кислорода:

$$\delta^{18}\text{O} \text{ ‰} = \left\{ \left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}_{\text{(образец)}} - \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}_{\text{(стандарт)}} \right] / \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}_{\text{(стандарт)}} \right\} * 1000.$$

Значение δ равное +10 будет означать, что образец обогащен изотопом ¹⁸O по отношению к стандарту на 1%. Стандарт – некоторый природный объект (порода, вода и др.), количество которого весьма значительно и который хорошо исследован в разных лабораториях.

Table 9.1. ISOTOPE RATIOS OF STABLE ISOTOPES

Element	Notation	Ratio	Standard	Absolute Ratio
Hydrogen	$\delta^2\text{D}$	D/H ($^2\text{H}/^1\text{H}$)	SMOW	1.557×10^{-4}
Lithium	$\delta^7\text{Li}$	$^7\text{Li}/^6\text{Li}$	NIST 8545 (L-SVEC)	12.285
Boron	$\delta^{11}\text{B}$	$^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$	NIST 951	4.044
Carbon	$\delta^{13}\text{C}$	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	PDB	1.122×10^{-2}
Nitrogen	$\delta^{15}\text{N}$	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	atmosphere	3.613×10^{-3}
Oxygen	$\delta^{16}\text{O}$	$^{16}\text{O}/^{16}\text{O}$	SMOW, PDB	2.0052×10^{-3}
	$\delta^{17}\text{O}$	$^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$	SMOW	3.76×10^{-4}
Sulfur	$\delta^{34}\text{S}$	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	CDT	4.43×10^{-2}

- Главной целью изучения стабильных изотопов является изучение процессов в природе, которые приводят к разделению изотопов на основании различия их масс, а не на основании различия химических процессов.
- Процесс разделения называется **изотопным фракционированием.**
- Зависит от внешних условий: T (O,C,S,H), Eh (S).
- Усиливается при низких температурах.
- δ увеличивается при росте валентности (C,S).
- В продуктах неорган. обмена накапливаются тяжелые изотопы, биогенного обмена – легкие изотопы.

Предпосылки для фракционирования изотопов в природе

1. Малые массы элементов. Диапазон вариаций изотопных отношений тяжёлых элементов меньше, чем у лёгких (ср. Cu, Zn, Mo и H, C, O).

2. Большая относительная разница масс.

D/H – 100%, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ – 12.5%, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ – 8.3%.

3. Высокая степень ковалентности (переменная доля ионной связи) химических связей.

Например, в геологических объектах фракционирование для $^{48}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$ много меньше, чем для $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, хотя относительная разница масс для этих отношений 20% и 6% соответственно.

4. Переменные состояния окисления (C, N, S).

Восстановленные формы более легкие, чем окисленные.

5. Переменное фазовое состояние (газ-жидкость-твёрдое).

Энергии связей тяжёлых изотопов больше, чем у лёгких, т.е. тяжёлые сидят в решётке прочнее. Или: давление паров различных по изотопному составу молекул обратно пропорционально их массам. Пар обогащается ^{16}O и H а

Изотопное фракционирование носит обратимый характер и обычно осуществляется в природе тремя способами.

.Изотопные обменные реакции.

Изотопное фракционирование контролируется силой химических связей в соответствии с главным правилом: более легкие изотопы обладают менее сильными связями по сравнению с тяжелыми.

2. Кинетические процессы.

Отражают готовность конкретного изотопа к реагированию в процессе незавершенной реакции. Например, бактериальное восстановление сульфатов морской воды в сульфидную фазу происходит быстрее для легкого изотопа ^{32}S , чем для тяжелого ^{34}S . Цеолиты захватывают легкие изотопы Li и тяжелые K из растворов.

3. Физико-химические процессы.

Испарение и конденсация, плавление и кристаллизация, диффузия. Обогащение легким изотопом по отношению к тяжелому в направлении транспорта диффузии. При дистилляции пар обогащается легким изотопом. Легкие изотопы проникают быстрее и на большие расстояния.

Температурный контроль изотопного фракционирования

- Фактор фракционирования α между минералами M1 и M2.
- $\alpha_{M1-M2} = (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{M1} / (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{M2}$
- $1000 \ln \alpha_{M1-M2} = A * (10^6 / T^2) + B,$

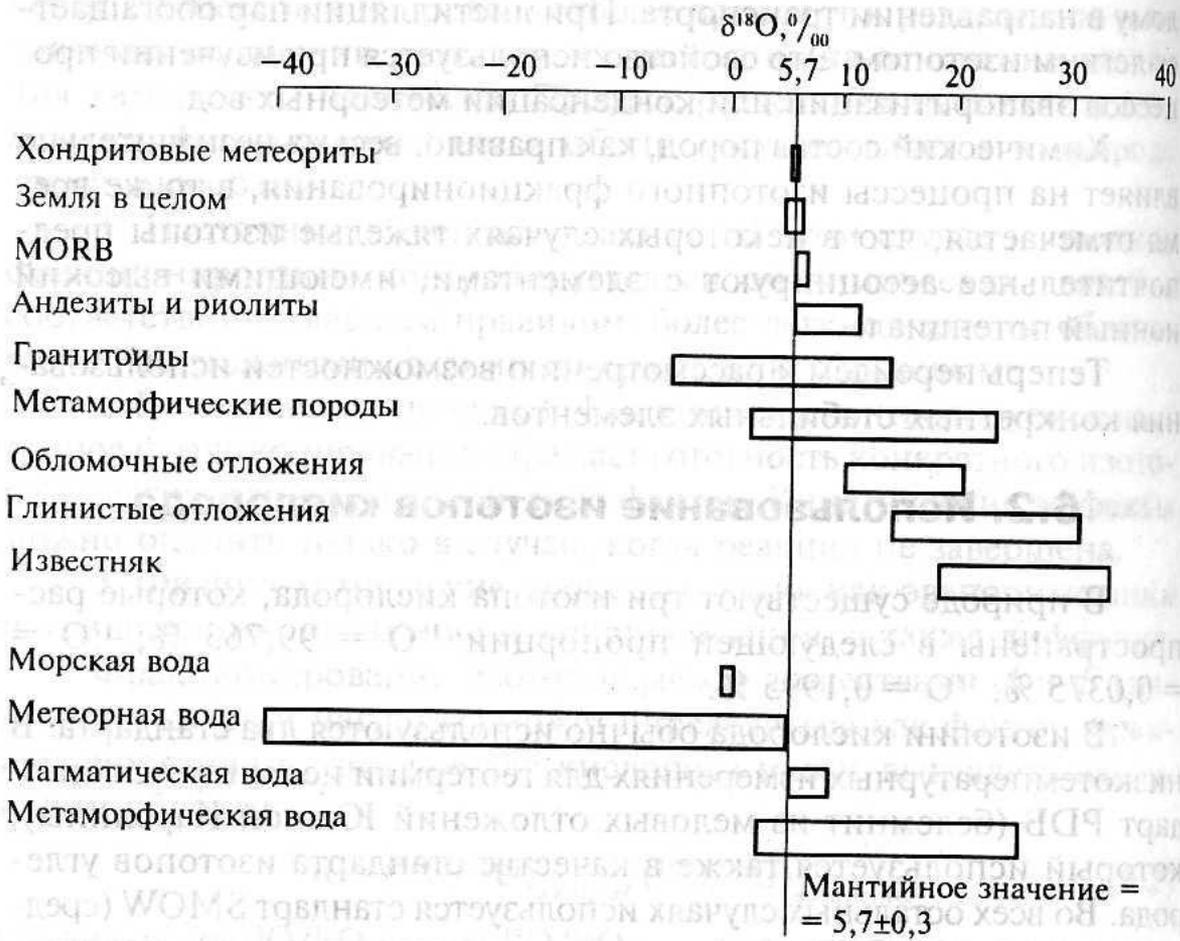
где T – температура в градусах Кельвина,

A и B – экспериментально определенные

константы. Влияние давления незначительно.

Изотопы кислорода

- $^{16}\text{O} = 99.763 \%$
- $^{17}\text{O} = 0.0375 \%$
- $^{18}\text{O} = 0.1995 \%$
- Стандарты: **PDB** (белемнит из меловых отложений Южной Каролины) – для низкотемпературных измерений, и **SMOW** (средний состав морской воды), в котором отношение изотопов O и H соответствует расчетному составу морской воды.
- $\delta^{18}\text{O}_{\text{smow}} = 1.03091 \delta^{18}\text{O}_{\text{pdb}} + 30.01$



Вариации $\delta^{18}\text{O}$ в разных типах пород и вод

Рис. 6.1. Вариации $\delta^{18}\text{O}$ в разных типах пород и вод (Rollinson, 1994)

- $\delta^{18}\text{O}$ около 5.7 ‰ в хондритах и **мантийном веществе**
- $\delta^{18}\text{O}$ больше 5.7 ‰ в большинстве гранитов, метаморфических пород и осадков
- $\delta^{18}\text{O}$ меньше 5.7 ‰ в морской и метеорной воде

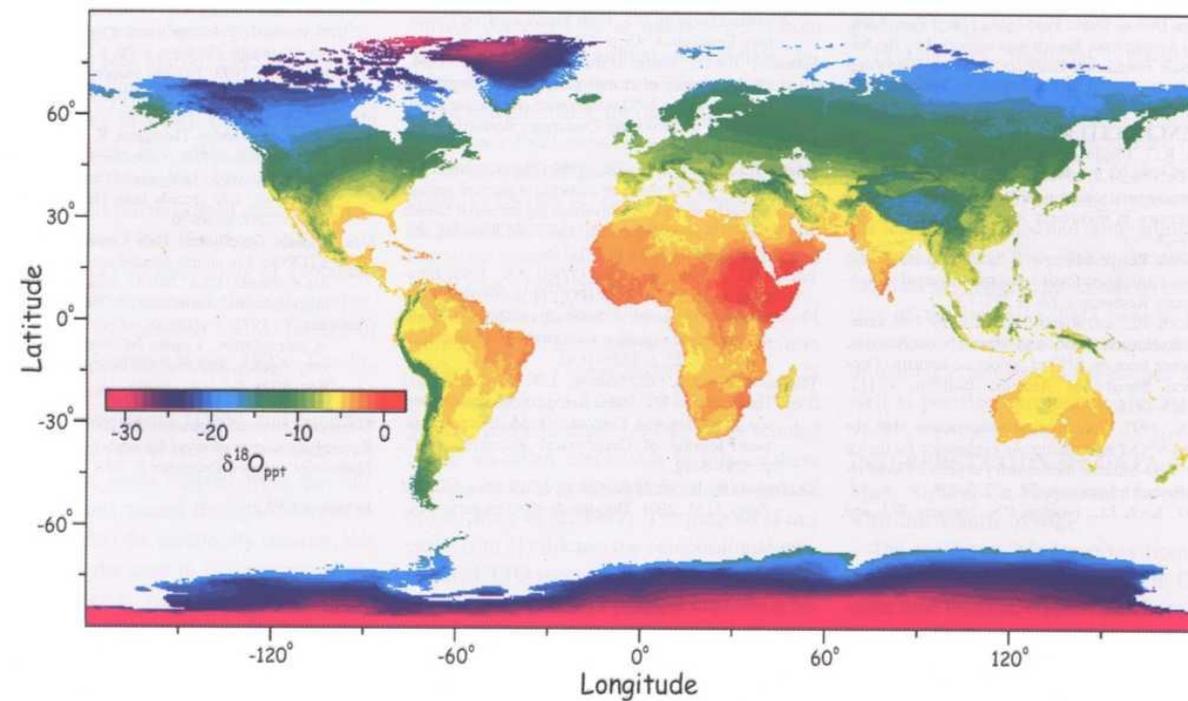


Figure 3. Map of $\delta^{18}\text{O}_{\text{ppt}}$ calculated for continents at $5' \times 5'$ geographic resolution. Map values are sum of model-derived $\delta^{18}\text{O}_{\text{ppt}}$ estimates from latitude and altitude data (Fig. 1) and spatially interpolated model residuals (Fig. 2). Color bands represent 1% intervals between -30‰ and 0‰ .

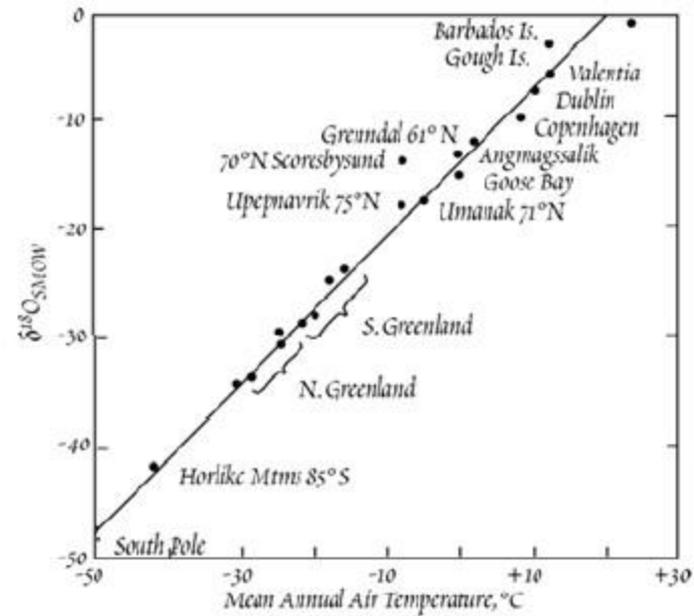
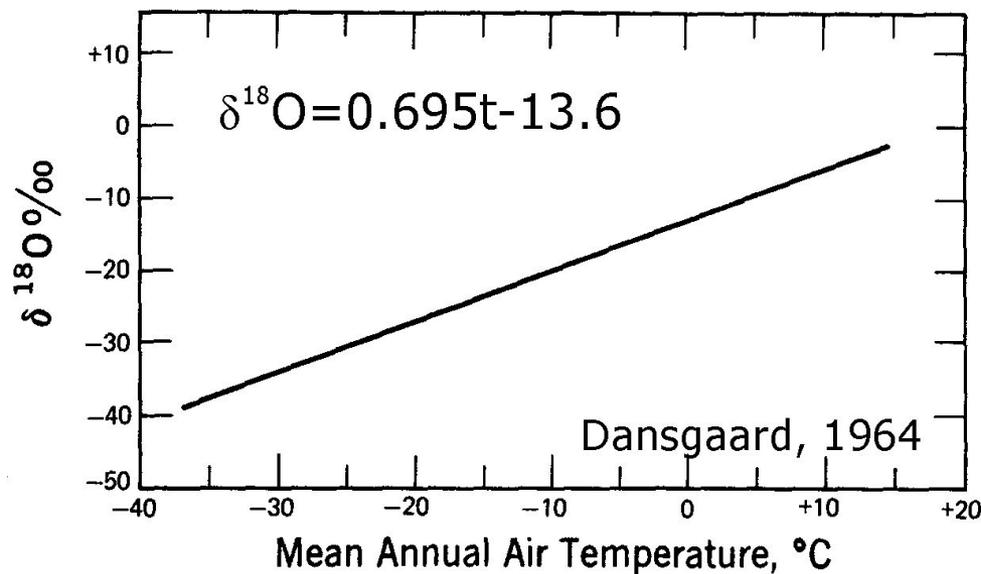
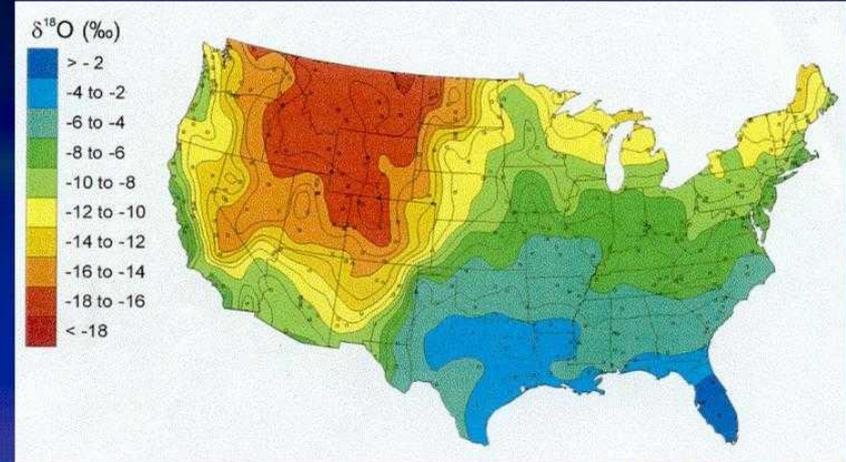


Figure 9.9. Variation of $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation as a function of mean annual temperature.



