

# Биологическая судьба химических веществ



проф. Корнилова О.А.

- Большинство открытий в химии за последние десятилетия связаны с **биомолекулами** и другими органическими веществами.
- Большинство открытий в биологии за последние десятилетия связаны с изучением **биомолекул** и биохимических процессов.

# Нобелевские премии с 2001 по 2015 гг:

- 11 - **по химии**: оргсинтез и изучение биомолекул
- 9 – **по медицине и физиологии**: биомолекулы и генные модификации

**Нобелевская премия  
по химии 2015 г:**

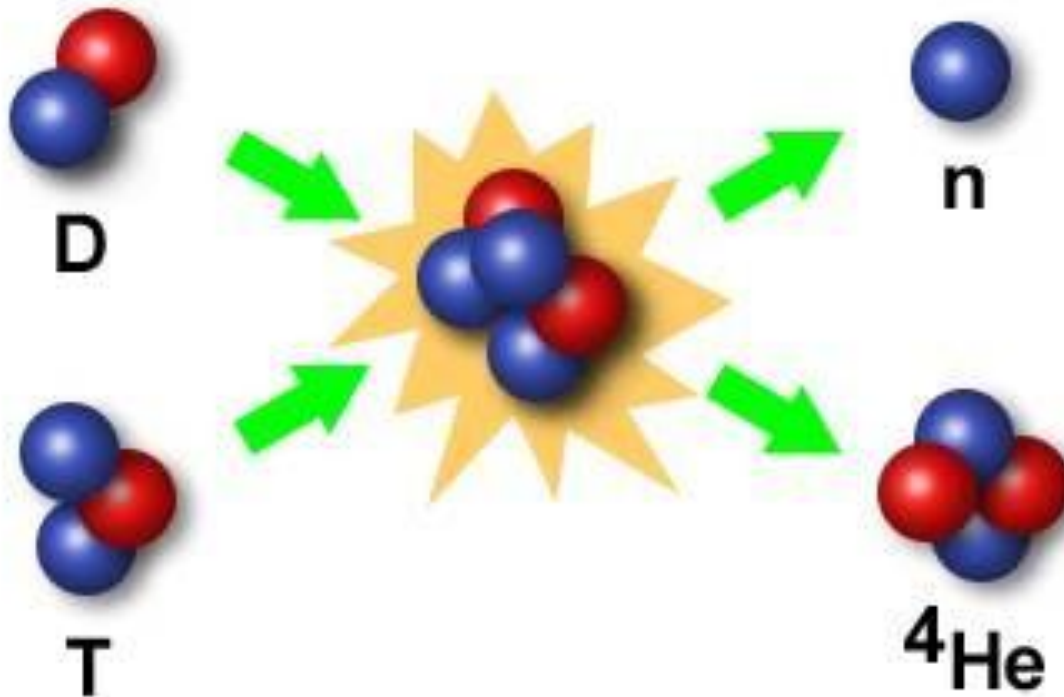
**За изучение механизмов  
восстановления (репарации) ДНК**

## Нобелевские премии по физике:

- 1901 - открытие рентгеновских лучей
- 1944 - резонансный метод измерений магнитных свойств атомных ядер
- 1953 - изобретение фазово-контрастного микроскопа
- 1986 - создание первого электронного микроскопа

История происхождения современных атомов и молекул — обширная тема для исследований в таких областях науки, как **физика и астрономия**, **химия и геология**, **эволюционная и молекулярная биология**.

