

# ИЗОТОП Ы

И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В  
ГЕОЛОГИИ

**ИЗОТОПЫ** - вещества, имеющие одинаковое химическое поведение, но различные физические свойства

Это разновидности атомов химических элементов, которые имеют одинаковый атомный (порядковый) номер, но при этом разные массовые числа. Название связано с тем, что все изотопы одного атома помещаются в одно и то же место (в одну клетку) таблицы Менделеева.

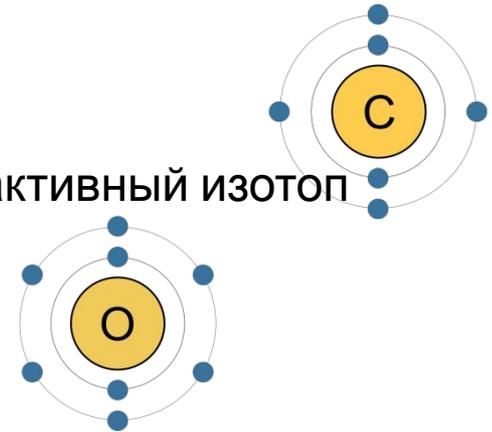
Химические свойства атома зависят от строения электронной оболочки, которая определяется зарядом ядра  $Z$  (то есть количеством протонов в ядре), и почти не зависят от его массового числа  $A$ .

Все изотопы одного элемента имеют одинаковый заряд ядра, отличаясь лишь числом нейтронов.

**Изотопы:** устойчивые (стабильные) и радиоактивные.

$^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ , — два стабильных изотопа углерода;  $^{14}\text{C}$  — радиоактивный изотоп

$^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$  — три стабильных изотопа кислорода



**Массовое число** атомного ядра ( $A$ ) — массовое суммарное количество протонов и нейтронов в ядре.

**Протон** — стабильная элементарная частица с положительным электрическим

**Нейтрон** — тяжёлая элементарная частица, без электрического заряда.

## Изотопы O-16 и O-18 в реконструкции древнего климата Земли

В океанической воде встречаются два изотопа кислорода: O-16 и O-18 (распространенность O-16 = 99,763% и O-18 = 0,1995%).

Кислород-16 более легкий, и вода с O-16 испаряется быстрее.

В ледниковые периоды водяной пар, обогащённый O-16, осаждается в виде льда и снега, уменьшая количество изотопа O-16 в океане и обогащая его O-18.

# Изотопы O-16 и O-18 в реконструкции древнего климата Земли

Многие морские организмы образуют карбонатные скелеты, извлекая кислород из морской воды. Содержание кислорода в этих скелетах отражает соотношение легкого и тяжелого изотопов в воде, а значит, и температуру в это время.

Измерение этого соотношения в ископаемых остатках позволяет подсчитать изотопный состав кислорода морской воды и восстановить климат прошлого.

# Изотопы O-16 и O-18 в реконструкции древнего климата Земли

## ЛЕДНИКОВЫЙ ПЕРИОД

Преимущественное испарение лёгкого изотопа O-16 в атмосферу в виде водяного пара и его консервация в виде снега и льда приводят к увеличению доли O-18 в морской воде во время оледенения.



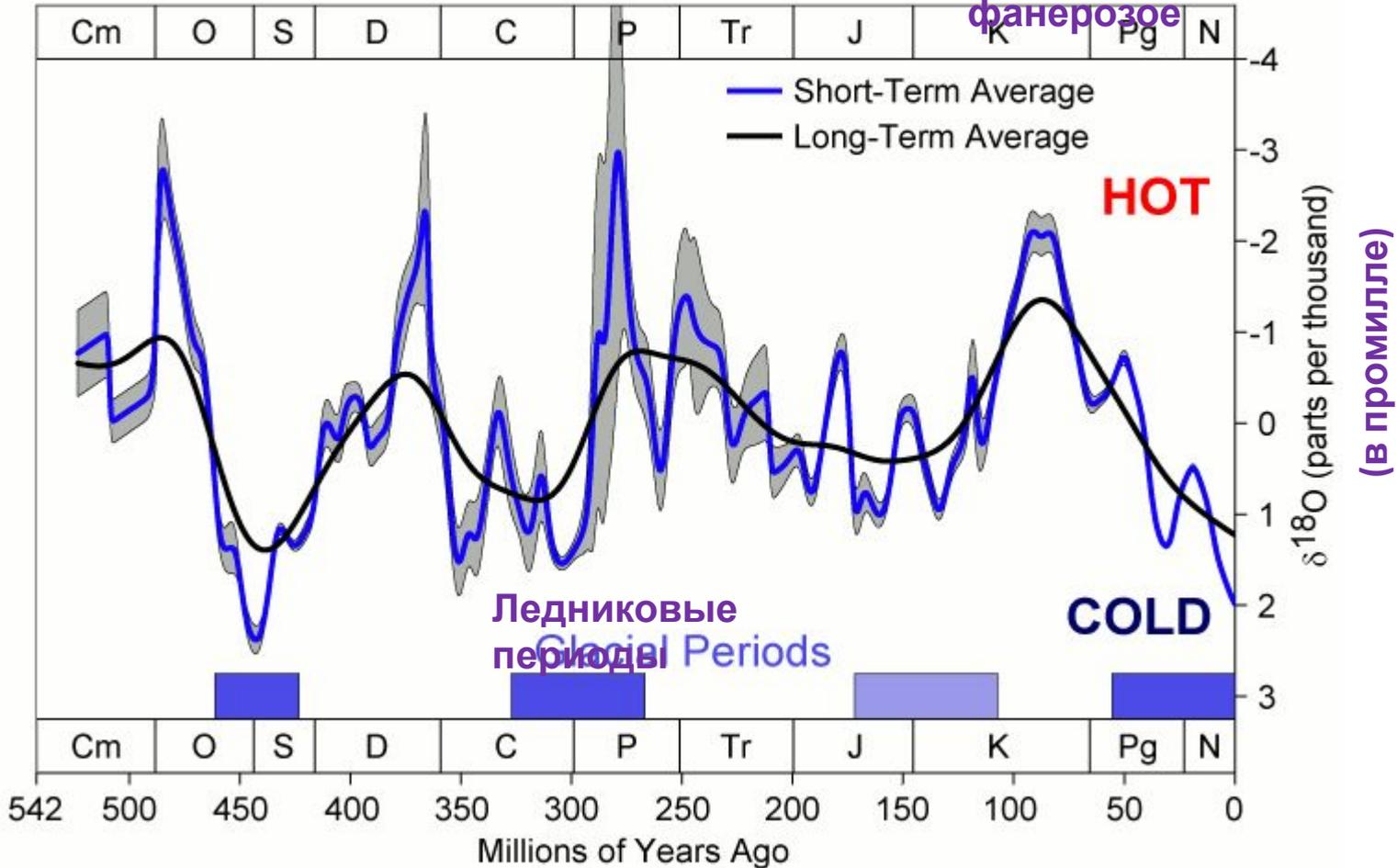
## МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ

В период потепления ледники тают, и в океан возвращается большой объём воды, богатой O-16. При этом соотношение O-18/O-16 в морской воде уменьшается.

# Пример использования данных по содержанию изотопов O-16 и O-18 для реконструкции климата

## Phanerozoic Climate Change

Изменение климата в фанерозое



Формула для расчета  $\delta^{18}\text{O}$  (используется содержание изотопов O-16 и O-18 в стандарте)

$$\delta^{18}\text{O} = \left( \frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000$$

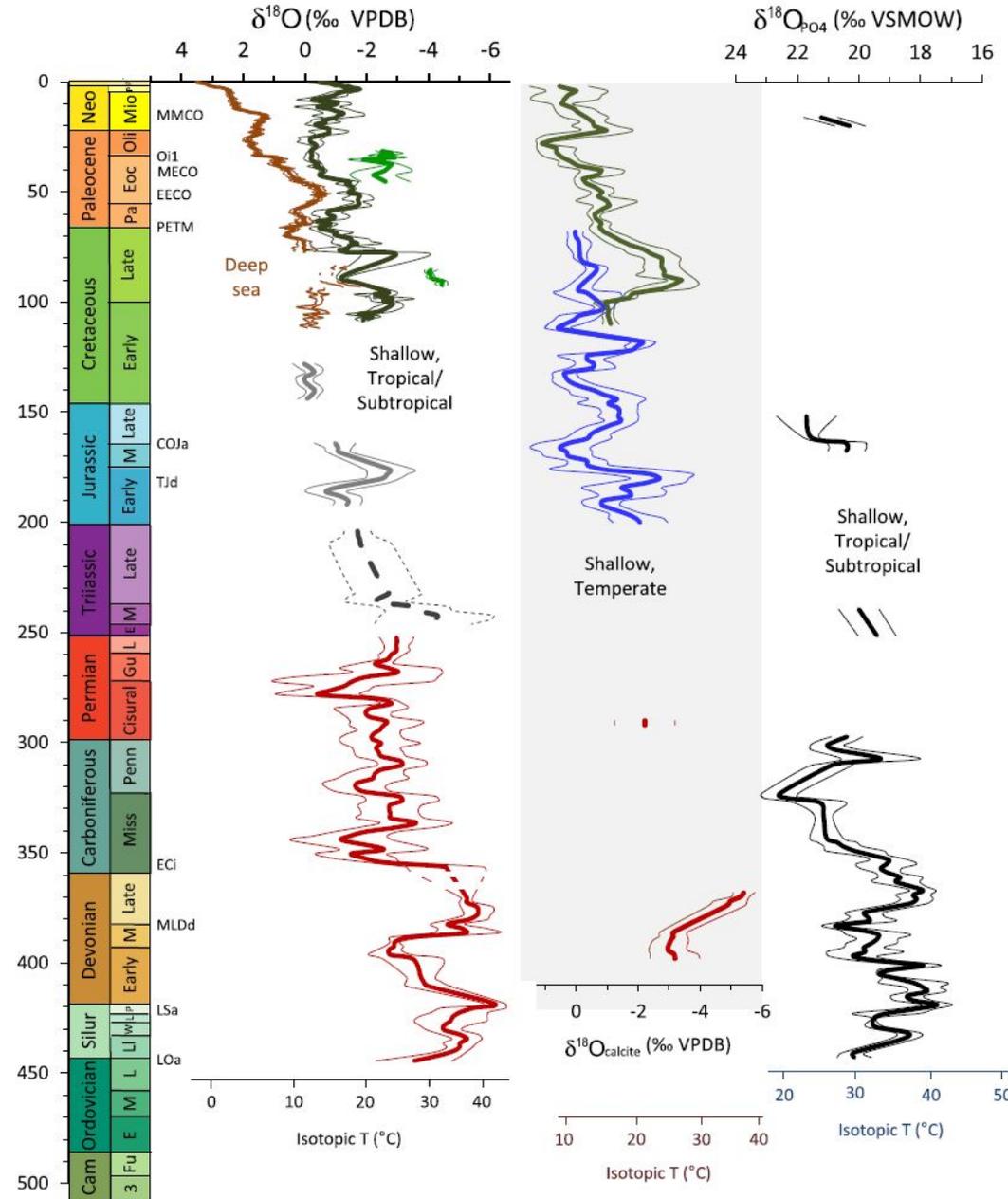
# Пример использования данных по содержанию изотопов O-16 и O-18 для реконструкции

КJ

(A). Carbonates

(B). Phosphates

Изменение климата в фанерозое



# Изотопы углерода С-12 и С-13 в реконструкции древних обстановок Земли

- Природный углерод состоит из двух стабильных изотопов  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$  (распространенность 98,89% и 1,11%).
- Изотопный состав углерода выражается отношением  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  или относительной плотностью  $d^{13}\text{C}$ , которая равна:

$$\delta C^{13} = \left[ \frac{(C^{13} / C^{12})_{\text{обр}}}{(C^{13} / C^{12})_{\text{ст}}} - 1 \right] \cdot 1000, \text{‰},$$

- где  $(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{обр}}$  – величины, определенные для данного образца;  $(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{ст}}$  – то же для выбранного стандарта.