Surface Water Isotopic Concentrations in the USA



- Определение температуры отложения разнообразных осадков по кальцитам.
- Т в придонной части бассейнов является функцией глубины □ оценка глубины бассейнов отложения осадков.

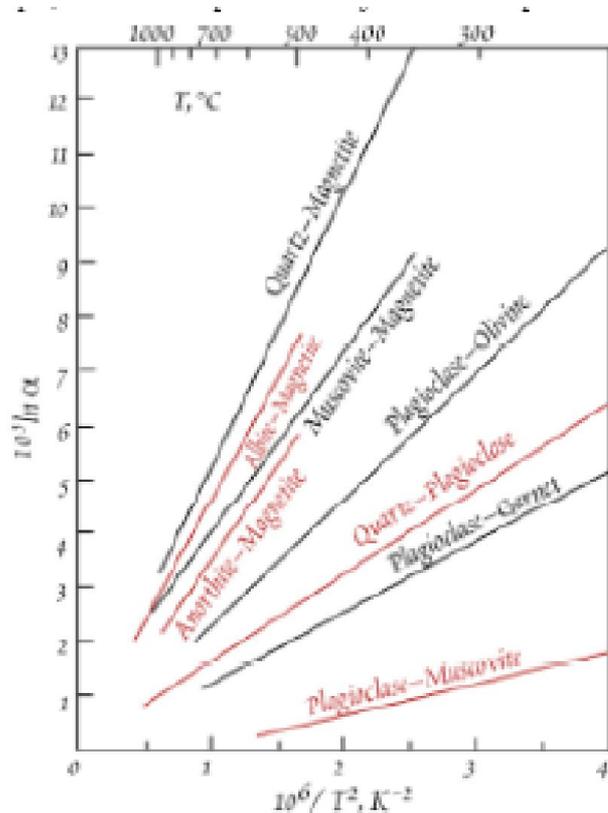
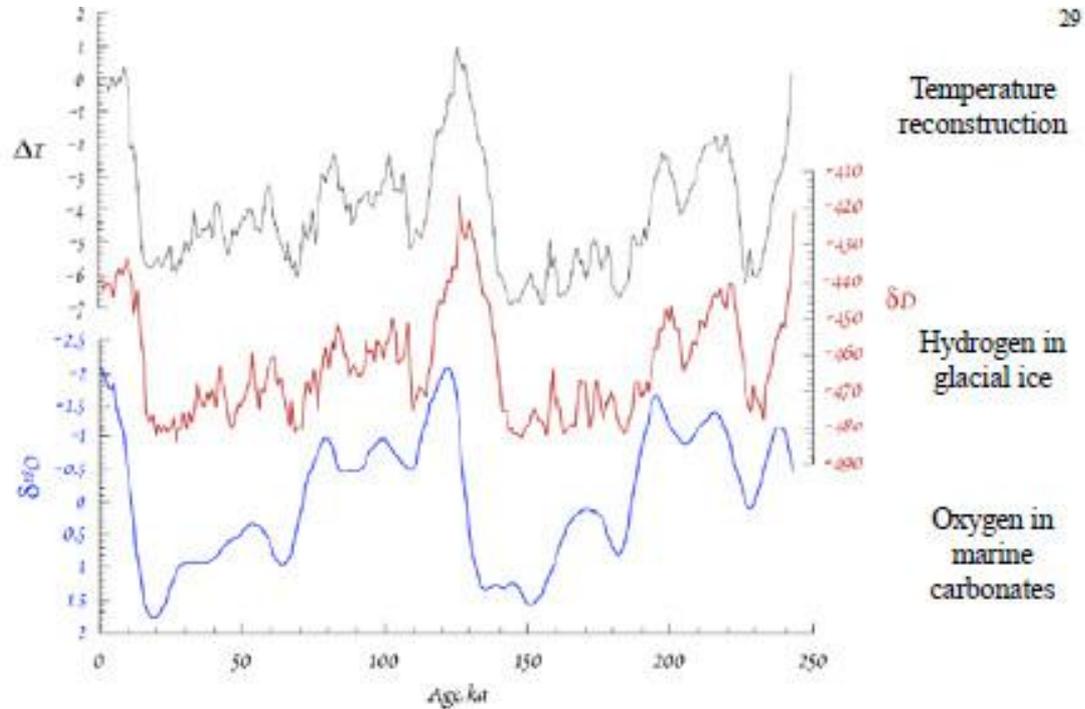


Figure 29.1. Calculated oxygen isotope fractionation for several mineral pairs as a function of temperature (from O'Neil, 1986).



Детритовый циркон

Отличие $\delta^{18}\text{O}$ на 5.5‰ в наследованном ядре от магматической оболочки и сохранение $\delta^{18}\text{O}$ в процессе метаморфизма.

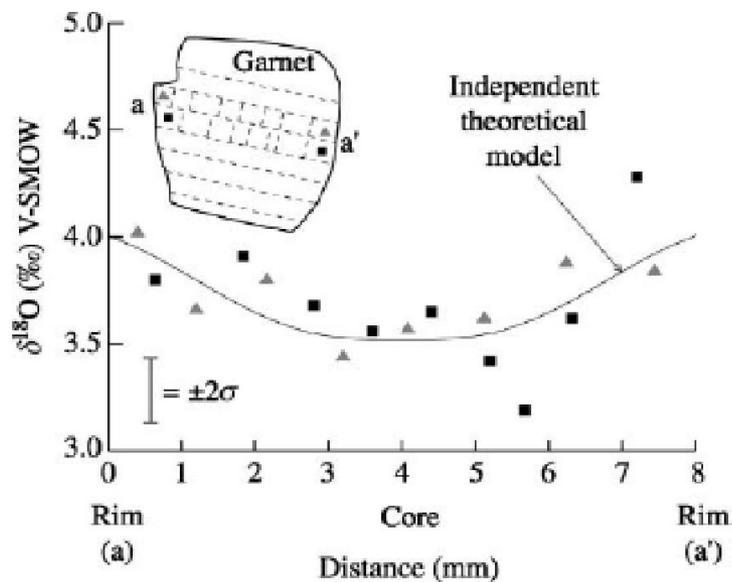
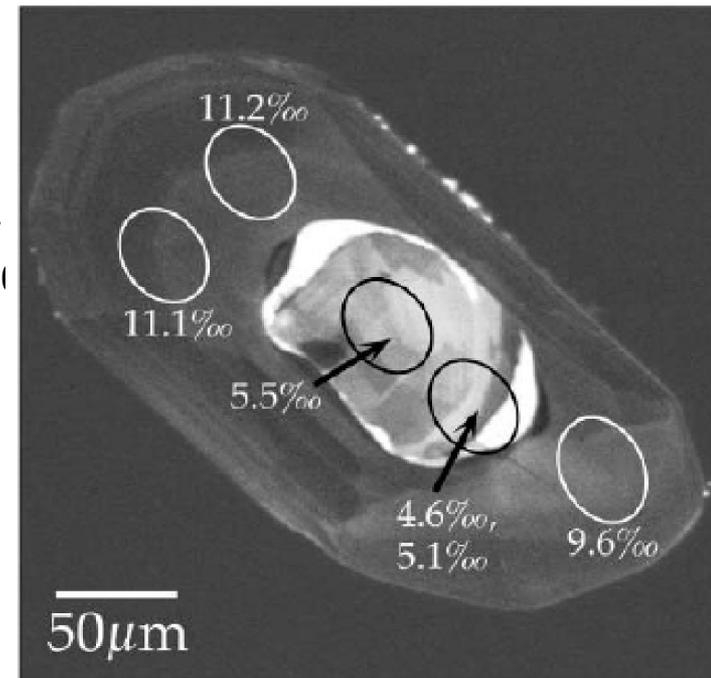


Figure 16 Oxygen isotope profiles across a garnet from Tierra del Fuego, Chile, showing general $\sim 0.5\text{‰}$ increase in $\delta^{18}\text{O}$ from core to rim. This zoning is consistent with independent calculations of oxygen isotope growth zoning in a closed chemical and isotopic system. Squares and triangles correspond to individual composition measurements (source [Kohn et al., 1993](#)).

Закономерное увеличение $\delta^{18}\text{O}$ на 0.5‰ к краю метаморфического граната с прогрессивной ростовой зональностью (повышение температуры на 75°C). Свидетельство замкнутости системы и отсутствия инфильтрации изотопно-неравновесным флюидом.



Изотопы водорода

- ^1H = 99,9844 % - протий
- ^2D = 0.0156 % - дейтерий
- ^3T тритий (очень мало – образуется под действием космических нейтронов) $T_{1/2} = 12.26$ лет
- Водород присутствует в природе в виде H_2O , OH^- , H_2 , углеводородов.
- Стандарт: **SMOW** (средний состав морской воды), в котором отношение изотопов O и H соответствует расчетному составу морской воды.

Вариации δD в разных типах пород и вод

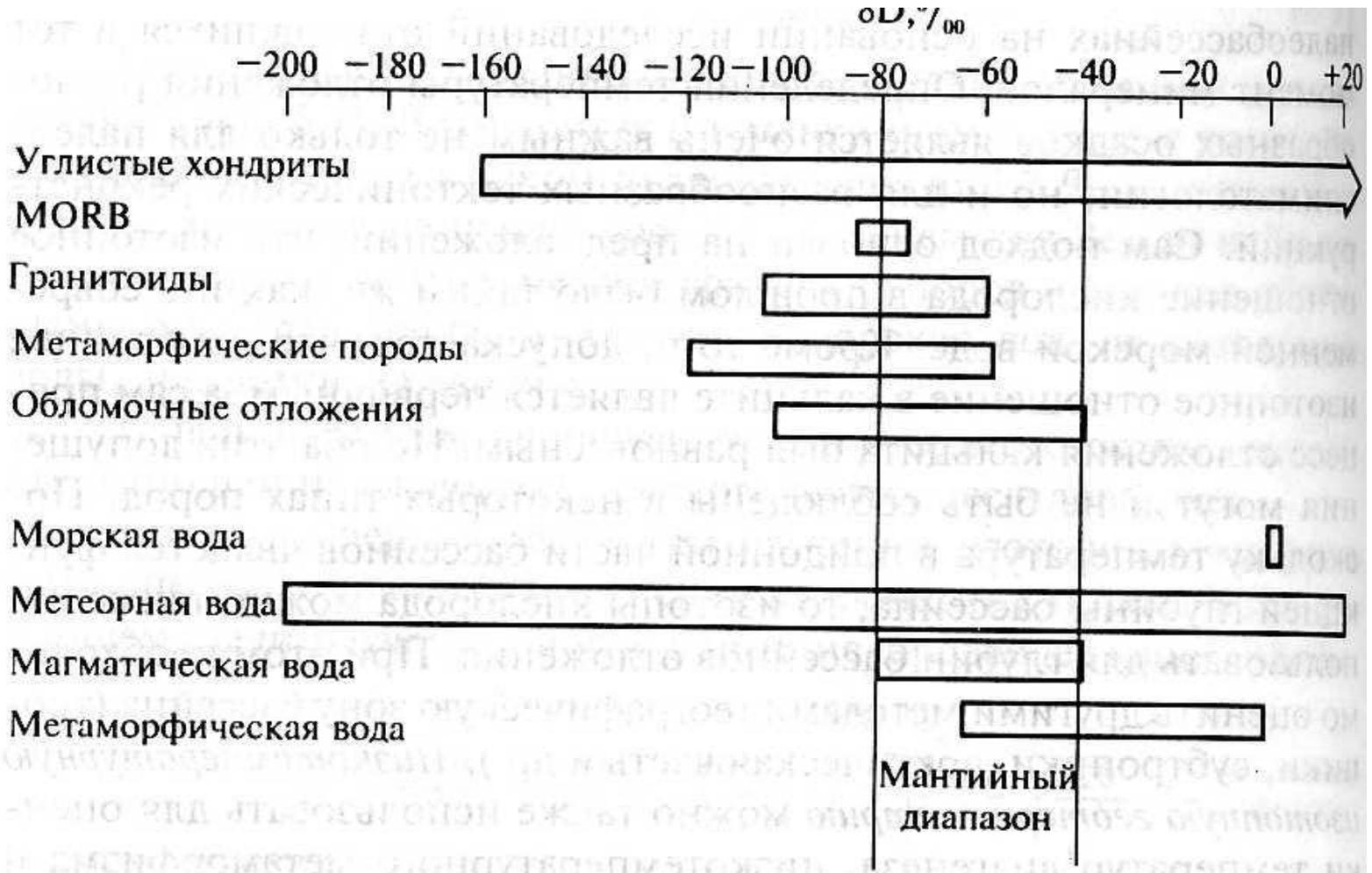
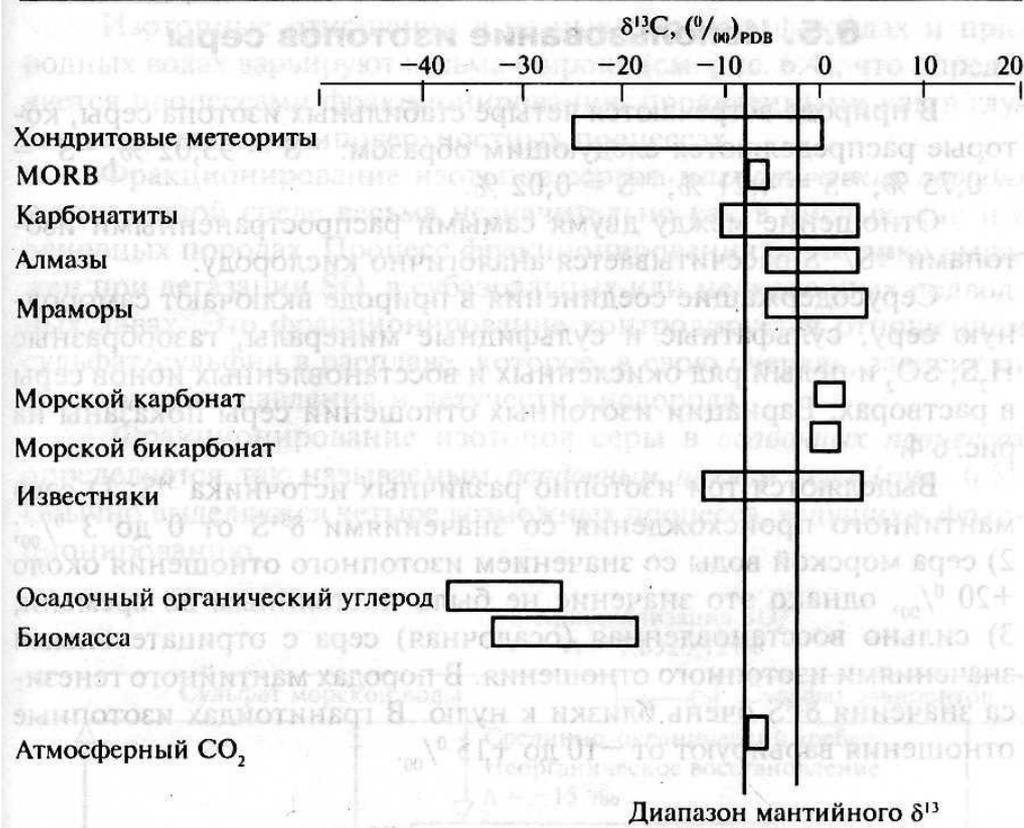


Рис. 6.2. Вариации δD в разных типах пород и вод (Rollinson, 1994)

Разделение при испарении. Поверхностные и дождевые воды более богаты D, чем глубинные.