# Термоядерный синтез



# Этапы первичного нуклеосинтеза

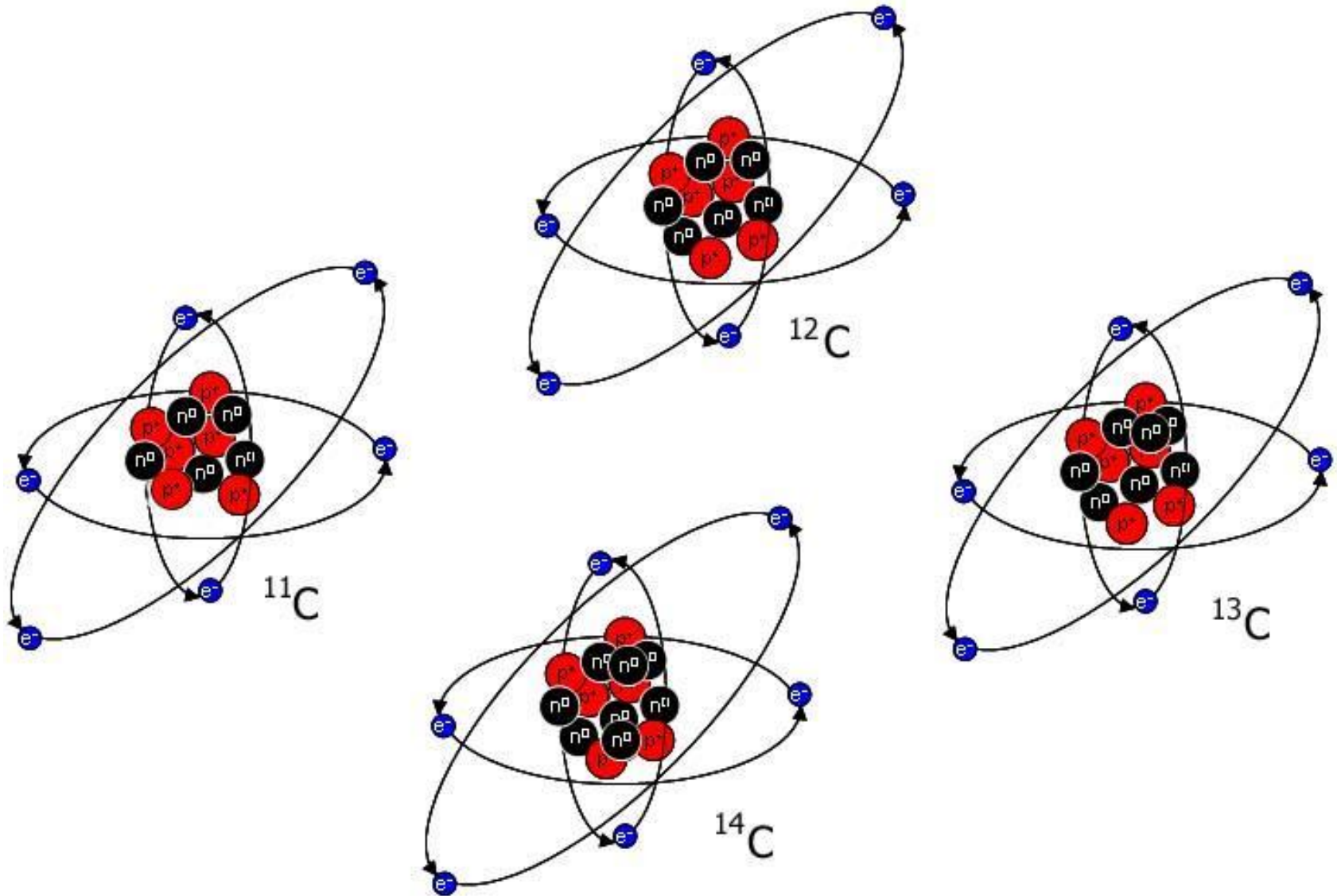
- 0 — 10 секунд после БВ — образование элементарных частиц (протоны и др.)
- 10 секунд — 20 минут после БВ — образование ядер с массой 1 — 4 у.е. (изотопы водорода, гелий) и очень небольшого числа ядер с массой до 7 у.е. (литий, бериллий)
- 380 000 лет после БВ — начало образования атомов (водорода, гелия)
- 150-550 млн — 1 млрд после БВ — появление звёзд



# Возникновение химических элементов

- Первичный нуклеосинтез (14 млрд. лет):  
H - 75 %, He - 25 %, D -  $3 \cdot 10^{-5}$ , Li -  $10^{-9}$
- Звёздный нуклеосинтез: H–Fe (до 26-28)
- Вспышки сверхновых звёзд: C – Fe и все атомы тяжелее железа (29 – 95)