# Изотопы углерода С-12 и С-13 в реконструкции древних обстановок Земли

$$\delta C^{13} = \left[ \frac{(C^{13} / C^{12})_{обр}}{(C^{13} / C^{12})_{ст}} - 1 \right] \cdot 1000, ‰,$$

- **Пример:**

$$\left[ \frac{(1.10 / 98.9)_{обр}}{(1.11 / 98.89)_{ст}} - 1 \right] \cdot 1000 = -9.11 ‰$$

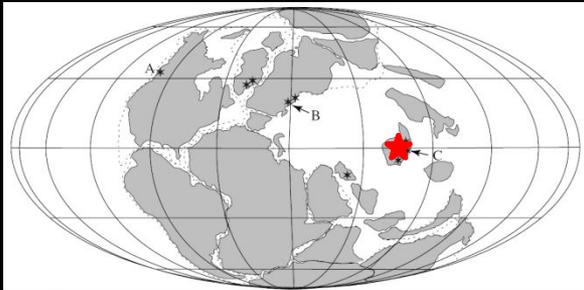
**Содержание <sup>13</sup>С в образце МЕНЬШЕ чем в стандарте на 0,01**

$$\left[ \frac{(1.12 / 98.88)_{обр}}{(1.11 / 98.89)_{ст}} - 1 \right] \cdot 1000 = 9.11 ‰$$

**Содержание <sup>13</sup>С в образце БОЛЬШЕ чем в стандарте на 0,01**

- Величина  $\delta C^{13}$  положительная, если содержание более тяжелого изотопа С<sup>13</sup> в образце больше, чем у стандарта, и отрицательные – в обратном случае

Великое пермское вымирание.  
На что указывают стабильные  
изотопы углерода?



Was there a mass die-off at the  
end of the Permian?

What do the stable isotopes of  
carbon indicate?

# Разрез границы перми и триаса (палеозоя и мезозоя) у с. Мейшань (Китай)



# Разрез границы перми и триаса (палеозоя и мезозоя) у с. Мейшань (Китай)



Музей под открытым небом

# Разрез границы перми и триаса (палеозоя и мезозоя) у с. Мейшань

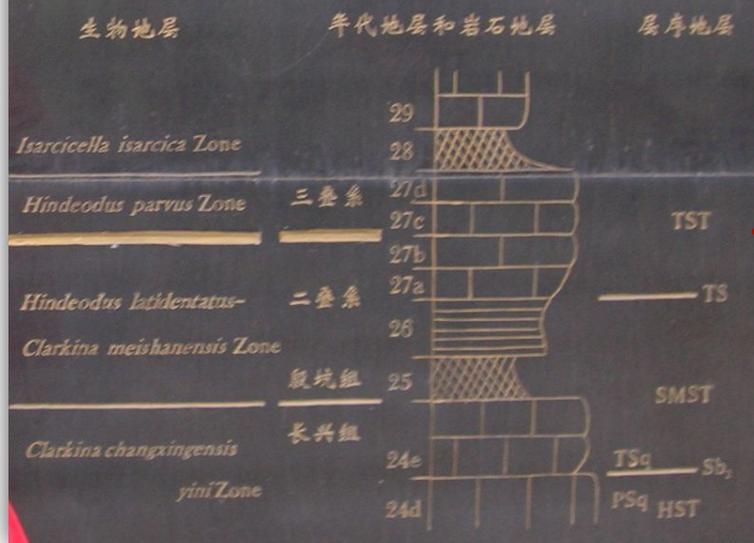
(Китай)

Первый в мире обелиск конодону (микрофауна)



全球二叠—三叠系界线层型

二叠系界线层型剖面界线层多重地层划分对比



T  
P

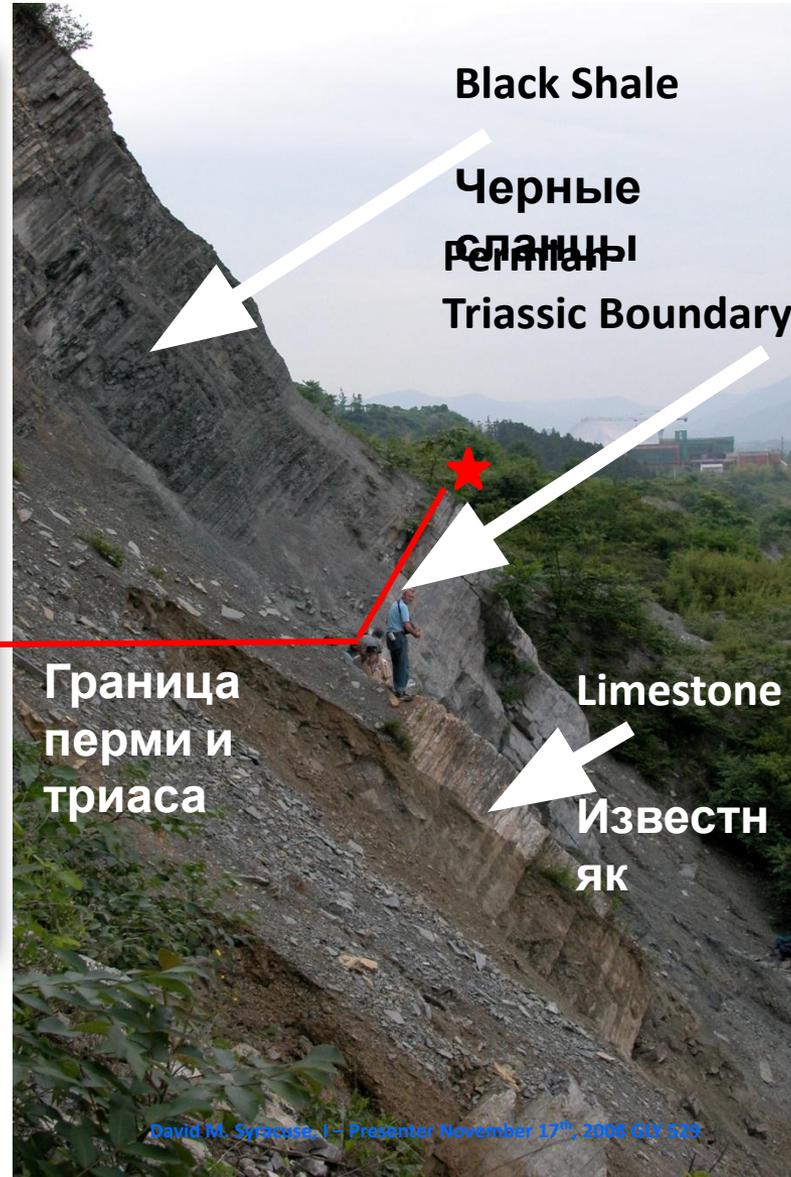
Global Stratotype Section and Point  
of Permian-Triassic Boundary  
National Committee of Stratigraphy  
International Commission of Stratigraphy  
International Union of Geological Sciences  
19 August 2001