Изотопы углерода

- $^{12}\text{C} = 98.89 \%$
- $^{13}\text{C} = 1.11 \%$
- Углерод присутствует в природе в окисленной (CO_2 , карбонаты, бикарбонаты), восстановленной (метан, органический углерод) и самородной (алмаз, графит) формах.
- Стандарт: **PDB** (белемнит из меловых отложений Южной Каролины).

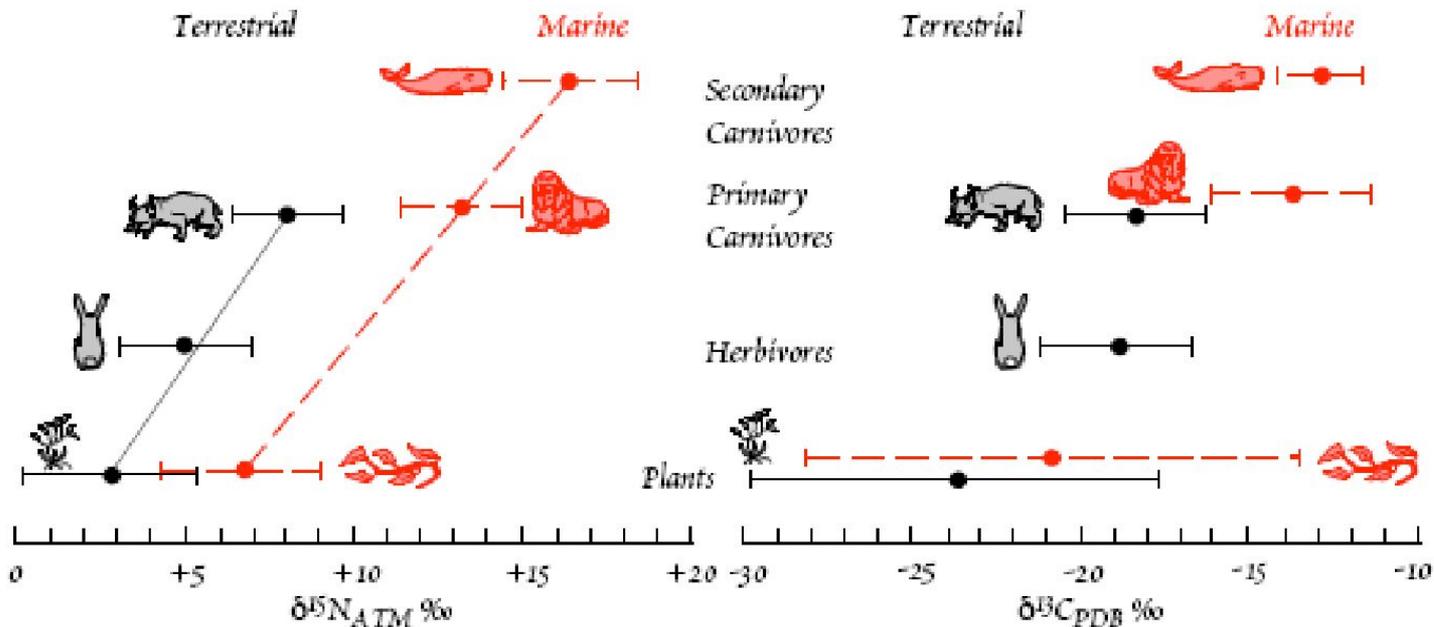


Вариации $\delta^{13}\text{C}$ в разных типах пород и вод

Рис. 6.3. Вариации $\delta^{13}\text{C}$ в разных типах пород и вод (Rollinson, 1994)

- $\delta^{13}\text{C}$ от -25 до 0 ‰ в метеоритах и в среднем -6 ‰ в **мантийном веществе**
- $\delta^{13}\text{C}$ в морской воде 0 ‰ (поскольку она используется как стандарт)
- $\delta^{13}\text{C}$ в среднем -26 ‰ для биомассы (**в биомассе C более легкий**)

- Определение природы источника углеродсодержащих флюидов.
- Определение температур процессов по парам CO_2 -кальцит, доломит-кальцит, кальцит-графит, доломит-графит.
- 90% растений $\delta^{13}\text{C} -25^0/_{00}$.



100
мату

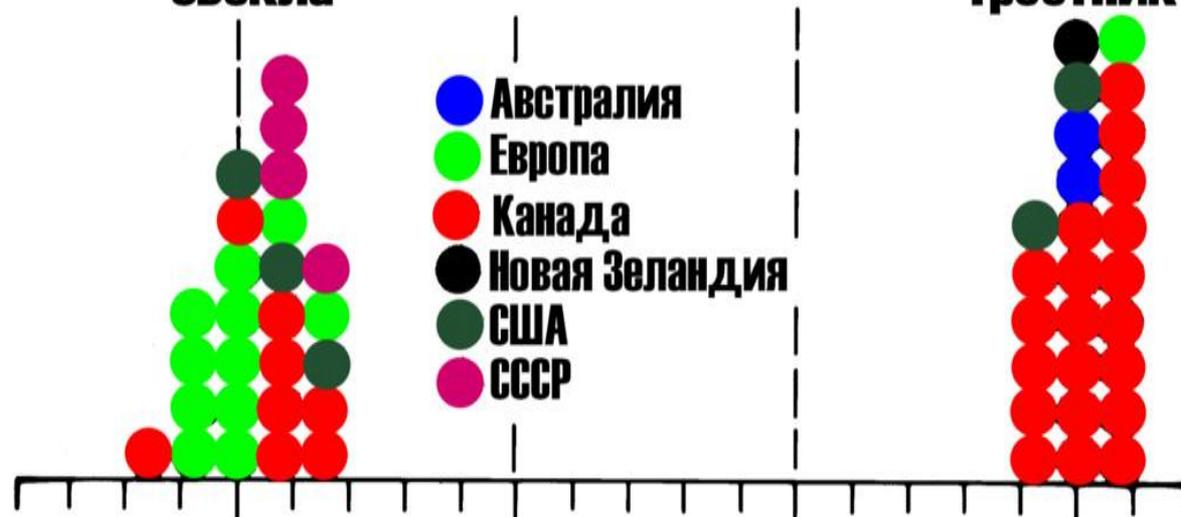
Figure 34.4. Values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in various marine and terrestrial organisms. From Schoeninger and DeNiro (1984).

САХАР

Свекла

Тростник

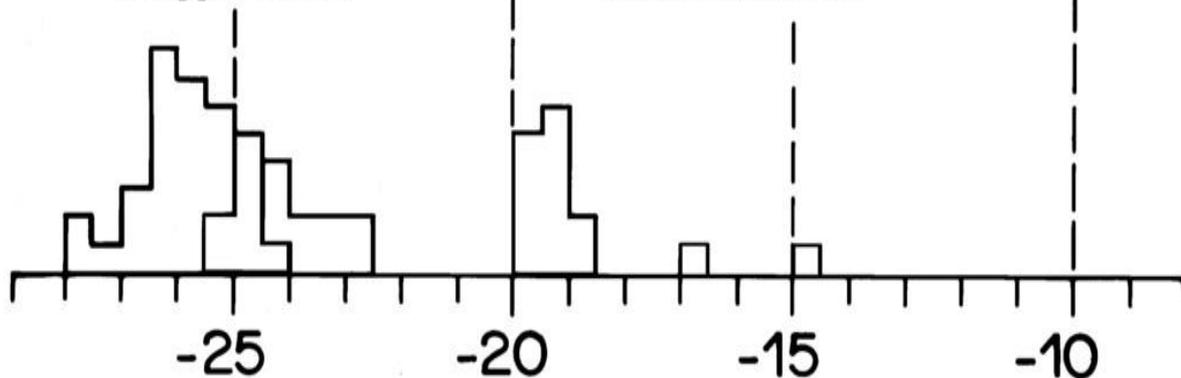
- Австралия
- Европа
- Канада
- Новая Зеландия
- США
- СССР



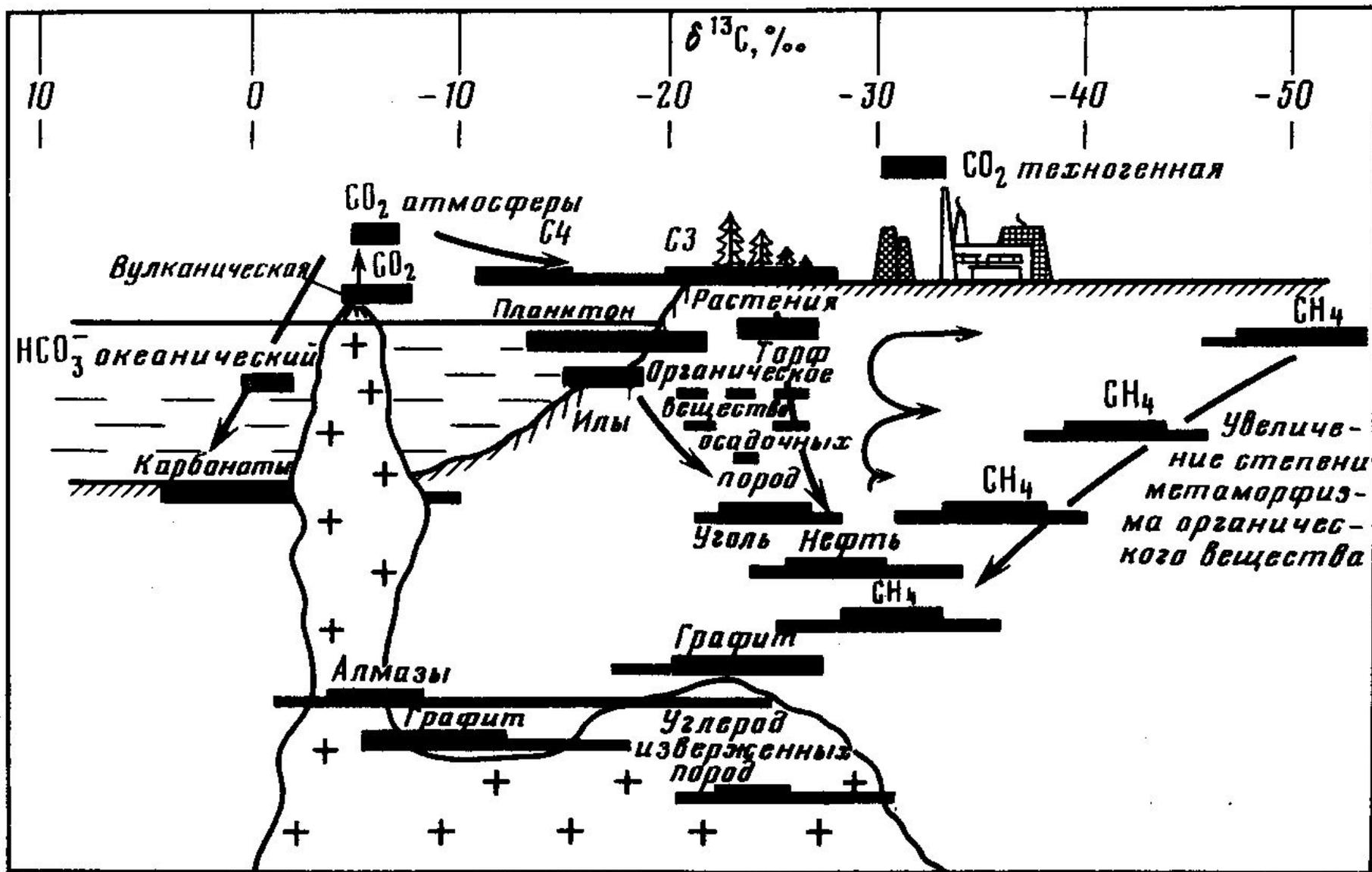
ЯБЛОЧНЫЙ СОК

Натуральный

Разбавленный



$\delta^{13}\text{C}$ (‰ PDB)



Р и с. 2.1. Диапазоны вариаций изотопного состава углерода некоторых природных веществ
 Галимов Э.М. Природа биологического фракционирования изотопов. Наука. 1981.

Изотопы серы

- $^{32}\text{S} = 95.02 \%$
- $^{33}\text{S} = 0.75 \%$
- $^{34}\text{S} = 4.21 \%$
- $^{36}\text{S} = 0.02 \%$
- Сера присутствует в природе в самородной форме, в сульфатных и сульфидных минералах, газообразной форме (H_2S , SO_2), в окисленных и восстановленных ионах в растворах.
- Стандарт: **CDT** (троилит FeS в железном метеорите Canyon Diablo).