# Модель атома углерода (изотопы)



# Периодическая система химических элементов

ПЕРИ ОДЫ	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ												
	а I б	а II б	а III б	а IV б	а V б	а VI б	а VII б	а VIII б	а VIII б	б			
1							<b>H</b> ВОДОРОД	<b>He</b> ГЕЛИЙ	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">           АТОМНЫЙ НОМЕР  <b>U</b> 92            НАЗВАНИЕ            УРАН         </div>				
2	<b>Li</b> 3 ЛИТИЙ	<b>Be</b> 4 БЕРИЛЛИЙ	<b>B</b> 5 БОР	<b>C</b> 6 УГЛЕРОД	<b>N</b> 7 АЗОТ	<b>O</b> 8 КИСЛОРОД	<b>F</b> 9 ФТОР	<b>Ne</b> 10 НЕОН					
3	<b>Na</b> 11 НАТРИЙ	<b>Mg</b> 12 МАГНИЙ	<b>Al</b> 13 АЛЮМИНИЙ	<b>Si</b> 14 КРЕМНИЙ	<b>P</b> 15 ФОСФОР	<b>S</b> 16 СЕРА	<b>Cl</b> 17 ХЛОР	<b>Ar</b> 18 АРГОН					
4	<b>K</b> 19 КАЛИЙ	<b>Ca</b> 20 КАЛЬЦИЙ	21 <b>Sc</b> СКАНДИЙ	22 <b>Ti</b> ТИТАН	23 <b>V</b> ВАНАДИЙ	24 <b>Cr</b> ХРОМ	25 <b>Mn</b> МАРГАНЕЦ	26 <b>Fe</b> ЖЕЛЕЗО	27 <b>Co</b> КОБАЛЬТ	28 <b>Ni</b> НИКЕЛЬ			
	29 <b>Cu</b> МЕДЬ	30 <b>Zn</b> ЦИНК	31 <b>Ga</b> ГАЛИЙ	32 <b>Ge</b> ГЕРМАНИЙ	33 <b>As</b> МЫШЬЯК	34 <b>Se</b> СЕЛЕН	35 <b>Br</b> БРОМ	36 <b>Kr</b> КРИПТОН					
5	<b>Rb</b> 37 РУБИДИЙ	<b>Sr</b> 38 СТРОНЦИЙ	39 <b>Y</b> ИТРИЙ	40 <b>Zr</b> ЦИРКОНИЙ	41 <b>Nb</b> НИОБИЙ	42 <b>Mo</b> МОЛИБДЕН	43 <b>Tc</b> ТЕХНЕЦИЙ	44 <b>Ru</b> РУТЕНИЙ	45 <b>Rh</b> РОДИЙ	46 <b>Pd</b> ПАЛЛАДИЙ			
	47 <b>Ag</b> СЕРЕБРО	48 <b>Cd</b> КАДМИЙ	49 <b>In</b> ИНДИЙ	50 <b>Sn</b> ОЛОВО	51 <b>Sb</b> СУРЬМА	52 <b>Te</b> ТЕЛЛУР	53 <b>I</b> ИОД	54 <b>Xe</b> КСЕНОН					
6	<b>Cs</b> 55 ЦЕЗИЙ	<b>Ba</b> 56 БАРИЙ	57 <b>La*</b> ЛАНТАН	72 <b>Hf</b> ГАФИЙ	73 <b>Ta</b> ТАНТАЛ	74 <b>W</b> ВОЛЬФРАМ	75 <b>Re</b> РЕНИЙ	76 <b>Os</b> ОСМИЙ	77 <b>Ir</b> ИРИДИЙ	78 <b>Pt</b> ПЛАТИНА			
	79 <b>Au</b> ЗОЛОТО	80 <b>Hg</b> РТУТЬ	81 <b>Tl</b> ТАЛЛИЙ	82 <b>Pb</b> СВИНЕЦ	83 <b>Bi</b> ВИСМУТ	84 <b>Po</b> ПОЛОНИЙ	85 <b>At</b> АСТАТ	86 <b>Rn</b> РАДОН					
7	<b>Fr</b> 87 ФРАНЦИЙ	<b>Ra</b> 88 РАДИЙ	89 <b>Ac*</b> АКТИНИЙ	104 <b>Ku</b> КУРЧАТОВИЙ	105 <b>Ns</b> НИЛЬСБОРИЙ	106	107	108	109				
* ЛАНТАНОИДЫ													
<b>Ce</b> 58 ЦЕРИЙ	<b>Pr</b> 59 ПРАЗЕОДИМ	<b>Nd</b> 60 НЕОДИМ	<b>Pm</b> 61 ПРОМЕТИЙ	<b>Sm</b> 62 САМАРИЙ	<b>Eu</b> 63 ЕВРОПИЙ	<b>Gd</b> 64 ГАДОЛИНИЙ	<b>Tb</b> 65 ТЕРБИЙ	<b>Dy</b> 66 ДИСПРОЗИЙ	<b>Ho</b> 67 ГОЛЬМИЙ	<b>Er</b> 68 ЭРБИЙ	<b>Tm</b> 69 ТУЛИЙ	<b>Yb</b> 70 ИТТЕРБИЙ	<b>Lu</b> 71 ЛЮТЕЦИЙ
* АКТИНОИДЫ													
<b>Th</b> 90 ТОРИЙ	<b>Pa</b> 91 ПРОТАКТИНИЙ	<b>U</b> 92 УРАН	<b>Np</b> 93 НЕПТУНИЙ	<b>Pu</b> 94 ПЛУТОНИЙ	<b>Am</b> 95 АМЕРИЦИЙ	<b>Cm</b> 96 КЮРИЙ	<b>Bk</b> 97 БЕРКЛИЙ	<b>Cf</b> 98 КАЛЬФОРНИЙ	<b>Es</b> 99 ЭНЦЕПТОНИЙ	<b>Fm</b> 100 ФЕРМИЙ	<b>Md</b> 101 МЕНДЕЛЕВИЙ	<b>No</b> 102 (НОБЕЛИЙ)	<b>Lr</b> 103 (ЛЮУРЕНСИЙ)
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="background-color: red; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></div> - s-элементы           <div style="background-color: orange; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></div> - p-элементы           <div style="background-color: purple; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></div> - d-элементы           <div style="background-color: black; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></div> - f-элементы         </div>													

# Стабильные и нестабильные изотопы

- до 82-го элемента (свинец) – есть и стабильные, и нестабильные изотопы
- начиная с 83-го (висмут) – **ТОЛЬКО** нестабильные, т.е. радиоактивные изотопы

# Радиоизотопы

- радиоизотопное датирование
- диагностика и лечение заболеваний
- наблюдения за физиологическими и биохимическими процессами
- наблюдения за поведением и др.





# INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

v 2015/01



Phanerozoic	Eonothem / Eon Erathem / Era System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)	
Cenozoic	Quaternary	Holocene			present	
		Pleistocene	Upper		0.0117	
			Middle		0.126	
			Calabrian		0.781	
		Pliocene	Gelasian		1.80	
			Piacenzian		2.58	
		Neogene	Miocene	Zanclean		3.600
				Messinian		5.333
			Oligocene	Tortonian		7.246
				Serravallian		11.63
	Langhian				13.82	
	Burdigalian				15.97	
	Aquitanian				20.44	
	Chatthian				23.03	
	Rupelian				28.1	
	Priabonian				33.9	
	Bartonian		37.8			
	Paleogene	Eocene	Lutetian		41.2	
			Ypresian		47.8	
			Thanetian		56.0	
Paleocene		Selandian		59.2		
		Danian		61.6		
		Maastrichtian		66.0		
		Campanian		72.1 ± 0.2		
		Upper	Santonian		83.6 ± 0.2	
			Coniacian		86.3 ± 0.5	
			Turonian		89.8 ± 0.3	
Cretaceous	Cenomanian		93.9			
			100.5			
	Lower	Albian		~ 113.0		
		Aptian		~ 125.0		
		Barremian		~ 129.4		
		Hauterivian		~ 132.9		
		Valanginian		~ 139.8		
		Berriasian		~ 145.0		

Phanerozoic	Eonothem / Eon Erathem / Era System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)
Mesozoic	Jurassic	Upper	Tithonian		152.1 ± 0.9
			Kimmeridgian		157.3 ± 1.0
			Oxfordian		163.5 ± 1.0
		Middle	Callovia		166.1 ± 1.2
			Bathonian		168.3 ± 1.3
			Bajocian		170.3 ± 1.4
			Aalenian		174.1 ± 1.0
		Lower	Toarcian		182.7 ± 0.7
			Pliensbachian		190.8 ± 1.0
			Sinemurian		199.3 ± 0.3
	Triassic	Upper	Hettangian		201.3 ± 0.2
			Rhaetian		~ 208.5
		Middle	Norian		~ 227
			Carnian		~ 237
			Ladinian		~ 242
			Anisian		247.2
			Olenekian		251.2
			Induan		252.17 ± 0.06
			Changhsingian		254.14 ± 0.07
			Wuchiapingian		259.8 ± 0.4
Permian	Lopingian	Wuchiapingian		259.8 ± 0.4	
		Capitanian		265.1 ± 0.4	
		Wordian		268.8 ± 0.5	
	Guadalupian	Roadian		272.3 ± 0.5	
		Kungurian		283.5 ± 0.6	
		Artinskian		290.1 ± 0.26	
		Sakmarian		295.0 ± 0.18	
		Asselian		298.9 ± 0.15	
		Cisuralian	Gzhelian		303.7 ± 0.1
			Kasimovian		307.0 ± 0.1
Moscovian			315.2 ± 0.2		
Carboniferous	Pennsylvanian	Bashkirian		323.2 ± 0.4	
		Serpukhovian		330.9 ± 0.2	
		Visean		346.7 ± 0.4	
		Toumaisian		358.9 ± 0.4	
	Mississippian				

Phanerozoic	Eonothem / Eon Erathem / Era System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)
Paleozoic	Devonian	Upper	Famennian		372.2 ± 1.6
			Frasnian		382.7 ± 1.6
			Givetian		387.7 ± 0.8
		Middle	Eifelian		393.3 ± 1.2
			Emsian		407.6 ± 2.6
			Pragian		410.8 ± 2.8
			Lochkovian		419.2 ± 3.2
		Silurian	Pridoli		423.0 ± 2.3
				Ludfordian	
			Wenlock	Gorstian	
	Homerian				430.5 ± 0.7
	Llandovery		Sheinwoodian		433.4 ± 0.8
			Telychian		438.5 ± 1.1
			Aeronian		440.8 ± 1.2
			Rhuddanian		443.8 ± 1.5
			Hirnantian		445.2 ± 1.4
			Katian		453.0 ± 0.7
	Ordovician	Upper	Sandbian		458.4 ± 0.9
			Darriwilian		467.3 ± 1.1
		Middle	Dapingian		470.0 ± 1.4
Floian				477.7 ± 1.4	
Lower		Tremadocian		485.4 ± 1.9	
		Stage 10		~ 489.5	
		Furongian		~ 494	
		Jiangshanian		~ 497	
Cambrian	Series 3	Paibian		~ 500.5	
		Guzhangian		~ 504.5	
		Drumian		~ 504.5	
	Stage 5			~ 509	
		Stage 4		~ 514	
	Stage 3			~ 521	
		Stage 2		~ 529	
	Terreneuvian	Fortunian		541.0 ± 1.0	

Precambrian	Eonothem / Eon	Erathem / Era	System / Period	GSSP	numerical age (Ma)
Proterozoic	Neo-proterozoic	Ediacaran			~ 541.0 ± 1.0
			Cryogenian		~ 635
				Tonian	
	Meso-proterozoic	Stenian			1000
			Ectasian		1200
			Calymnian		1400
			Statherian		1600
	Paleo-proterozoic	Orosirian			1800
			Rhyacian		2050
			Siderian		2300
Archean	Neo-archean			2500	
		Meso-archean		2800	
	Paleo-archean			3200	
				3600	
				4000	
Hadean				~ 4600	

Units of all ranks are in the process of being defined by Global Boundary Stratotype Section and Points (GSSP) for their lower boundaries, including those of the Archean and Proterozoic, long defined by Global Standard Stratigraphic Ages (GSSA). Charts and detailed information on ratified GSSPs are available at the website <http://www.stratigraphy.org>. The URL to this chart is found below.