Каменная книга – образ геологической летописи

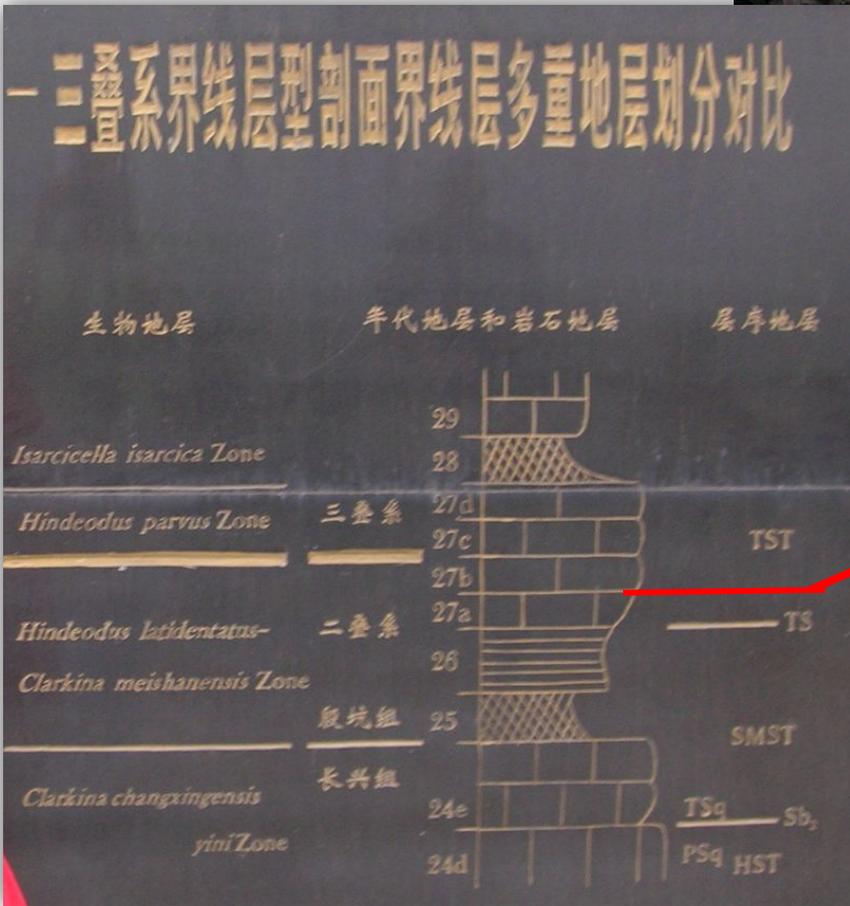




# Разрез границы перми и триаса (палеозоя и мезозоя) у с. Мейшань (Китай)



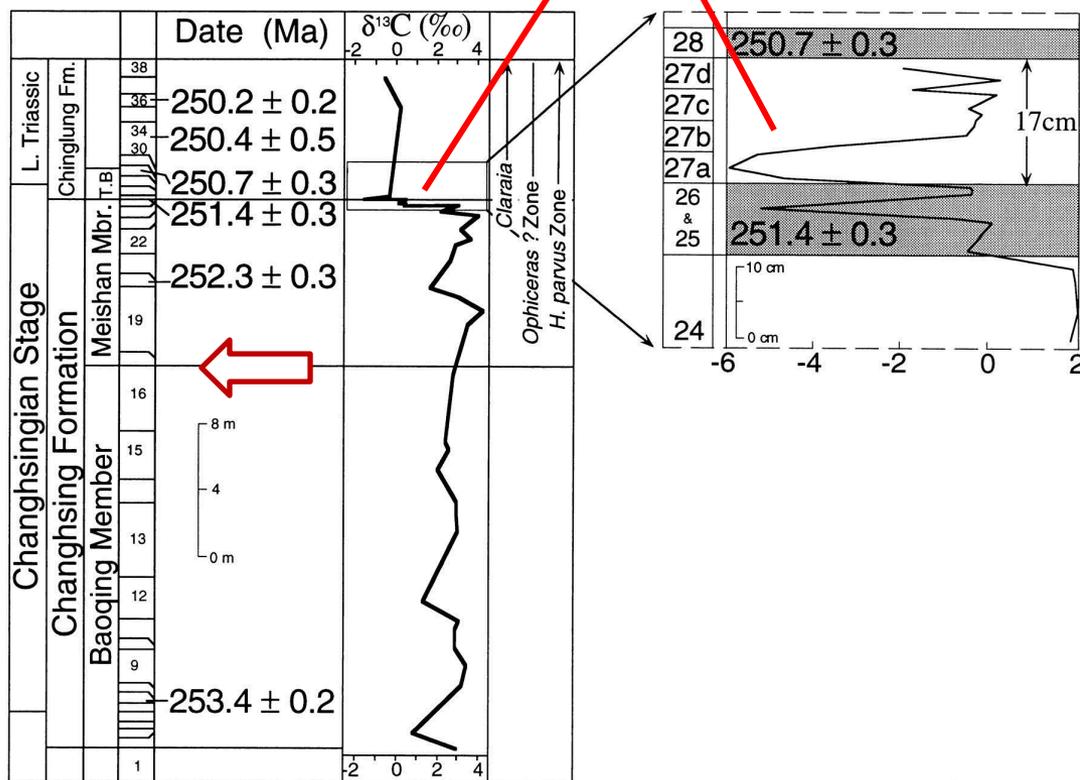
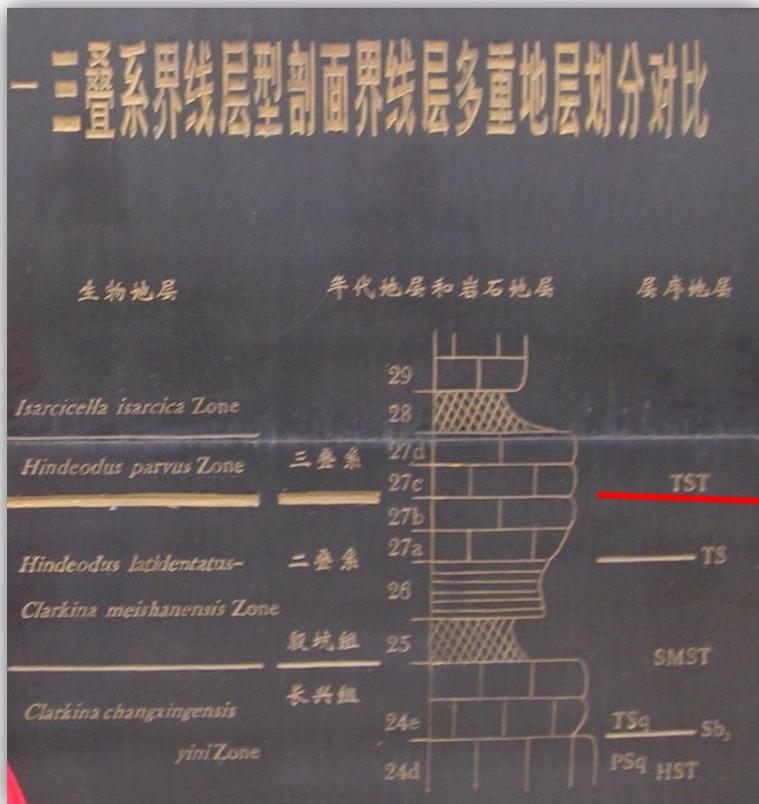