Вариации $\delta^{34}\text{S}$ в разных типах пород и вод

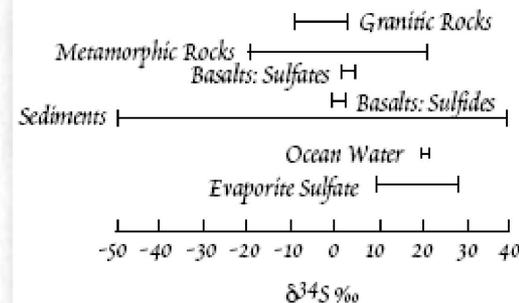
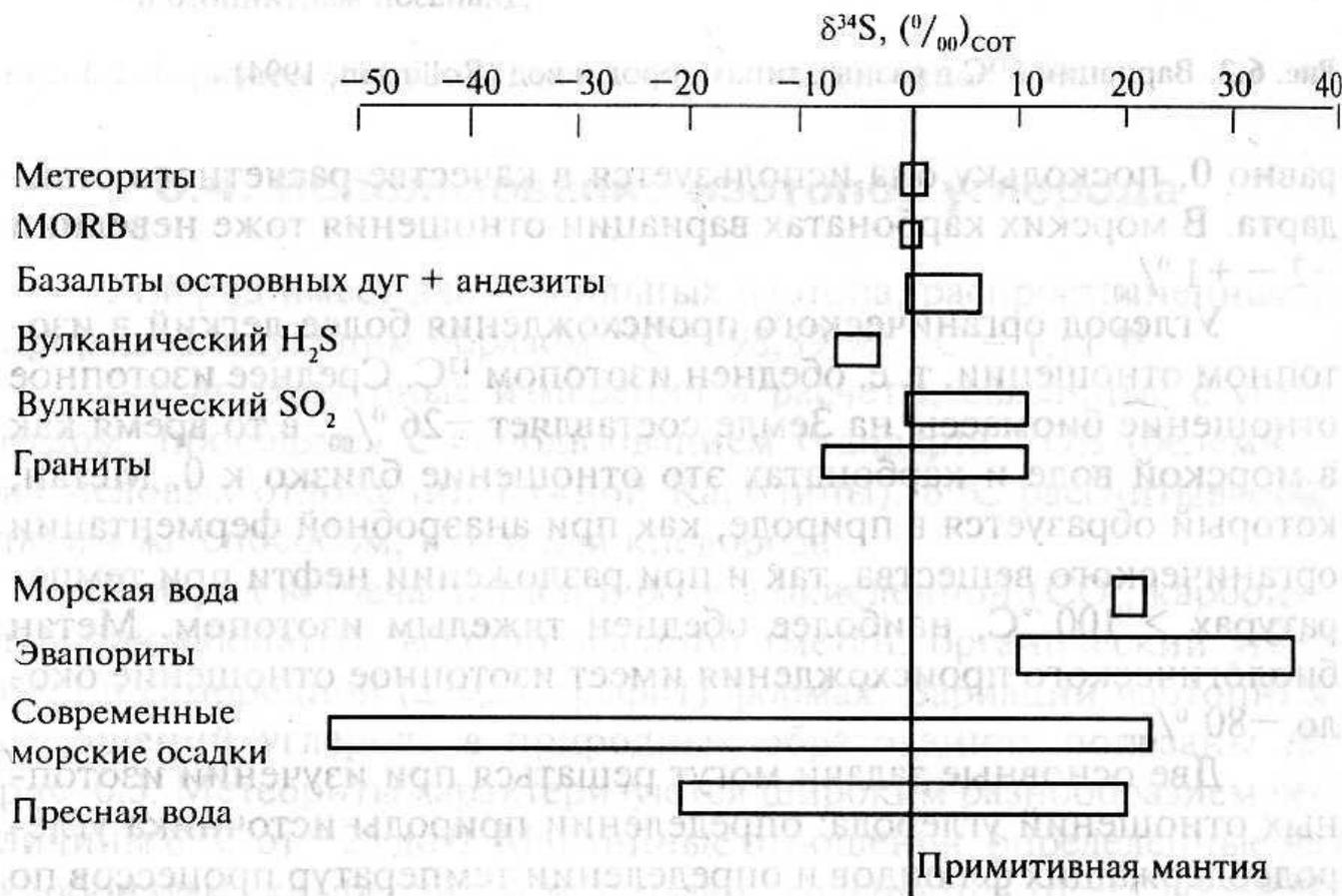


Рис. 6.4. Вариации $\delta^{34}\text{S}$ в разных типах пород и вод (Rollinson, 1994)

Figure 32.8. $\delta^{34}\text{S}_{\text{COT}}$ in various geologic materials (after Hoefs, 1987).

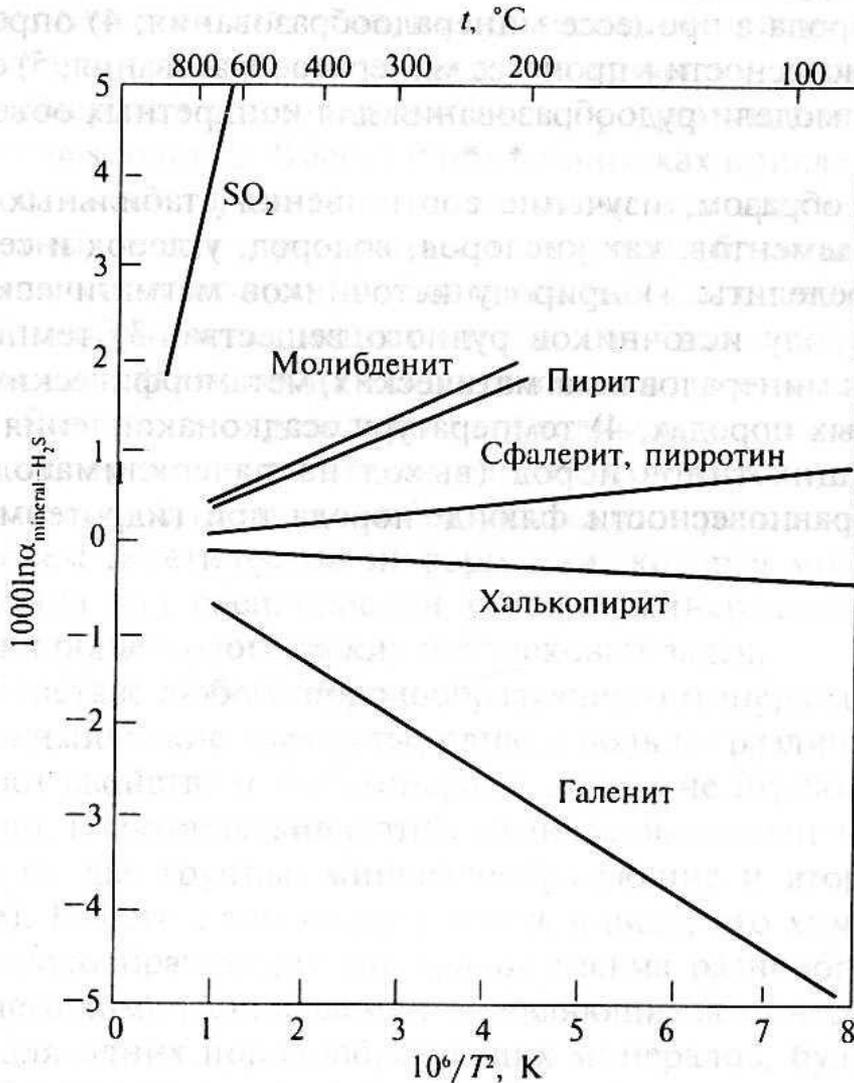
- $\delta^{34}\text{S}$ от 0 до 3 ‰ в мантийном веществе
- $\delta^{34}\text{S}$ около 20 ‰ в морской воде
- $\delta^{34}\text{S} \ll 0$ для сильно восстановленной (осадочной) серы

Фракционирование изотопов серы в осадочных процессах (круговорот серы)



Рис. 6.5. Круговорот серы (Rollinson, 1994)

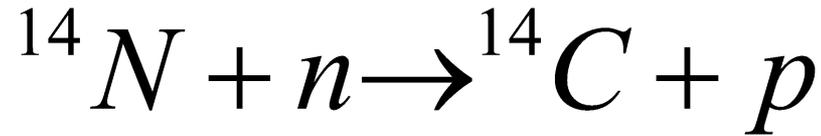
Фракционирование изотопов серы в гидротермальных процессах



- Природа S – мантийная или коровая
- Т образования сульфидов и рудообразующих флюидов
- Соотношение вода/порода в процессе минералообразования
- Степень равновесности в процессе минералообразования
- Построение моделей рудообразования для конкретных объектов

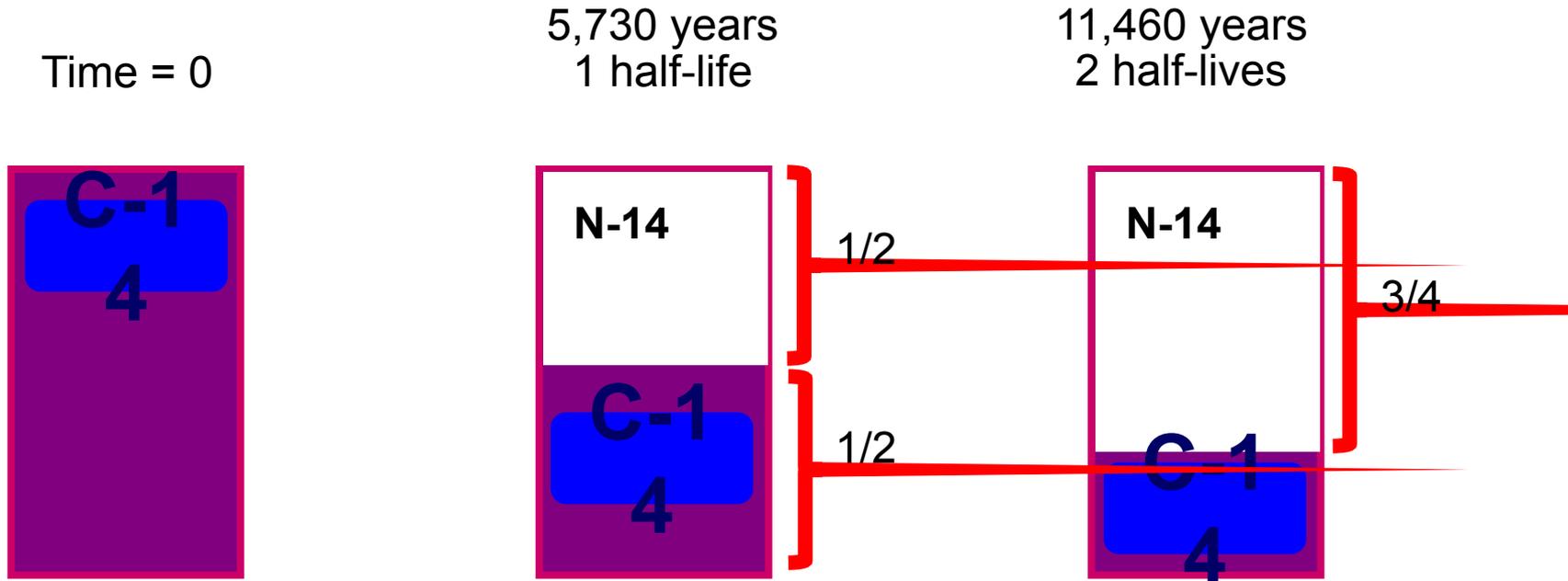
• РАДИОУГЛЕРОДНЫЙ МЕТОД

- Радионуклид ^{14}C постоянно образуется в верхних слоях атмосферы (на высоте 8-18 км) при взаимодействии нейтронов космического происхождения с ядрами азота по реакции



- Стабильный изотоп азота (^{14}N) в атмосфере подвергается действию космических лучей, превращающих его в изотоп углерода ^{14}C , который имеет период полураспада **5730** лет.
- Проникая в верхние слои атмосферы, частицы расщепляют находящиеся там атомы, способствуя высвобождению протонов и нейтронов. Содержащиеся в воздухе атомы азота поглощают нейтроны и высвобождают протоны. Эти атомы имеют, как и прежде, массу 14, но обладают меньшим положительным зарядом: теперь их заряд равен шести

Half-Life Illustration



If C-14 is constantly decaying,
will we run out of C-14 in the atmosphere?

- Образование радиоактивных нуклидов углерода из атмосферного азота под воздействием космических лучей происходит со средней скоростью около 2.4 ат./с на каждый квадратный сантиметр земной поверхности. Изменения солнечной активности могут обусловить некоторые колебания этой величины.
- Поскольку углерод-14 радиоактивен, он нестабилен и постепенно превращается в атомы азота-14, из которых образовался; в процессе такого превращения он выделяет электрон – отрицательную частицу, что и позволяет зафиксировать сам этот процесс.
- $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + \beta^{-}$
- Подобно обычному углероду, радиоуглерод окисляется в воздухе, и при этом образуется радиоактивный диоксид (углекислый газ).

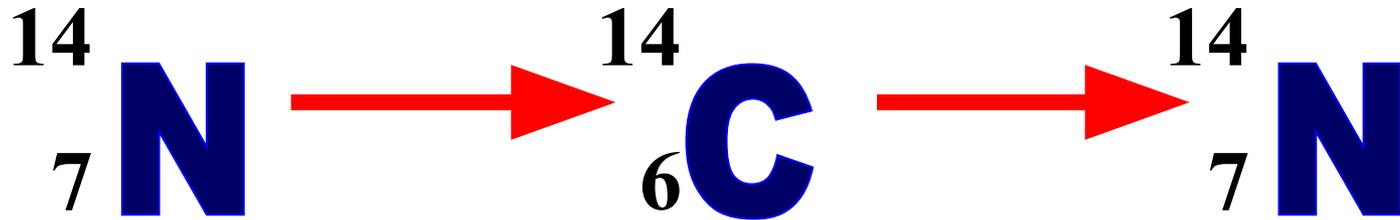
- Под воздействием ветра атмосфера постоянно перемешивается, и в конечном итоге радиоактивный углекислый газ, образовавшийся под воздействием космических лучей, равномерно распределяется в атмосферном углекислом газе.
- Однако относительное содержание радиоуглерода ^{14}C в атмосфере остается чрезвычайно малым – ок. $1.2 \cdot 10^{-12}$ г на один грамм обычного углерода ^{12}C .
- Углерод имеет 2 стабильных изотопа - ^{12}C (98.89%) и ^{13}C (1.11%). Кроме того, на Земле имеются следовые количества радиоактивного изотопа ^{14}C (0.0000000001%).
- Благодаря постоянным потокам космических лучей, бомбардирующих атмосферу Земли, образование ^{14}C происходит постоянно.