Numerical ages are subject to revision and do not define units in the Phanerozoic and the Ediacaran, only GSSPs do. For boundaries in the Phanerozoic without ratified GSSPs or without constrained numerical ages, an approximate numerical age (~) is provided.

Numerical ages for all systems except Lower Pleistocene, Permian, Triassic and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012); those for the Lower Pleistocene, Permian, Triassic and Cretaceous were provided by the relevant ICS subcommissions.

Coloring follows the Commission for the Geological Map of the World (<http://www.ccgmg.org>)

Chart drafted by K.M. Cohen, S.C. Finney, P.L. Gibbard (c) International Commission on Stratigraphy, January 2015

To cite: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013); updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2015-01.pdf>



# Методы датирования

- по соотношению урана и свинца
- по соотношению калия и аргона
- по соотношению изотопов углерода
- по следам распада
- термолюминесцентный анализ
- оптическое датирование
- метод электронно-спинового резонанса
- палеомагнетизм

# Треки распада урана в кристалле циркона

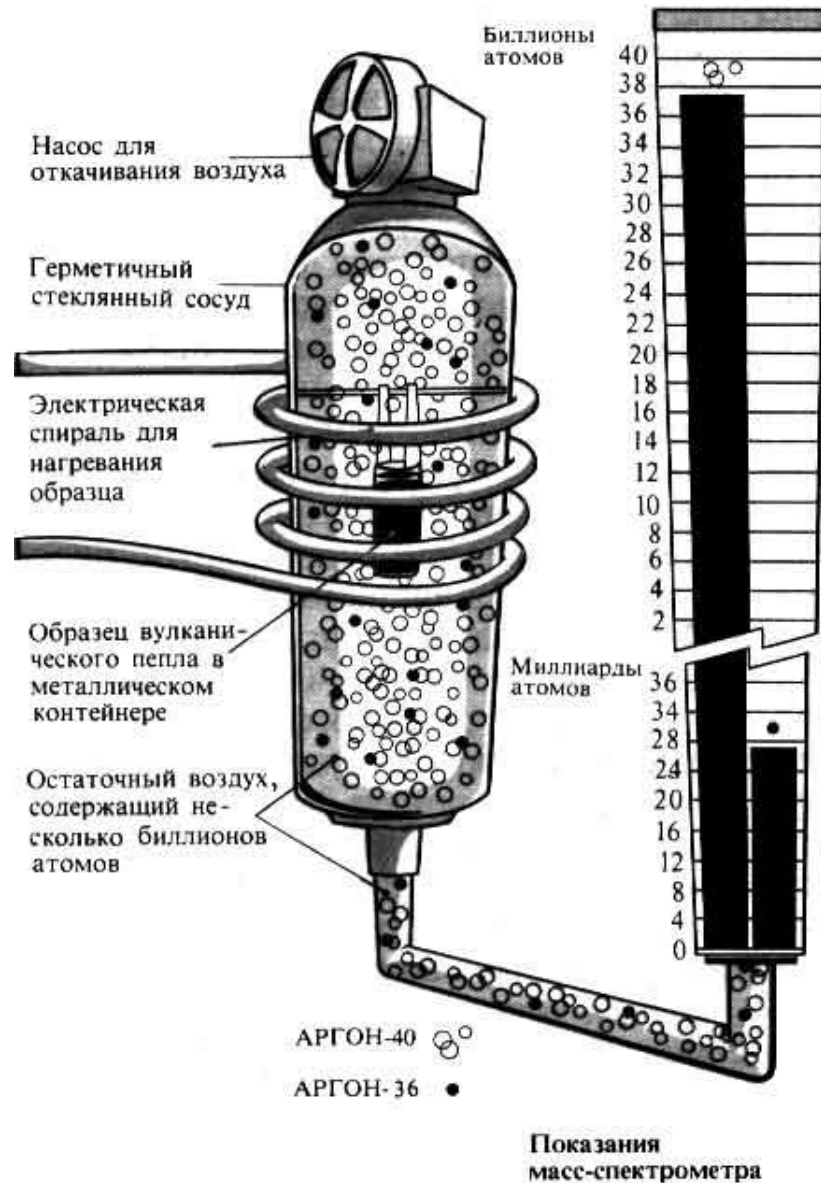




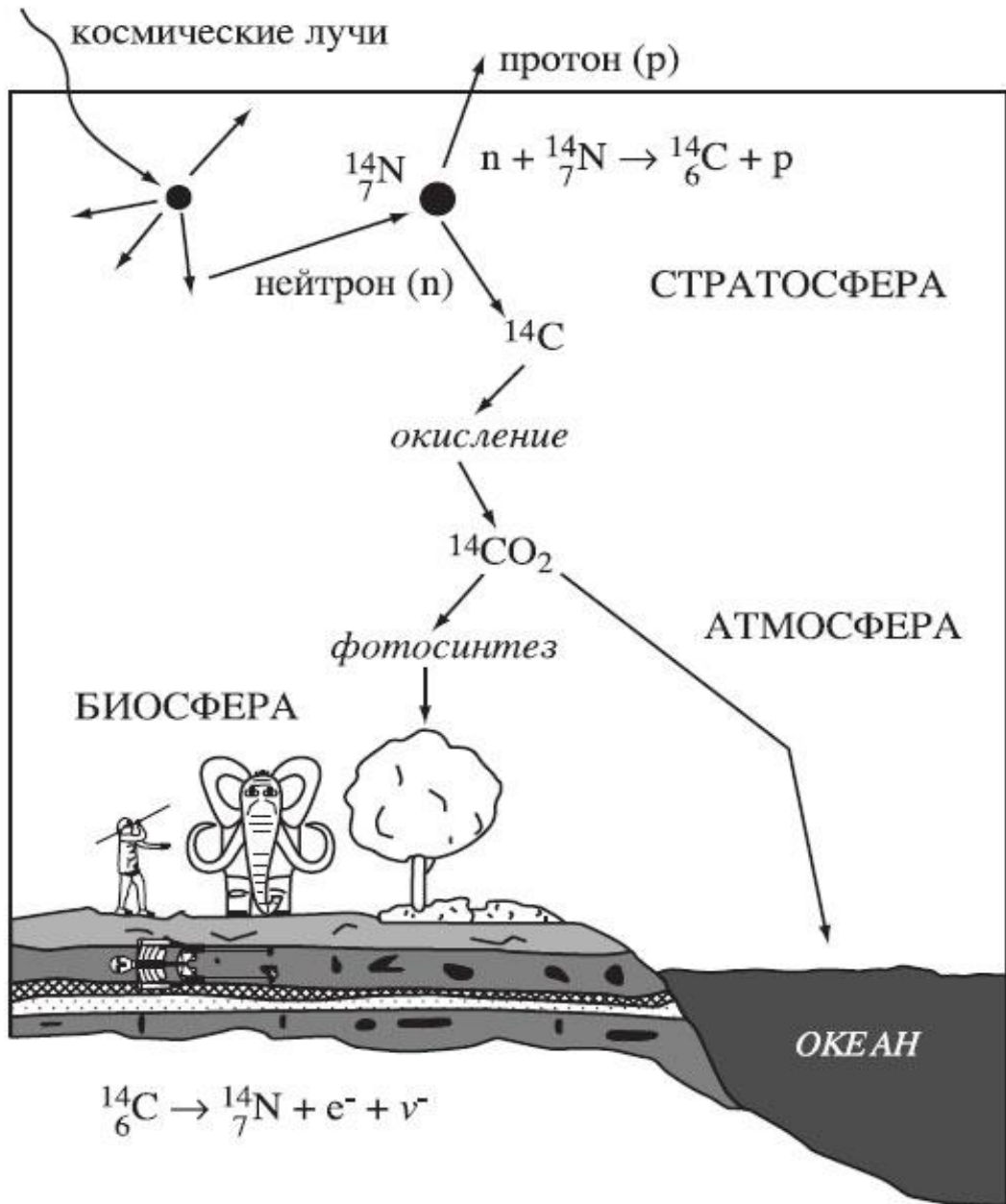
# Калий - Аргон



Джеймс Аронсон  
устанавливает возраст  
австралопитека Люси



Образование  
Распределение  
Распад



Цикл  