# Разрез границы перми и триаса (палеозоя и мезозоя) у с. Мейшань (Китай)



# Разрез границы перми и триаса (палеозоя и мезозоя) у с. Мейшань (Китай)

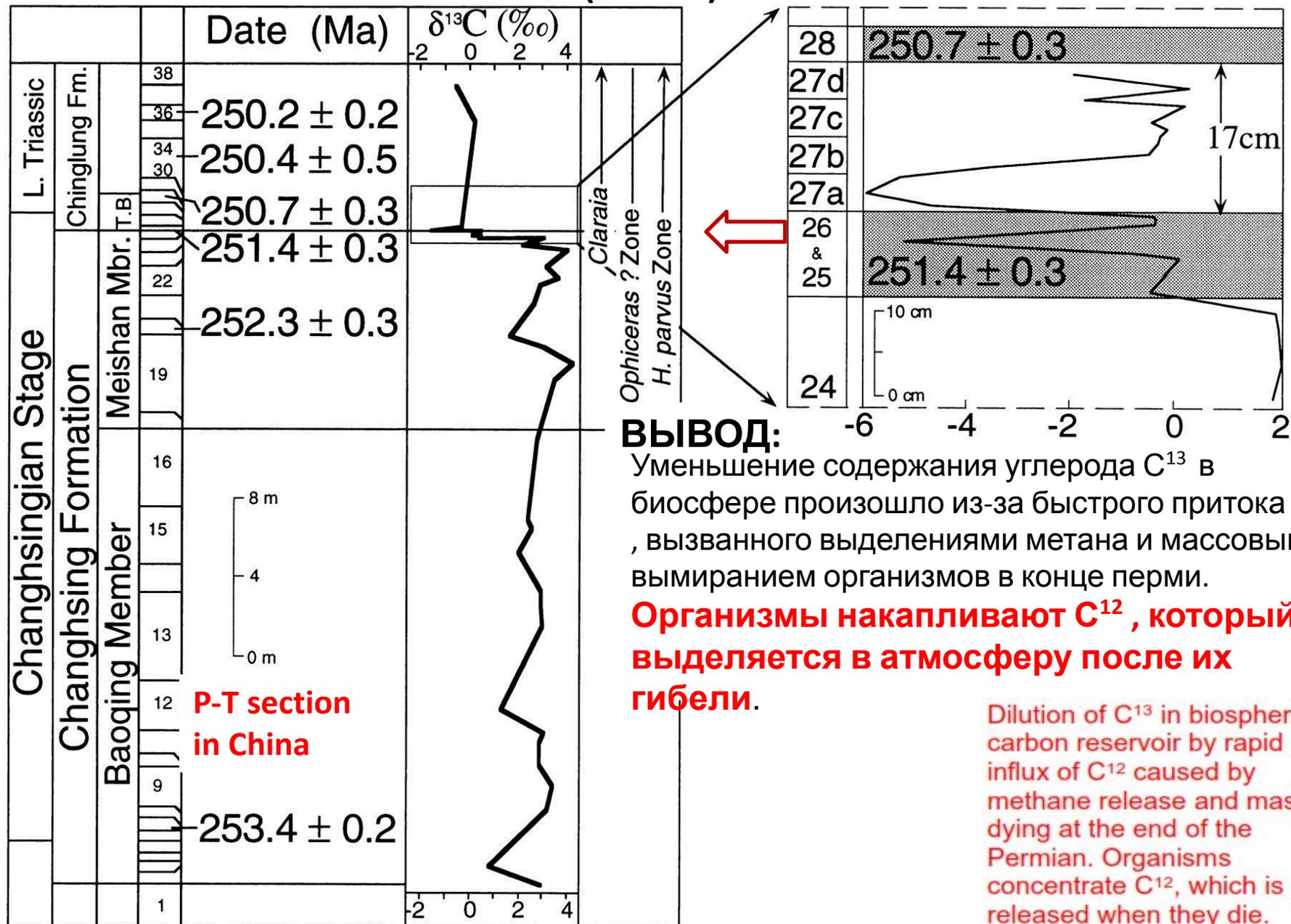
Установлено уменьшение содержания углерода C-13