- Полученный углерод быстро окисляется до $^{14}\text{CO}_2$ и в дальнейшем усваивается растениями и микроорганизмами, поступая в пищевую цепь других организмов.
- Таким образом, каждый живой организм постоянно получает определённое количество ^{14}C в течение всей жизни. Космические лучи являются источником радиоактивности всех живых организмов.
- Как только организм погибает, такой обмен прекращается и ^{14}C постепенно распадается:

$$^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + e^- + \nu_e$$
- Испуская электрон и антинейтрино, ^{14}C превращается в стабильный азот. Совместный эффект радиоактивных потерь и новых образований в стратосфере приводит к постоянной, хотя и незначительной, **равновесной концентрации ^{14}C в биосфере**

Carbon-14 Life Cycle

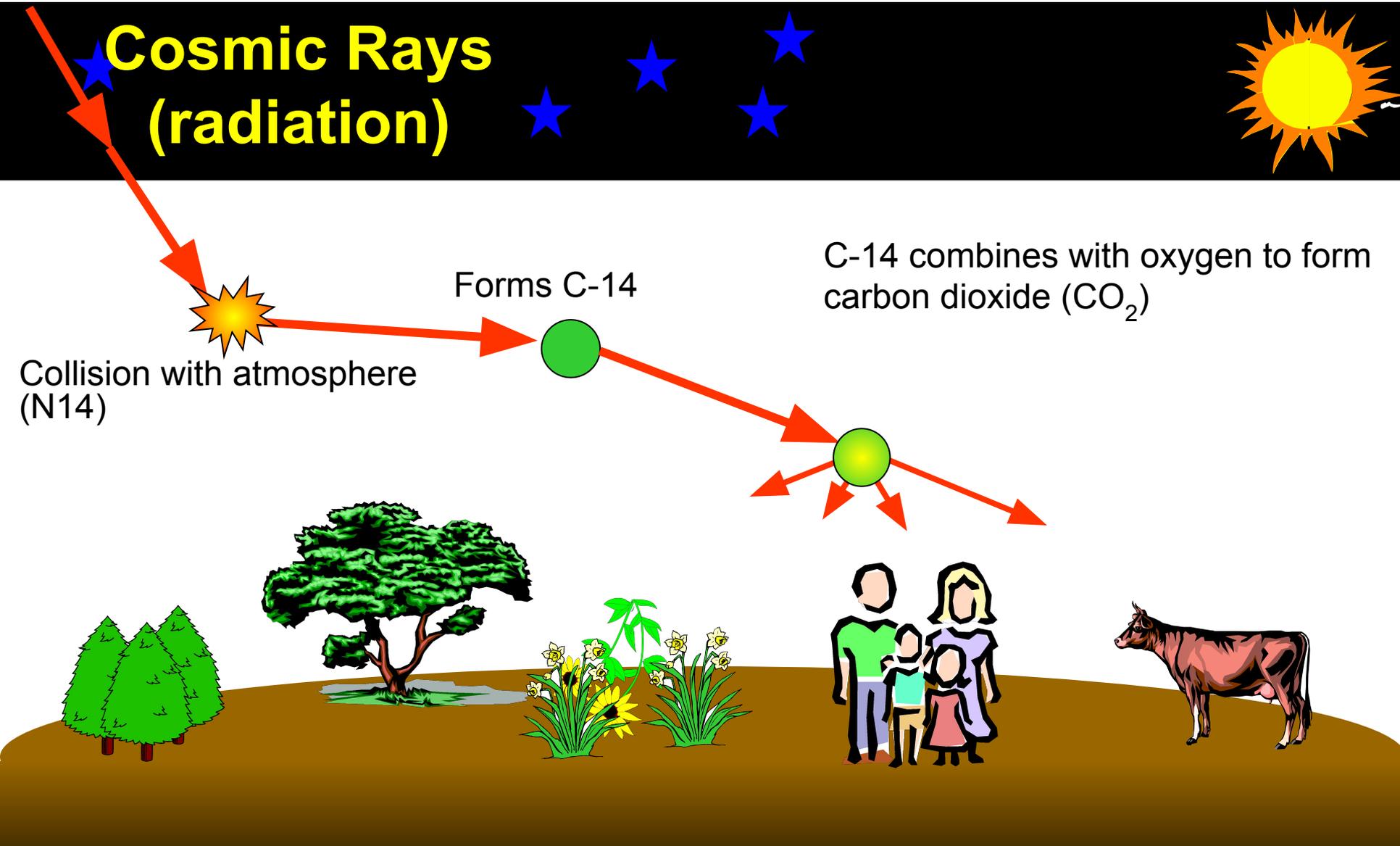
Cosmic radiation



Carbon-14 is produced in the atmosphere

Carbon-14 decays into Nitrogen-14

How Carbon-14 Is Produced



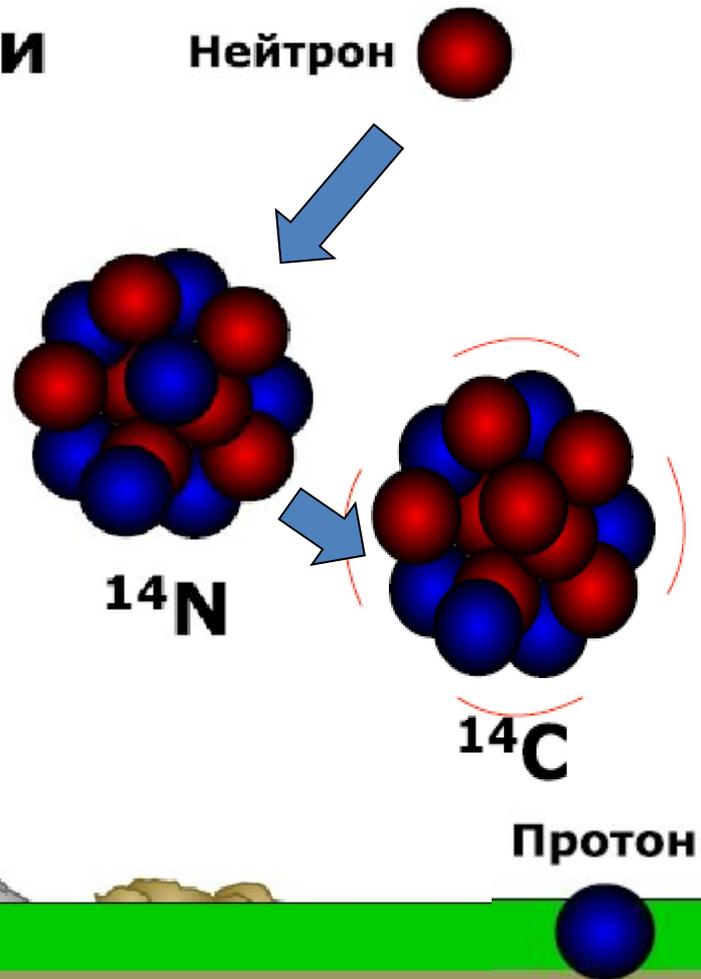
Углерод-14

Космические лучи

Количество протонов

7		99.634% ^{14}N	^{15}N
6	^{12}C 98.89%	^{13}C 1.11%	^{14}C 0.000000000001%
	6	7	8

Количество нейтронов



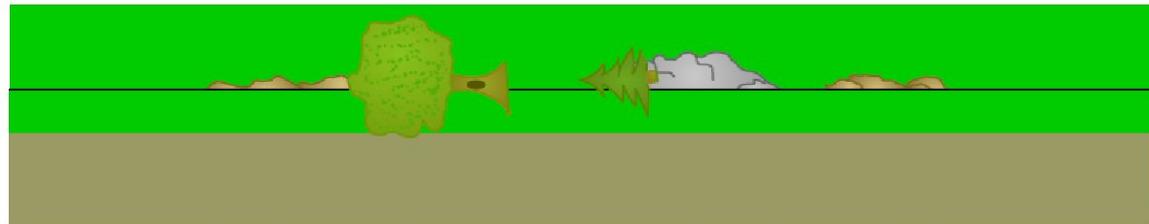
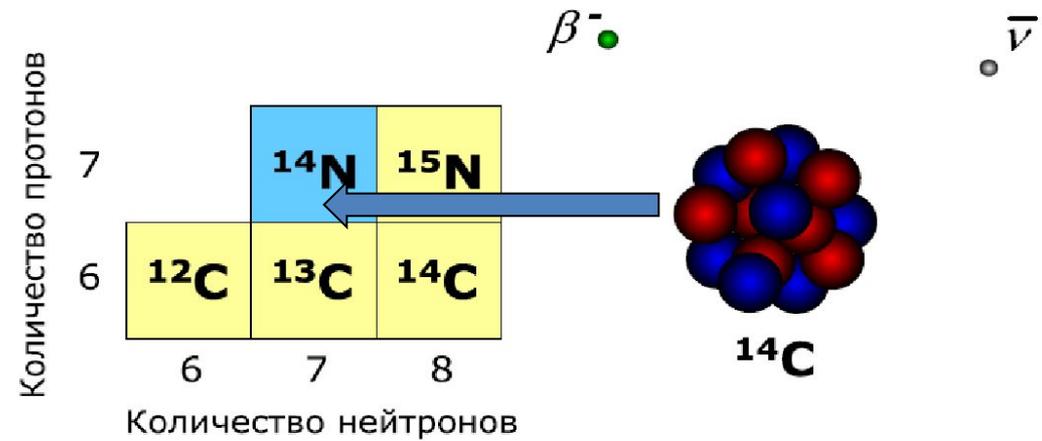
Когда нейтрон высокой энергии сталкивается с ядром ^{14}N , ядро испускает протон. В результате образуется ядро, содержащее 6 протонов и 8

нейтронов, что соответствует ядру ^{14}C . ^{14}C радиоактивен и его период полураспада 5730 лет.

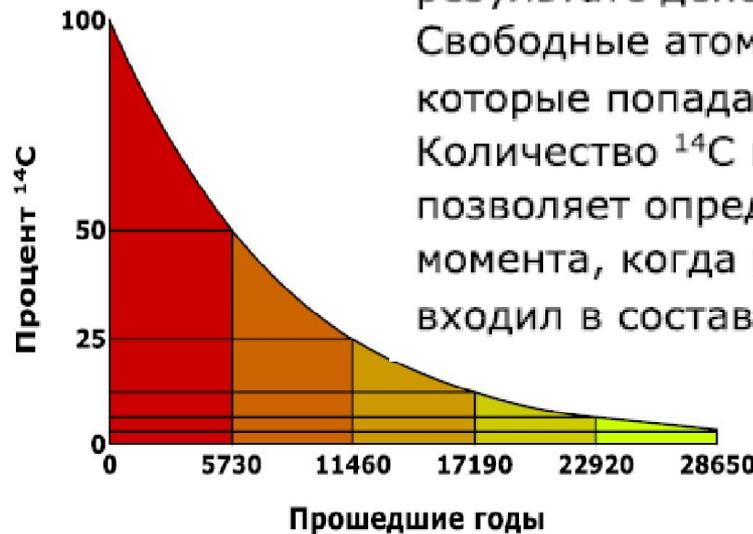
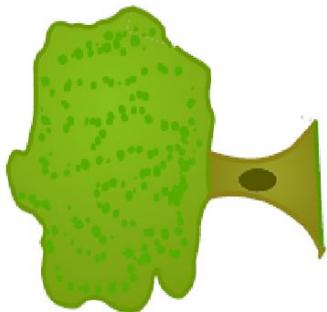
$T_{1/2} \text{ } ^{14}\text{C}$ составляет
5730 лет.

Концентрация ^{14}C в
косном органическом
веществе понижается
с течением времени.

Радиоактивный распад ^{14}C

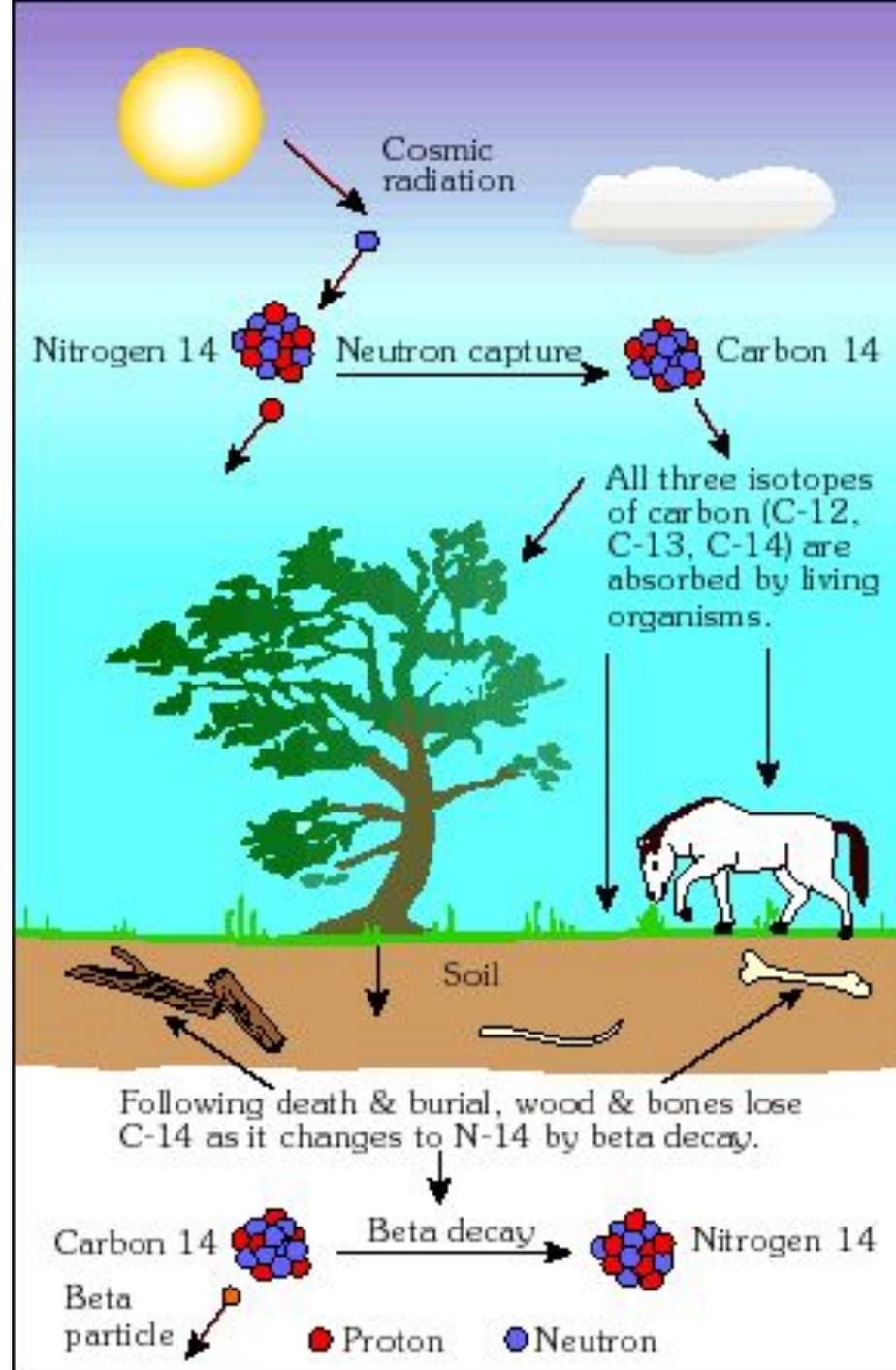


Дендрохронология



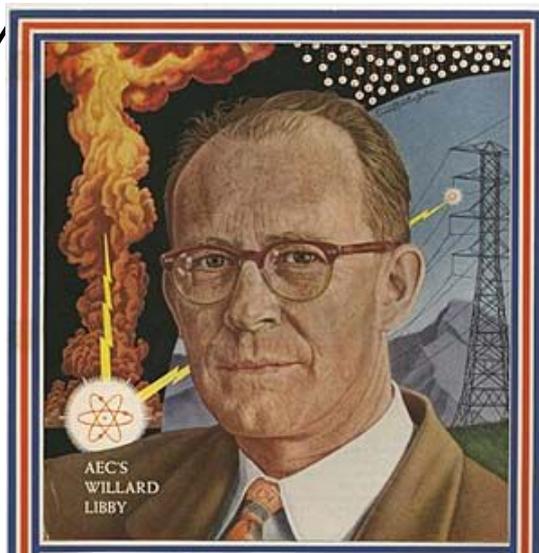
^{14}C непрерывно образуется в атмосфере в результате действия космических лучей. Свободные атомы ^{14}C входят в молекулы $^{14}\text{CO}_2$, которые попадают в живые организмы. Количество ^{14}C в косном органическом веществе позволяет определять время, прошедшее с того момента, когда косный органический материал входил в состав живых организмов.

В среднем в год в атмосфере Земли образуется около 7.5 кг радиоуглерода при общем его количестве 75 тонн. Образование радиоуглерода вследствие естественной радиоактивности на поверхности Земли пренебрежимо мало.