радиоуглерода ( $^{14}\text{C}$ )  
в атмосфере,  
гидросфере и  
биосфере Земли

- Содержание важных для жизни элементов в галактике «Млечный путь»:

H - 75 %, O – 1%; C – 0,5%; Fe и N – 0,1%

- Планеты земной группы - Меркурий, Венера, Земля и Марс - состоят из железа и силикатов (соединений кремния).
- Наличие Луны на орбите Земли обеспечило стабилизацию вращения, мощные приливы и отливы в Океане.

# Защита жизни на Земле

- **Железное** ядро создало магнитное поле (3,5 млрд. лет назад) – защита от солнечного ветра.
- Вулканы выделили много **CO<sub>2</sub>** - защита от замерзания (солнце светило в полтора раза слабее, чем сейчас).
- Цианобактерии выделили много **O<sub>2</sub>** - озоновый слой защитил жизнь на суше от жёсткого ультрафиолета.

# **Встречаемость химических элементов в живых организмах**

## **Макроэлементы:**

- биогенные, органогенные – C, O, H, N, P, S.
- остальные – Ca, K, Na, Cl, Mg, Fe, Si.

**Микроэлементы:** Mn, B, Sr, Cu, Li, I, Br, Ni, Mo, Co, Zn, Se, Cr, F и др.

**Ультрамикроэлементы:** Cs, Cd, Hg, Ag, Au, Ra, U и др.

# Роль химических элементов

- **Жизненно необходимые** – обязательно входят в состав белков, жиров, углеводов, нуклеиновых кислот, витаминов и др. у большинства организмов.
- **Примесные** – могут входить в состав тканей и органов, при незначительном повышении концентрации становятся токсичными.