(и одновременное увеличение C-12)



Известно, что организмы накапливают C<sup>12</sup>, который выделяется после их гибели.

# Разрез границы перми и триаса (палеозоя и мезозоя) у с. Мейшань (Китай)



**ВЫВОД:**  
 Уменьшение содержания углерода  $\text{C}^{13}$  в биосфере произошло из-за быстрого притока  $\text{C}^{12}$ , вызванного выделениями метана и массовым вымиранием организмов в конце перми.

**Организмы накапливают  $\text{C}^{12}$ , который выделяется в атмосферу после их гибели.**

Dilution of  $\text{C}^{13}$  in biosphere carbon reservoir by rapid influx of  $\text{C}^{12}$  caused by methane release and mass dying at the end of the Permian. Organisms concentrate  $\text{C}^{12}$ , which is released when they die.

Isotope fractionation



An introduction to  
**isotope fractionation**  
as a paleoclimate proxy

InTeGrate project  
Callan Bentley, unit author

▶ ▶ 🔊 0:01 / 16:52

Прокрутите экран вниз, чтобы посмотреть подробную информацию



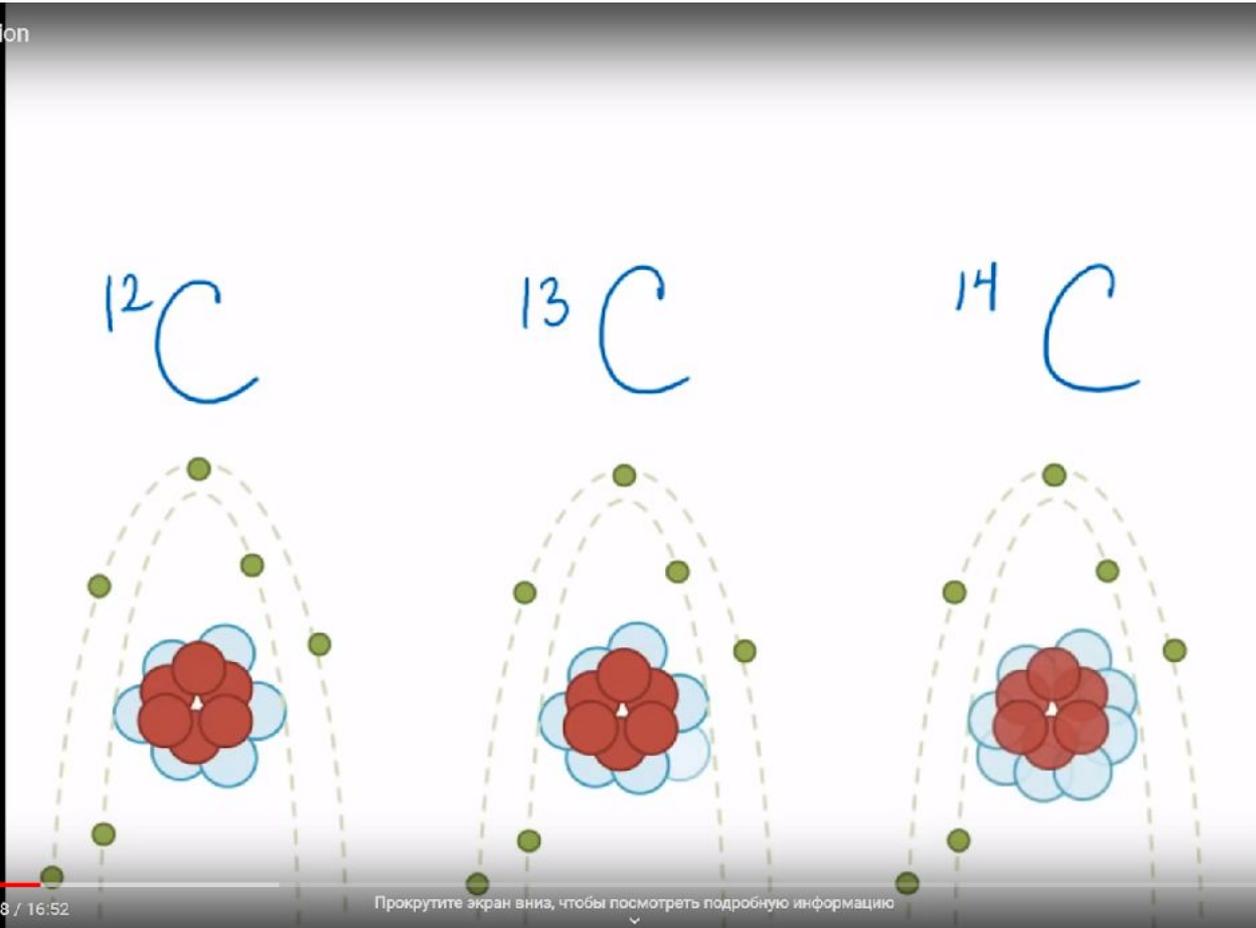
Isotope fractionation

The diagram illustrates the difference between Hydrogen and Deuterium. On the left, a Hydrogen atom is shown with a single red proton and a single green electron orbiting it. On the right, a Deuterium atom is shown with a red proton, a blue neutron, and a green electron orbiting the nucleus. Hand-drawn arrows point from the labels 'ELECTRON', 'PROTON', and 'NEUTRON' to their respective parts in the atoms. The labels 'HYDROGEN' and 'DEUTERIUM' are written in blue below their respective atoms.