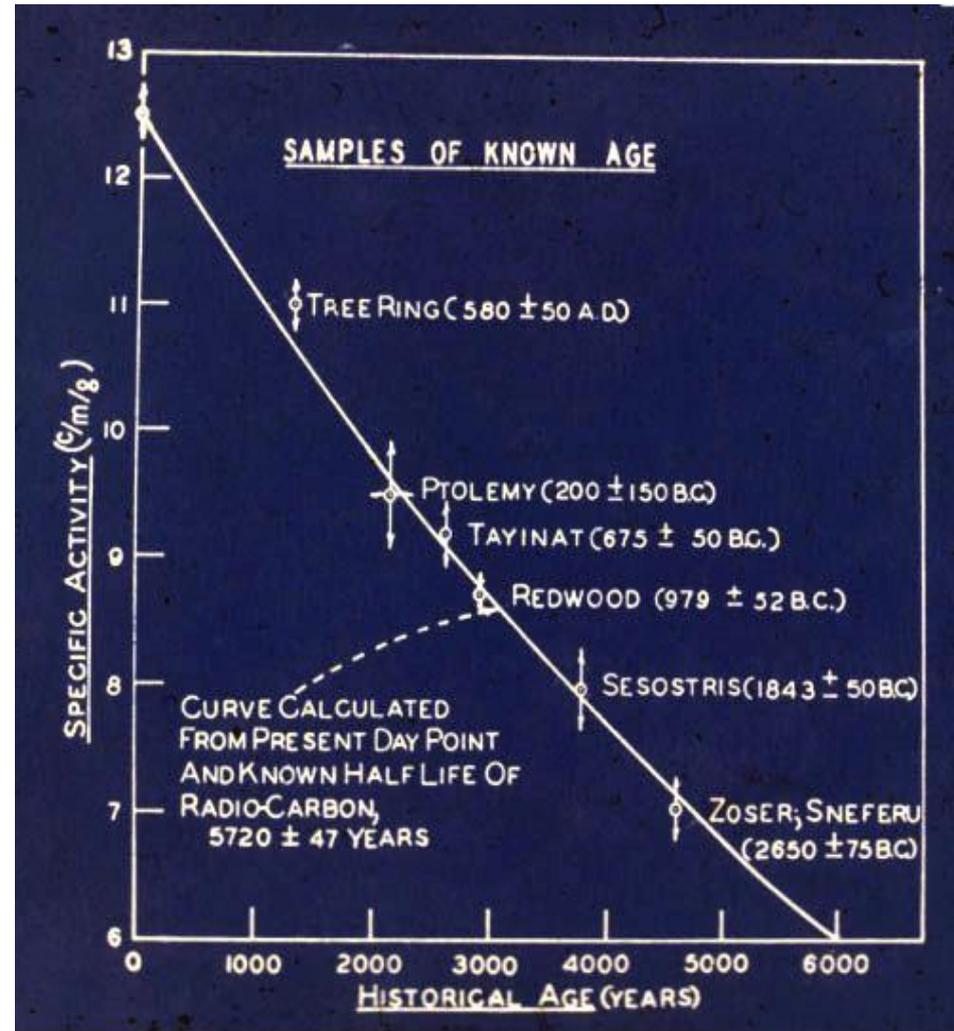
Радиоуглеродный метод датирования

- Радиоуглеродный метод датирования – это радиометрический метод, который основан на измерении естественного содержания изотопа углерода-14 (^{14}C) в углеродсодержащих материалах.
- Радиоуглеродный метод датирования был изобретён Виллардом Либби [18], профессором Чикагского университета и его коллегами в 1949 году.
- В 1960 году он получил Нобелевскую премию по химии за своё изобретение



1945-1952: The Critical Experiments

- **First ^{14}C date: wood from tomb of Zoser (Djoser), 3rd Dynasty Egyptian king (July 12, 1948).**
Historic age: 4650 ± 75 BP
Radiocarbon age: 3979 ± 350 BP
- **Second ^{14}C date: wood from Hellenistic coffin**
Historic age: 2300 ± 200 BP
Radiocarbon age: (C-?)
Modern! Fake!
- **First "Curve of Knowns":**
6 data points (using seven samples) spanning AD 600 to 2700 BC.
Half life used: 5720 ± 47 years



1960-1980

“Second Radiocarbon Revolution:” Calibration

- Calibration of ^{14}C time scale: Distinguishing “real (solar, sidereal) time” and “ ^{14}C time”
- Bristlecone pine / ^{14}C data: First detailed continuous tree ring- based data set documenting ^{14}C offsets over last 7000 yrs.
- Long-term anomaly: maximum Holocene offset about 10% or ~800 years at about 7000 BP
- Shorter-term anomalies: “De Vries effects” multi-millennial and multi-century oscillations in ^{14}C time spectrum

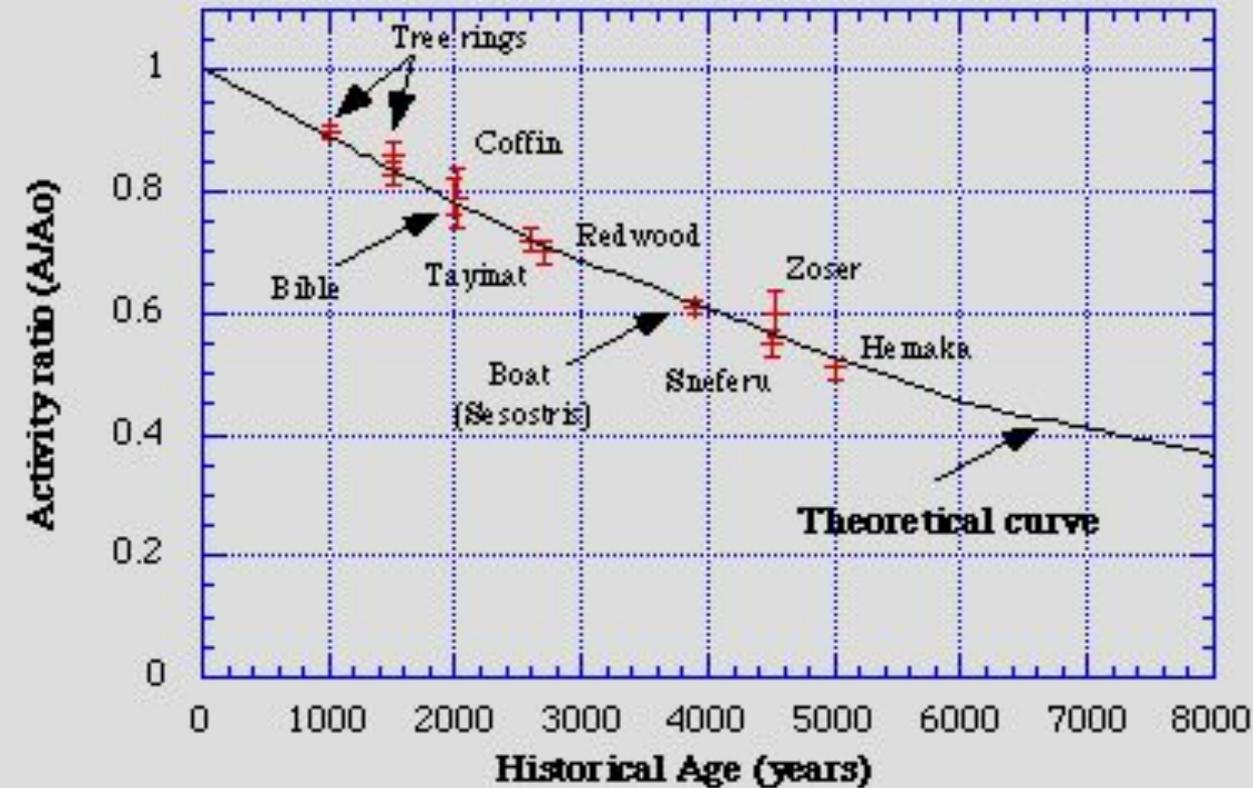
Допущения

- Скорость образования ^{14}C постоянна
- Биосфера и атмосфера имеют примерно равное содержание ^{14}C
- После отмирания нет обмена ^{14}C и его содержание определяется только радиоактивным распадом

- Все определения возраста, полученные на основе лабораторного измерения содержания ^{14}C , называют радиоуглеродными датами. Они приводятся в количестве лет *до наших дней (BP)*, а за момент отсчета принимается дата 1950 г., время проведения ядерных испытаний, после которых в атмосферу попало высокое количество искусственного ^{14}C .
- Радиоуглеродные даты всегда приводят с указанием возможной статистической ошибки (например, 2560 ± 30 до BP).
- *BC - before Christ (англ.) , до Христа, до нашей эры.*
- *AD - anno domini (лат.) , нашего бога, нашей эры.*

Методы определения радиоуглерода: «традиционный» и AMS

- «Традиционный» основан на определении количества электронов, выделяющихся в процессе распада ^{14}C . Интенсивность их выделения соответствует количеству ^{14}C в исследуемом образце.
- Время счета составляет до нескольких суток, поскольку за сутки происходит распад всего лишь примерно четверти миллионной доли содержащегося в образце количества атомов ^{14}C . Требуется несколько грамм вещества на анализ.



$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A_{corr} = A_{meas} \left[1 - \frac{2(25 + \delta^{13}C_{PDB})}{1000} \right] \text{dpm/g}$$

$$\delta^{13}C = \left[\frac{\left(\frac{^{13}C}{^{12}C} \right)_{spl} - \left(\frac{^{13}C}{^{12}C} \right)_{std}}{\left(\frac{^{13}C}{^{12}C} \right)_{std}} - 1 \right] * 1000$$

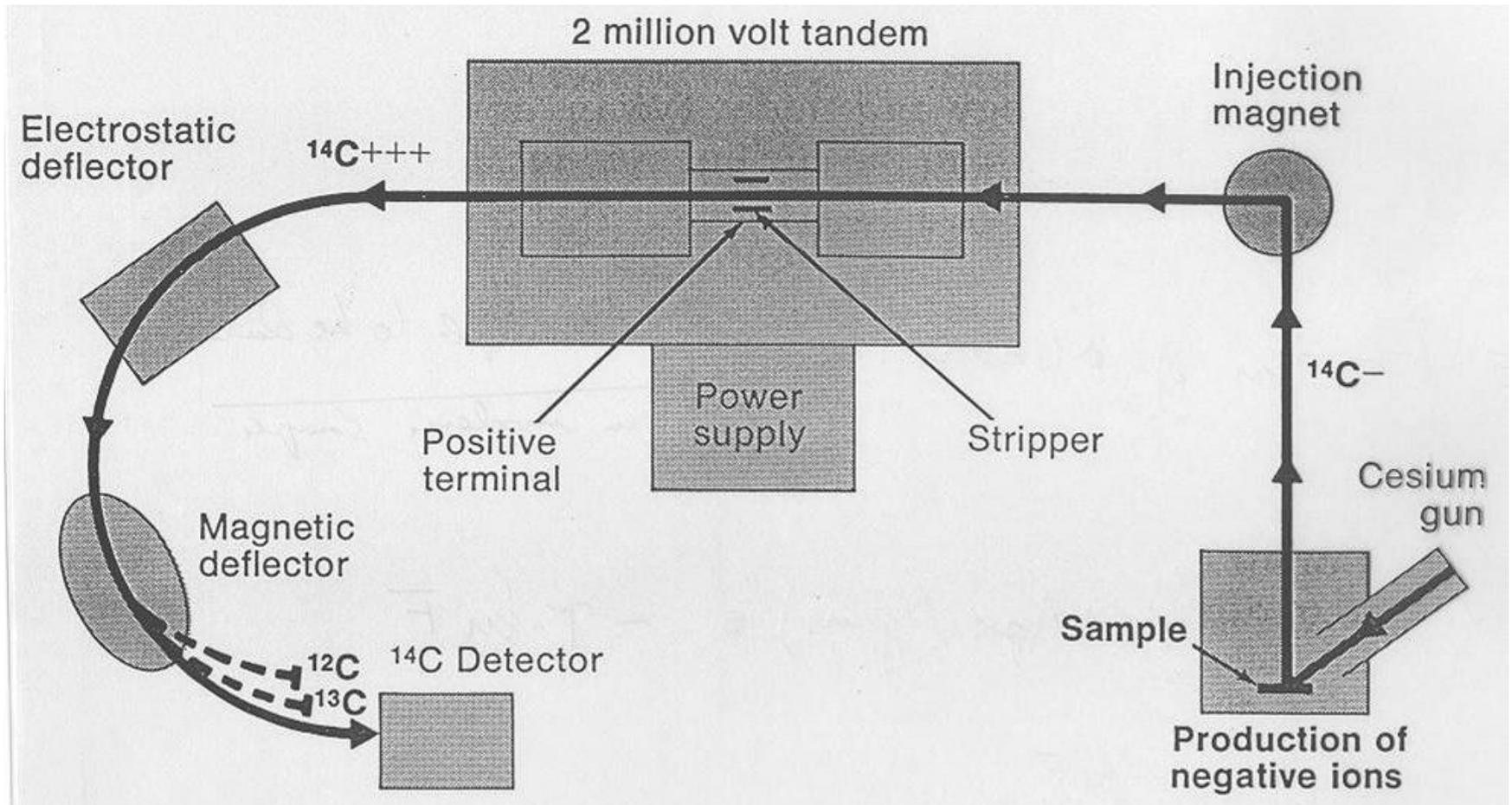
- Примерно с 1965 г. широкое распространение получил метод жидкостной сцинтилляции. При его использовании полученный из образца углеродсодержащий газ превращают в жидкость (как правило, бензол), которую можно исследовать в небольшом стеклянном сосуде.
- В жидкость добавляют специальное вещество – сцинтиллятор, которое заряжается энергией электронов, высвобождающихся при распаде радионуклидов ^{14}C . Тем самым обеспечивается геометрия счета и устраняется самопоглощение β -частиц.
- Сцинтиллятор почти сразу испускает накопленную энергию в виде вспышек световых волн. Свет можно улавливать с помощью фотоумножительной трубки. Современные сцинтилляционные счетчики характеризуются почти нулевым фоновым излучением,

- **Метод изотопной масс-спектрометрии** в последние годы стал основным инструментом для определения содержания радиоуглерода и проведения датирования.
- Данный метод основывается на том, что атомы разных изотопов (и веществ, состоящих из них) имеют разную массу. Образцы вещества окисляются до образования углекислого газа (остальные оксиды удаляются), затем полученный газ ионизируется и на высокой скорости проходит через магнитную камеру, где заряженные молекулы отклоняются от исходной траектории.
- Чем больше отклонение - тем легче молекула, и тем меньше в ней ^{14}C . Подсчитав соотношение слабо отклонившихся и сильно отклонившихся молекул, можно определить, какова концентрация ^{14}C в образце с высокой точностью. Метод позволяет датировать образцы с массой всего несколько миллиграммов в диапазоне до 60 000 лет.

- AMS-метод (акселераторная масс-спектрометрия) требует использования масс-спектрометра, с помощью которого выявляются все атомы с массой 14; особый фильтр позволяет различать ^{14}N и ^{14}C .
- Поскольку при этом нет необходимости ждать, пока произойдет распад, счет ^{14}C можно осуществить меньше, чем за час; достаточен образец массой в 0.5 мг (+/- 35 лет).