# Примесные элементы

Период	Группа						
	VIII	I	II	III	IV	V	VI
2	-	-	Be	-	-	-	-
4	Ni	-	-	-	-	As	Se
5	Pd	Ag	Cd	-	-	Sb	Te
6	Pt	Au	Ba Hg	Tl	Pb	Bi	-

Многие элементы образуют прочные сульфидные связи, блокируя работу белков, а также вытесняют жизненно необходимые элементы (Cu, Zn, S и др.) из биомолекул.

# Селеноцистеин – 21-я АК

- кодон UGA (стоп-кодон) - при специфической регуляции за счёт мРНК;
- специальная тРНК;
- одиночно входит в состав некоторых пероксидаз (защита от окисления);
- в составе селенопротеина Р (SeP) – в большом количестве (антиоксидант; поддерживает необходимый уровень селена в организме);
- входит в состав 25 белков у человека.



# Пирролизин – 22-я АК

- кодон UAG (стоп-кодон) - при специфической регуляции за счёт мРНК;
- специальная тРНК;
- в составе ферментов метаболизма метана у метаногенных прокариот.

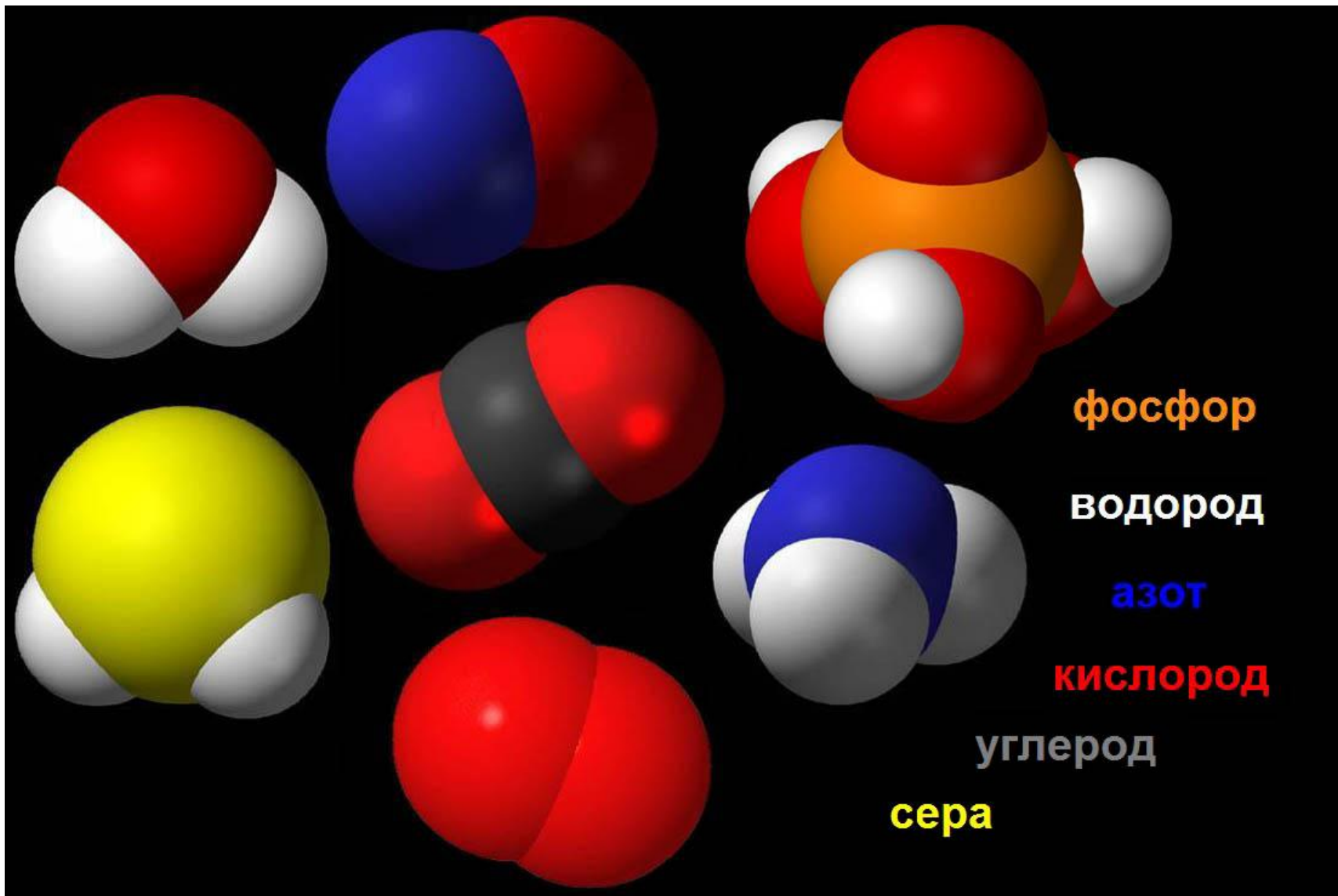
# Нестандартные аминокислоты

- **Цитруллин** – в белках красных водорослей и волосяных фолликулов млекопитающих.
- **Десмозин** – в составе белка эластина.
- **3-гидроксипролин** – в коллагене.
- **Селенометионин** – случайно вместо метионина.
- и много других

# D-аминокислоты

- L-аспартат превращается в D-аспартат в белках дентина и эмали зубов со скоростью 0,1% в год.
- L-аспартат превращается в D-аспартат при старении коллагена в живых тканях.
- D-аспартат и D-метионин могут быть нейромедиаторами у млекопитающих.
- D-метионин и D-аланин входят в состав опиоидов кожи квакш *Phyllomedusa bicolor*.
- Есть в некоторых бактериальных антибиотиках.