1:01 / 16:52

Прокрутите экран вниз, чтобы посмотреть подробную информацию

Isotope fractionation

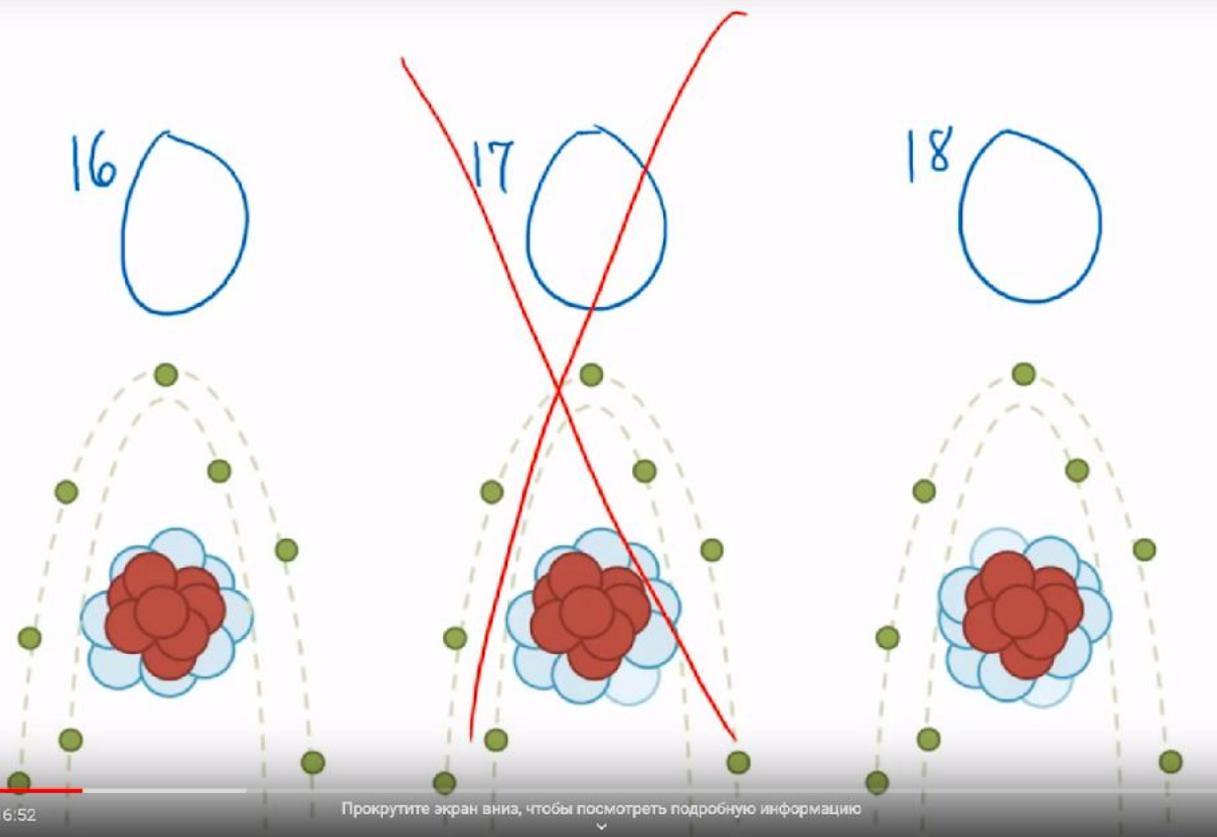


▶ ▶▶ 🔊 2:18 / 16:52

Прокрутите экран вниз, чтобы посмотреть подробную информацию

📺 🔍 ⛶

Isotope fractionation

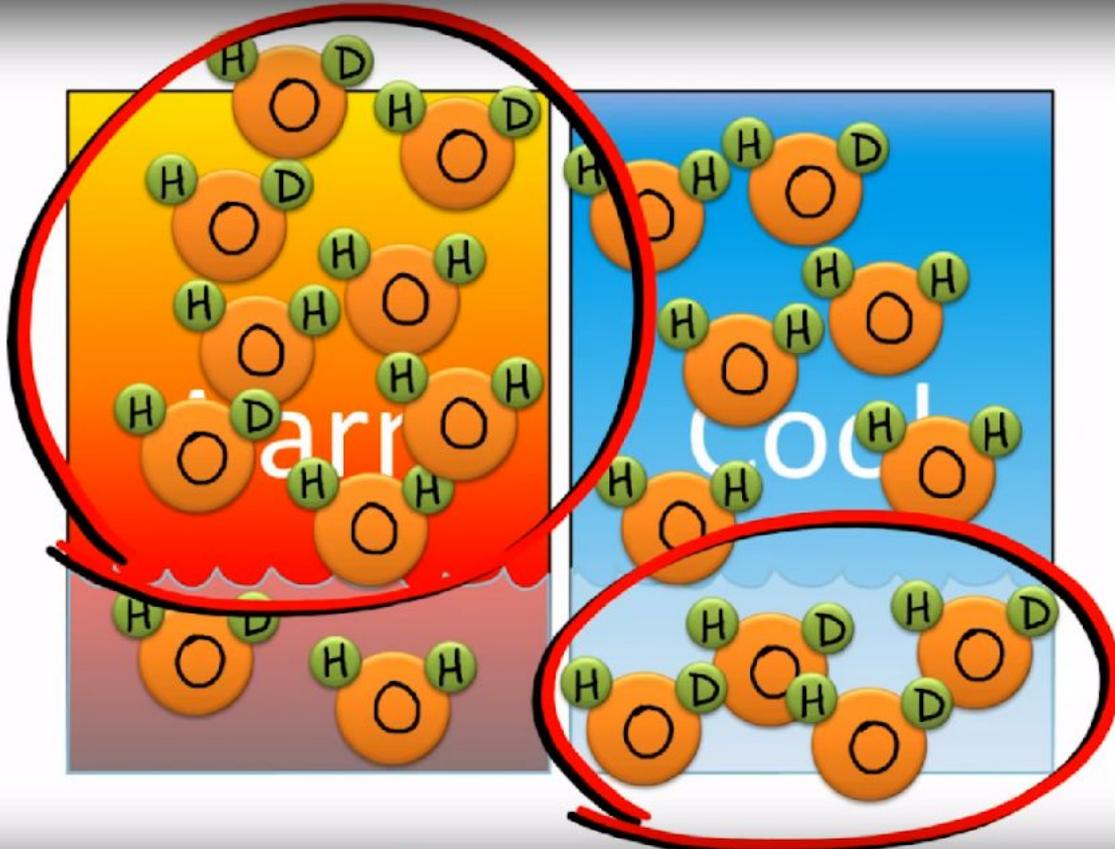


▶ ▶ 🔊 3:05 / 16:52

Прокрутите экран вниз, чтобы посмотреть подробную информацию

🗨️ 📺 🔍

Isotope fractionation



6:45 / 16:52

Прокрутите экран вниз, чтобы посмотреть подробную информацию



Isotope fractionation

$$\delta^{18}\text{O} \quad \text{‰}$$

$$\delta^{18}\text{O} = \left( \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ of a sample})}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ of a standard})} - 1 \right) \times 1000$$

$$\downarrow \delta^{18}\text{O} = \downarrow ^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = \downarrow T$$

$$\uparrow \delta^{18}\text{O} = \uparrow ^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = \uparrow T$$