- Accelerator Mass Spectrometer



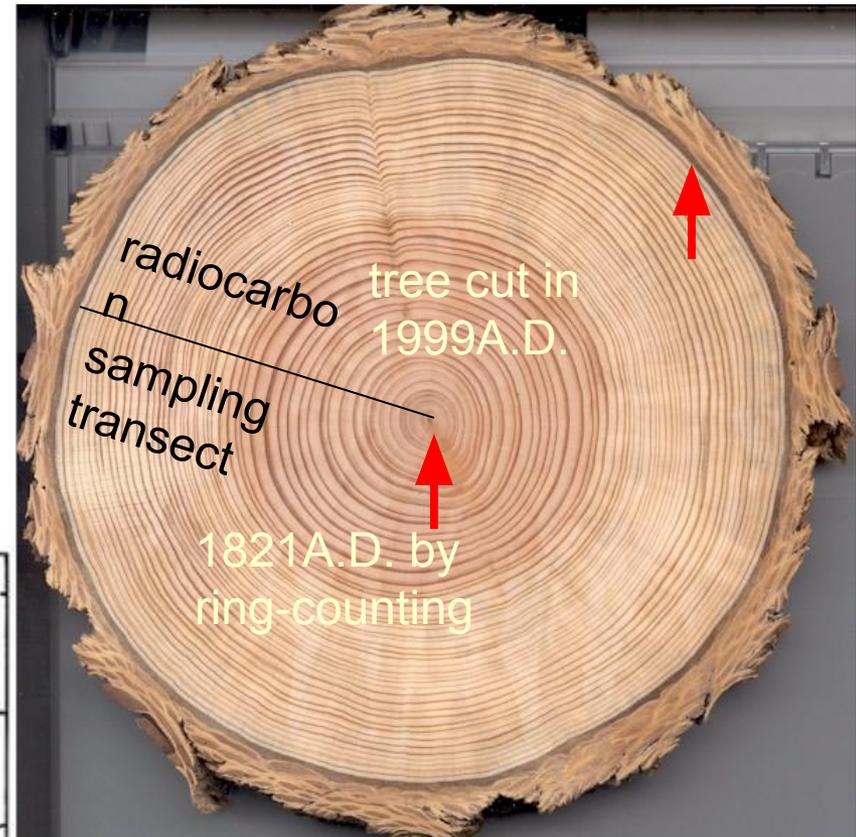
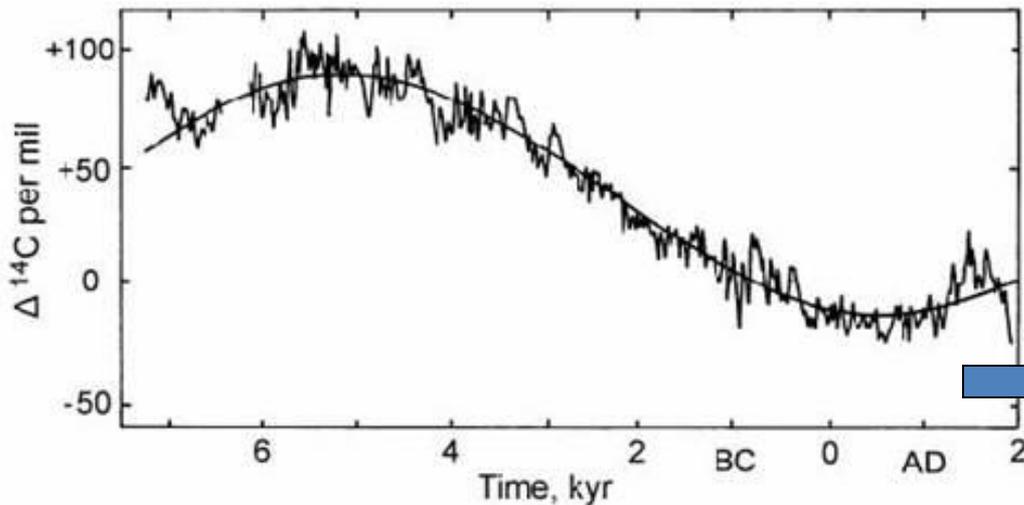
- Upper age limit 40,000 years
- Lower age limit 200 years

Reconstructing atmospheric radiocarbon variability through time

What you need:
absolute age & radiocarbon age

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

What you get:
history of $^{14}\text{C}_{\text{atmos}}$



Most of the Holocene $^{14}\text{C}_{\text{atmos}}$ variability derives from changes

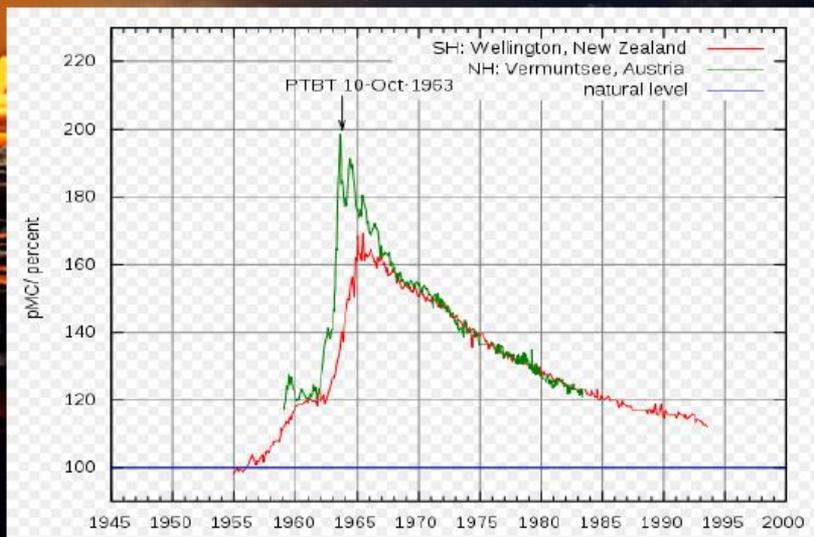
in the geomagnetic field



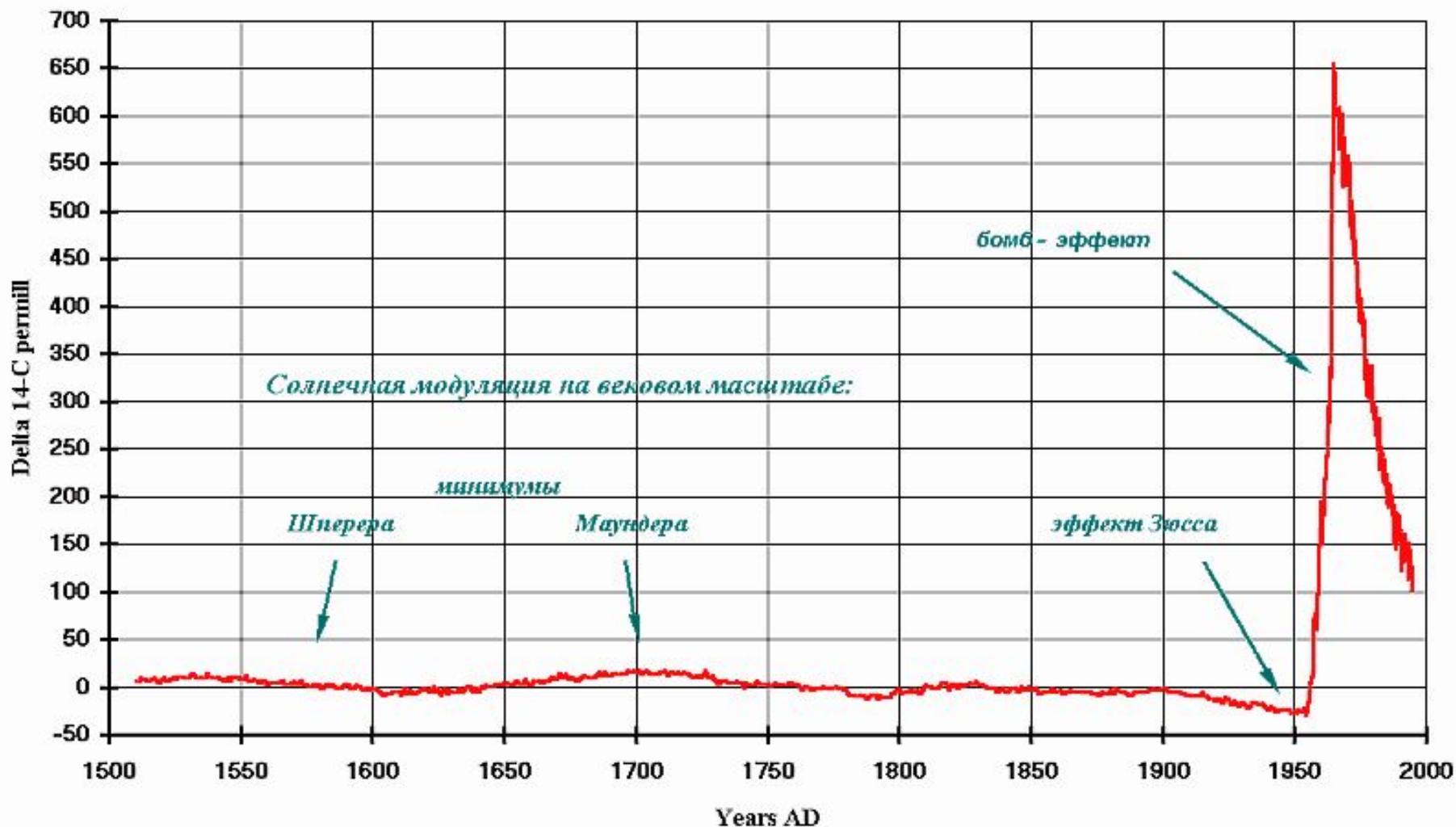
ЭФФЕКТ БОМБЫ



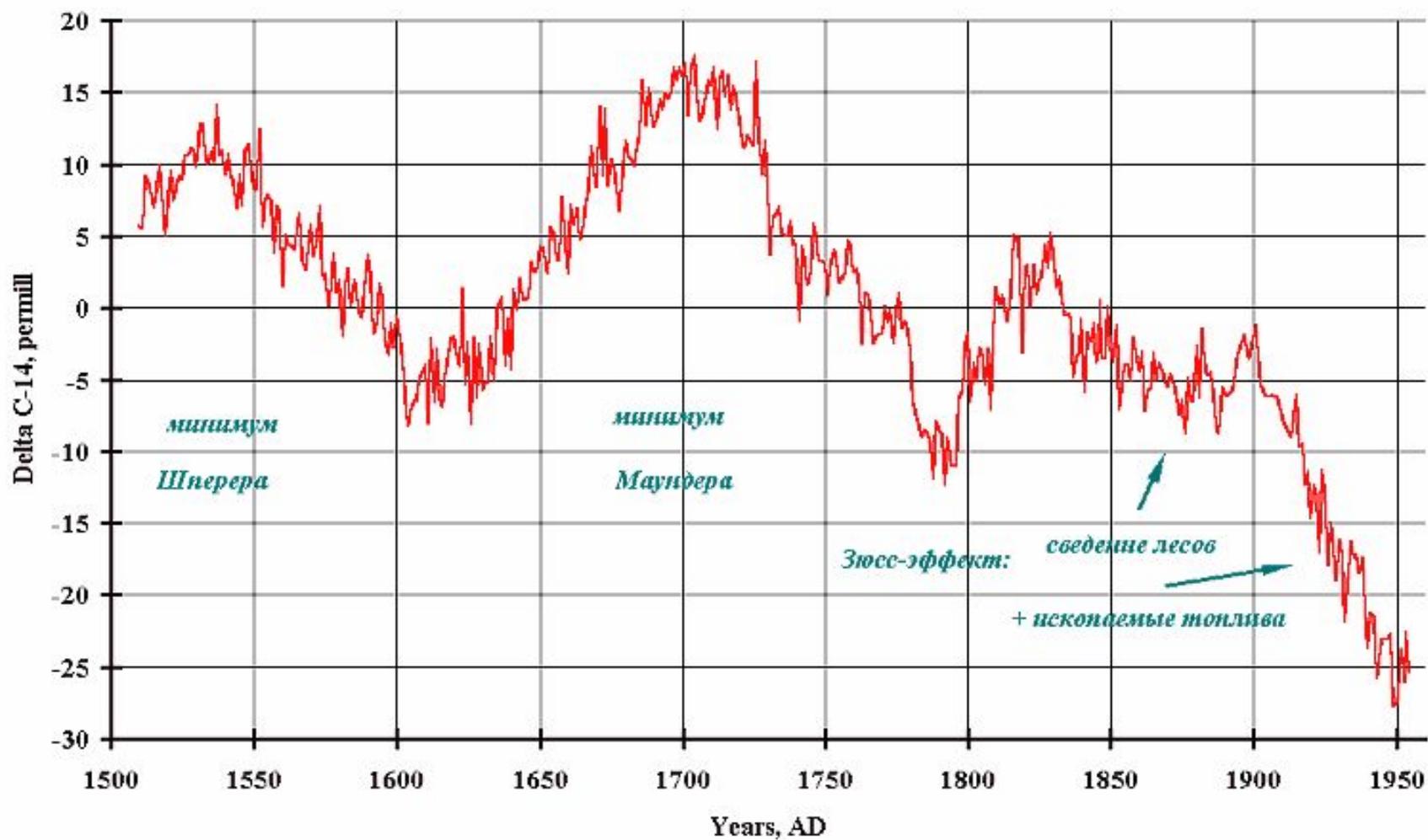
В настоящее время превышение концентрации ^{14}C в атмосфере составляет около 13 %



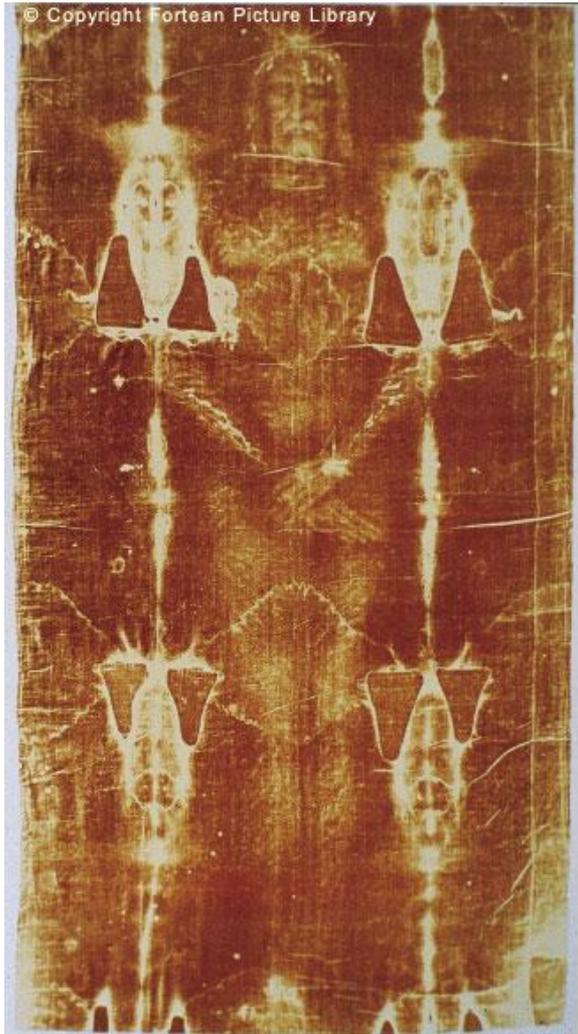
Combined data from tree-ring (Stulver et al) and direct atmospheric measurements in the Southern Hemisphere (Vogel et al)



Tree-ring annual radiocarbon data (Stuiver et al)



- Основными способами калибровки метода, то есть расчёта баланса ^{14}C в определенный период, являются сравнения результатов радиоуглеродного метода с другими независимыми методами - дендрохронологией, исследованиями кернов древнего льда, донных отложений, образцов древних кораллов (U-Th возраст до 50 000 лет), пещерных отложений и натёков.
- Для этого была построена калибровочная кривая, с помощью которой можно перевести радиоуглеродный возраст образца в календарный. В целлюлозе колец деревьев точно отражено текущее атмосферное состояние содержания радиоуглерода за период роста (возраст до 12 000 лет).



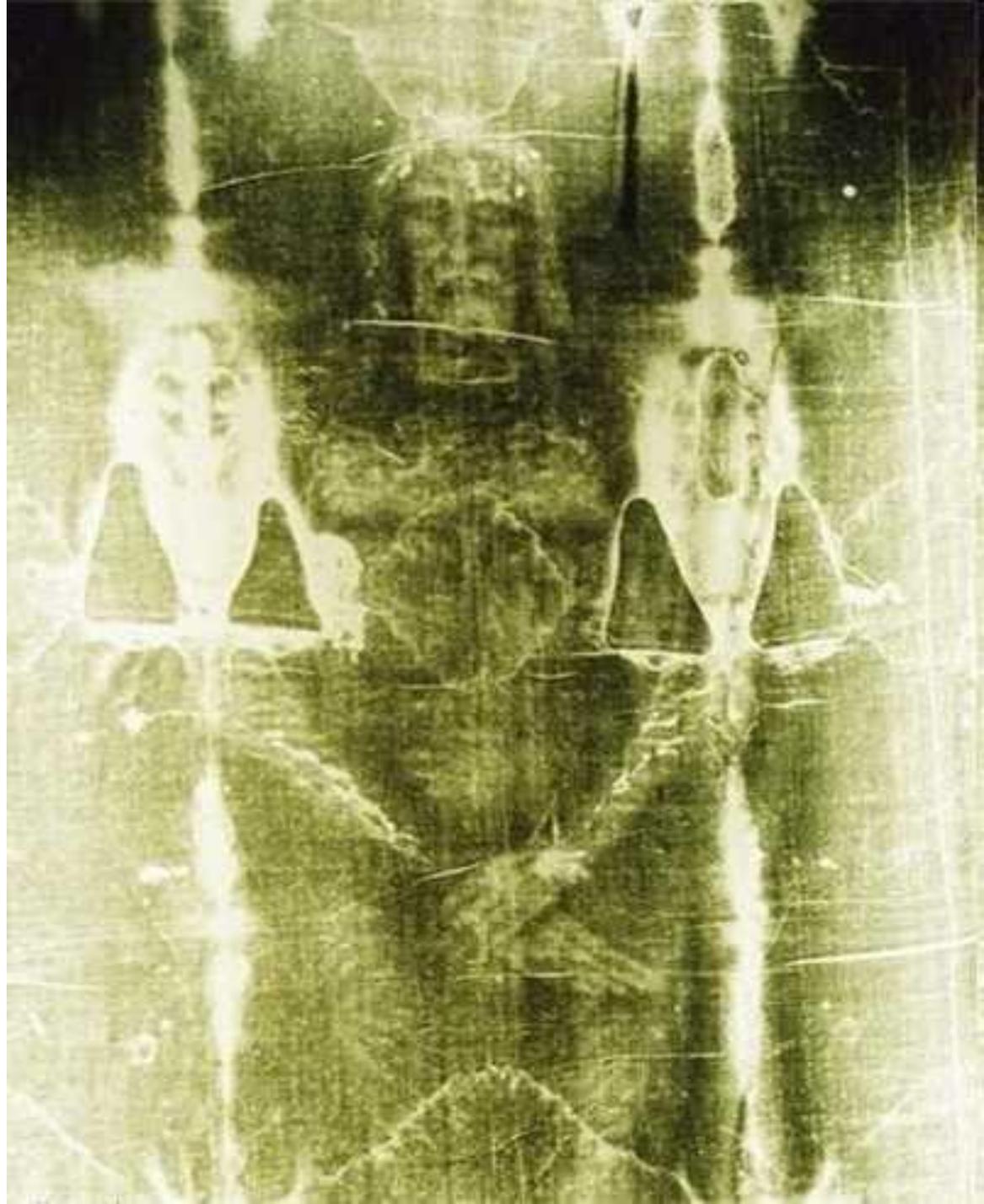
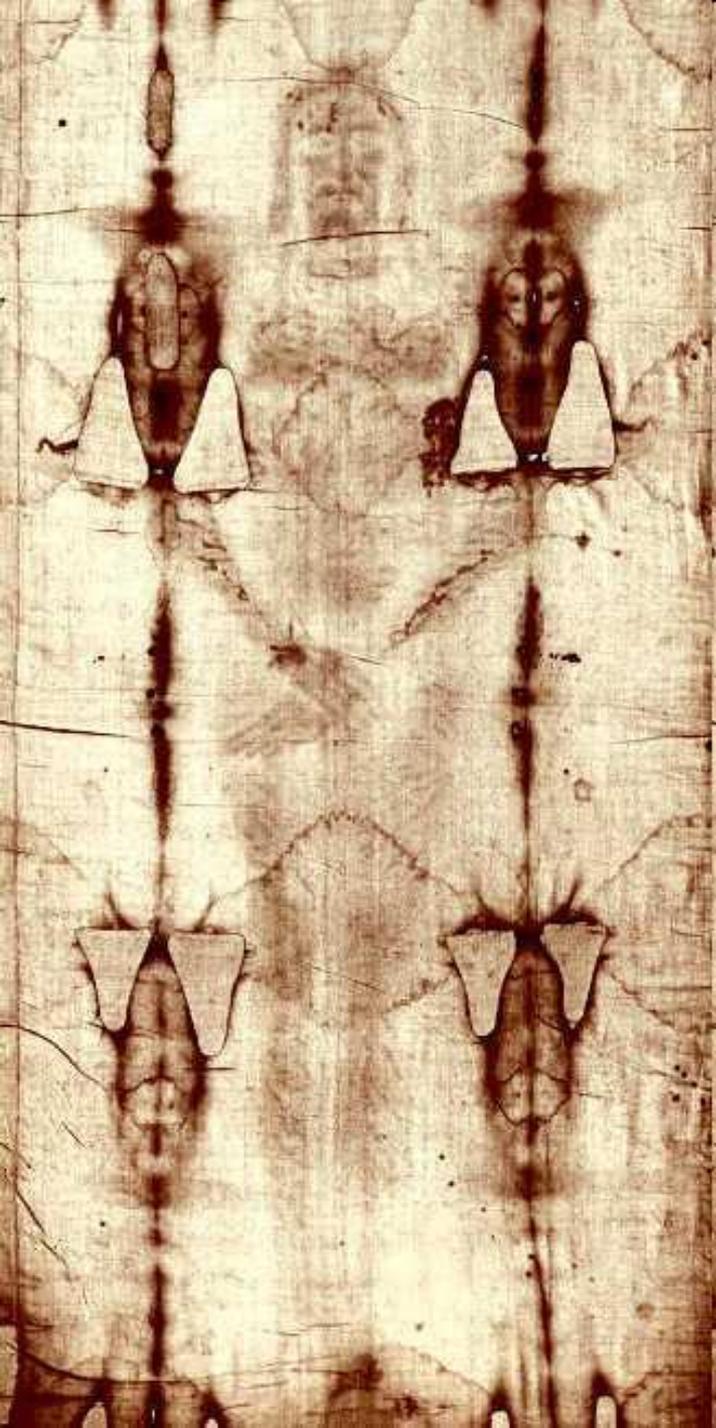
1260 to 1390 AD*

Archaeology



3100 to 4000 BC*

* Radiocarbon date



- **Туринская Плащаница** представляет собой кусок древнего полотна (4.3 x 1.1 метра) с довольно смутно проступающим на нем изображением обнаженного тела в двух проекциях - спереди со сложенными впереди руками и ровно лежащими ногами и со спины, - расположенного таким образом, как если бы человека положили на нижнюю часть полотна головой к центру, затем перегнули ткань пополам и накрыли ею тело.
- Исследования позволили оценить рост мужчины около 178 см, а возраст между 30 и 45 годами.

- Масса доказательств того, что в Туринскую плащаницу было завернуто тело Иисуса Христа после распятия: это состав и способ плетения ткани, соответствующие тому времени;
- пыльца растений, встречающихся только в той местности;
- четкие следы от монет с надписью «кесарь Тиберий», чеканившихся только около 30 г. н. э., то есть в годы казни Христа;
- положение тела, распространенное в иудейских захоронениях тех времен, и следы от ран, полностью соответствующие описанной в Евангелие истории распятия Иисуса.
- Отпечаток тела на ткани является не рисунком, а каким-то прожиганием, физику которого не могут понять исследователи.

Множество фактов, которые не могут быть объяснены иначе.

- В 1898 г. в Париже проходила международная выставка религиозного искусства. На нее привезли и **Плащаницу из Турина**, представив ее как плохо сохранившееся творение древних христианских художников.
- Плащаницу повесили высоко над аркой, а перед закрытием выставки решили сфотографировать. На Туринской Плащанице запечатлено негативное изображение и что позитивное изображение Иисуса Христа можно получить, **сделав негатив с Туринской Плащаницы**.
- **Человек на Туринской Плащанице был распят по древнеримским обычаям.**

- **Исследования Туринской плащаницы в 1978г.** Работы американского физика Дж. Джексона, который обнаружил, что потемнение Туринской Плащаницы в каждой точке находится в простой зависимости от расстояния до тела, которое оно, видимо, когда-то покрывало.
- **Было обнаружено, что образ на Туринской Плащанице не является результатом внесения в ткань каких-либо красящих веществ.** Это полностью исключает возможность того, что образ на Плащанице был делом рук художника. Биохимические исследования, с большой долей вероятности, доказывают, что **кровь была человеческой, а ее группа АБ (4-я).**

Радиоуглеродный анализ Туринской плащаницы

- **1988 г.** Датирование было осуществлено тремя независимыми лабораториями, которые пришли к одинаковому результату: данные с 95 %-ной вероятностью приводят к датам изготовления 1260 - 1390 гг. Туринская Плащаница была изготовлена в XIV веке, т. е. не является подлинной Плащаницей Иисуса Христа.
- Этот результат приходит в противоречие со всеми другими фактами.

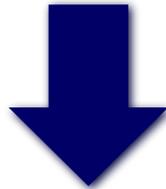
- Одним из самых достоверных фактов сильнейшего воздействия на Плащаницу был пожар в храме города Шамбери (Франция) в 1532 г., в результате которого ткань Плащаницы подверглась воздействию высокой Т и даже обуглилась.
- Можно предположить, что в ходе реставрации в 1532 г. или позже Плащаница была подвергнута обработке маслом, и в нее неизбежно попал углерод 16-го века, и это не могло не сказаться на ее радиоуглеродном датировании в 1988 г.
- В 1508 г. Плащаница была подвергнута кипячению в масле с целью доказательства ее подлинности (что Плащаница не написана красками). Естественно, подобное "испытание" по той же самой причине, что и в рассмотренном выше случае, ведет к "омоложению" углеродного состава Плащаницы.

- Как показывают расчеты, для того, чтобы мы получили радиоуглеродную датировку возраста Плащаницы 1300-й год (данные Аризонского университета и Цюрихской лаборатории) в ткань Плащаницы в 1532 году должно быть внесено 14% углерода 16-го века.
- Определим количество масла, необходимого для внесения в ткань 14% "нового" углерода. Льняная ткань хорошего качества состоит из 80% целлюлозы и 20% лигнина. Масса С в чистой целлюлозе составляет около 50%, а масса С в масле около 80%. Добавку к С в 14%, приводящую к изменению результатов датирования на 1300 лет, дает введение в ткань 7% растительного масла.

A False Assumption

Elizabeth K. Ralph and Henry M. Michael,
“Twenty-five Years of Radiocarbon Dating,” *American Scientist*, Sep/Oct 1974

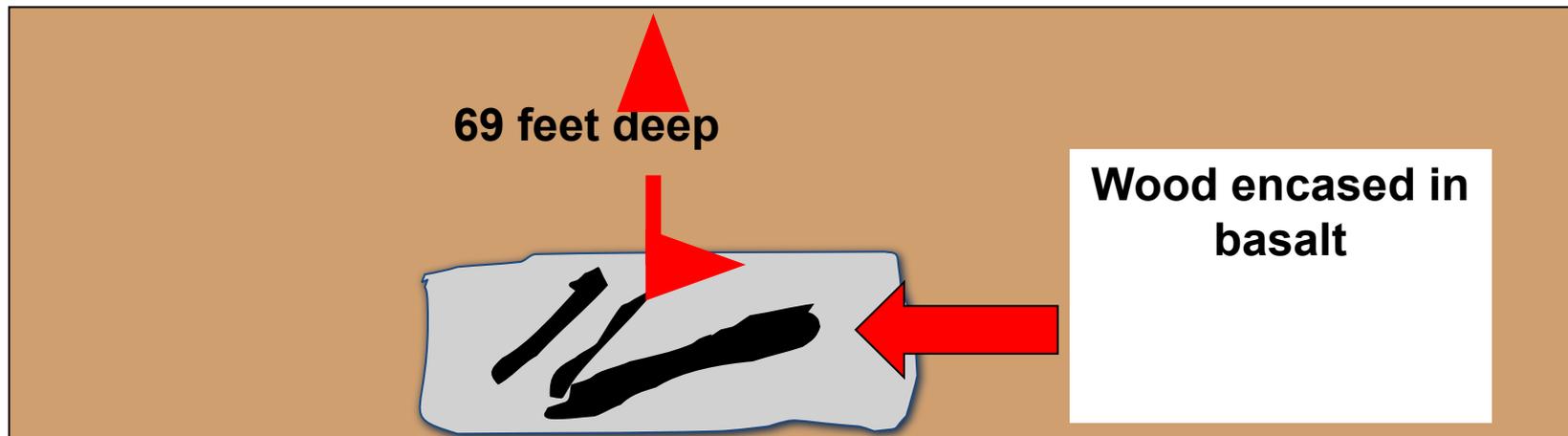
“We know that the assumption that the biospheric inventory of C^{14} has remained constant over the past 50,000 years or so **is not true.**”



The assumption carbon-14 dating is based upon is
FALSE

Conflict in Dating

- In 1993 scientists found wood (trees) buried in basalt flows (69 feet deep)
- ◆ Wood samples sent to two laboratories to be carbon-14 dated
44,000 years
- ◆ Basalt sent to two laboratories to be potassium-argon dated
45,000 million years



Evidences for a Young Earth

- Helium in the Earth's atmosphere
- Nuclear decay rates (Radioisotope dating)
- Sodium in the oceans
- Rapid disintegration of comets
- Erosion of continents
- Sediments in the ocean
- Decay of the Earth's magnetic field
- Carbon-14 ratio in the atmosphere
- Radiohalos for polonium in granites
- Population statistics
- Recession of the moon
- Many more