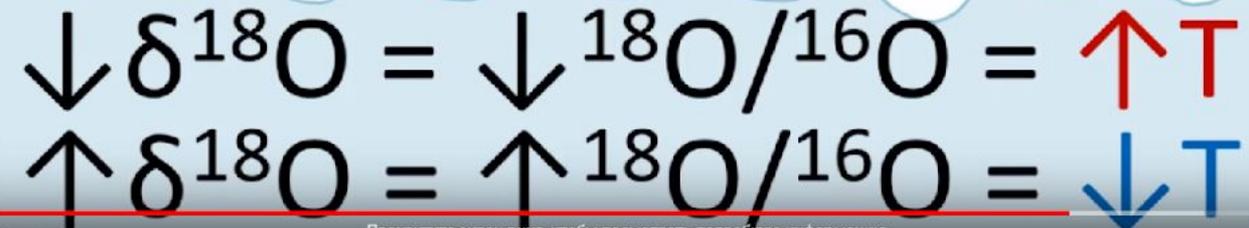
$$\downarrow \delta^{18}\text{O} = \downarrow ^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = \uparrow T$$

$$\uparrow \delta^{18}\text{O} = \uparrow ^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = \downarrow T$$

Isotope fractionation

$\delta^{18}\text{O}$  ‰

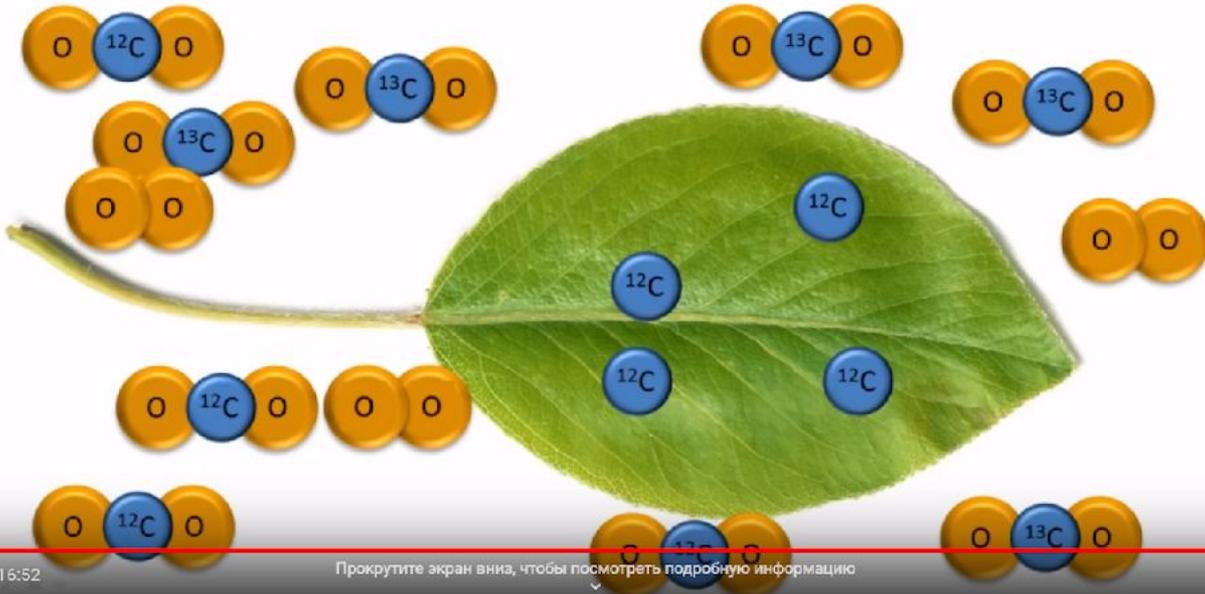
$$\delta^{18}\text{O} = \left( \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ of a sample})}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ of a standard})} - 1 \right) \times 1000$$



Isotope fractionation

$$\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$$

$$\delta^{13}\text{C} = \left( \left( \frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ of a sample}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ of a standard}} \right) - 1 \right) \times 1000$$



▶ | 🔊 15:06 / 16:52

Прокрутите экран вниз, чтобы посмотреть подробную информацию

📄 🏠 🔍