# Биологически важные неорганические соединения



# вопрос

- Какое вещество может вызывать массовую гибель людей и животных, но для него не рассчитана ПДК?

ОТВЕТ

**H<sub>2</sub>O**

# Растворы в биосистемах

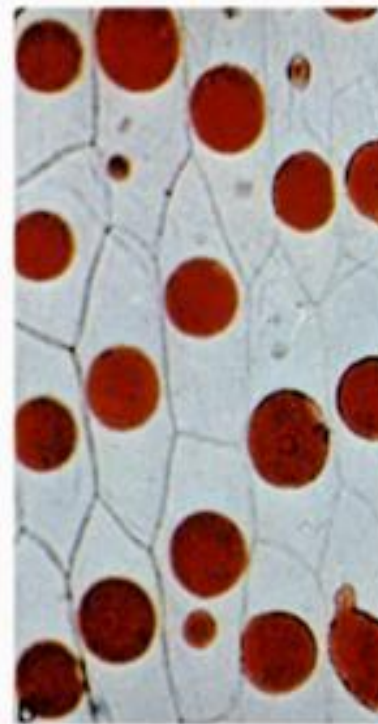
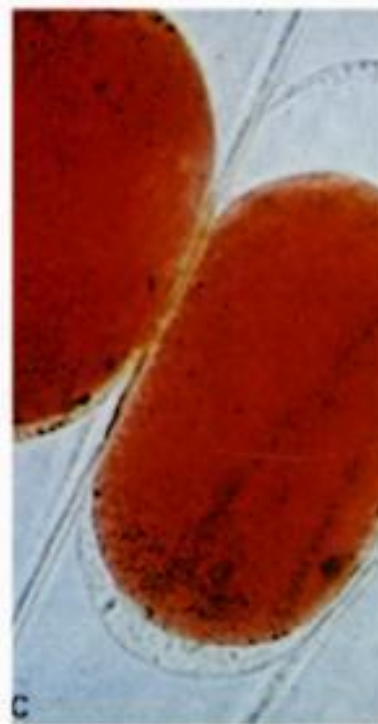
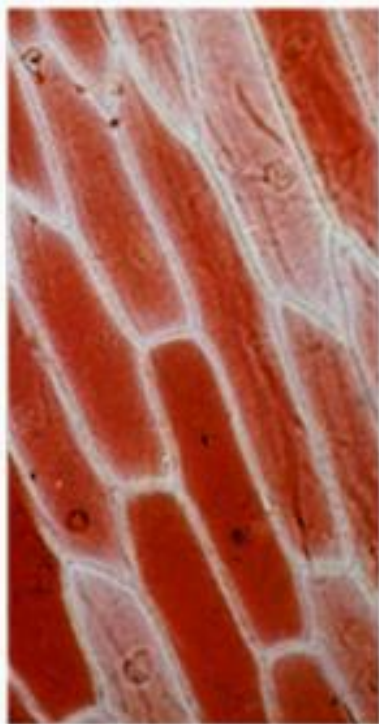
- В воде (гидрофильные вещества).
- В липидах (гидрофобные вещества).

# Осмоз и жизнь

- Питание бактерий.
- Тургор клеток и тканей.
- Транспорт веществ у растений.
- Выделительные системы животных.
- Гемолиз и плазмолиз.
- Квасиоркор.
- Очистка питьевой воды.



# Плазмолиз в клетках кожицы лука



## Углекислый газ

- Избыток – гиперкапния.
- Недостаток –гипокапния, алкалоз (при гипервентиляции лёгких и избытке  $O_2$ ).

## Угарный газ

- Токсичен.
- Нейротрансмиттер (сигнальная молекула)

# Буферные системы крови и др.

- Бикарбонатная  $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
- Фосфатная (Na)  $\text{H}_2\text{PO}_4^- / \text{HPO}_4^{2-}$
- Белковая
- Гемоглобиновая

# Ортофосфорная кислота

- Первый этап гликолиза и другие варианты фосфорилирования при участии киназ.
- Окислительное фосфорилирование на мембранах митохондрий.
- Фосфорилирование в хлоропластах при световой фазе фотосинтеза.
- Посттрансляционная модификация белков.
- Ингибирование многих ферментов и др.

# Сероводород

- Очень токсичен.
- Газотрансмиттер.
- Участвует в процессах запоминания.
- Цитопротектор.
- Сероводородные ванны – ускоряют заживление кожи и мышц, уменьшают воспаление.
- Источник энергии для хемосинтезирующих бактерий.

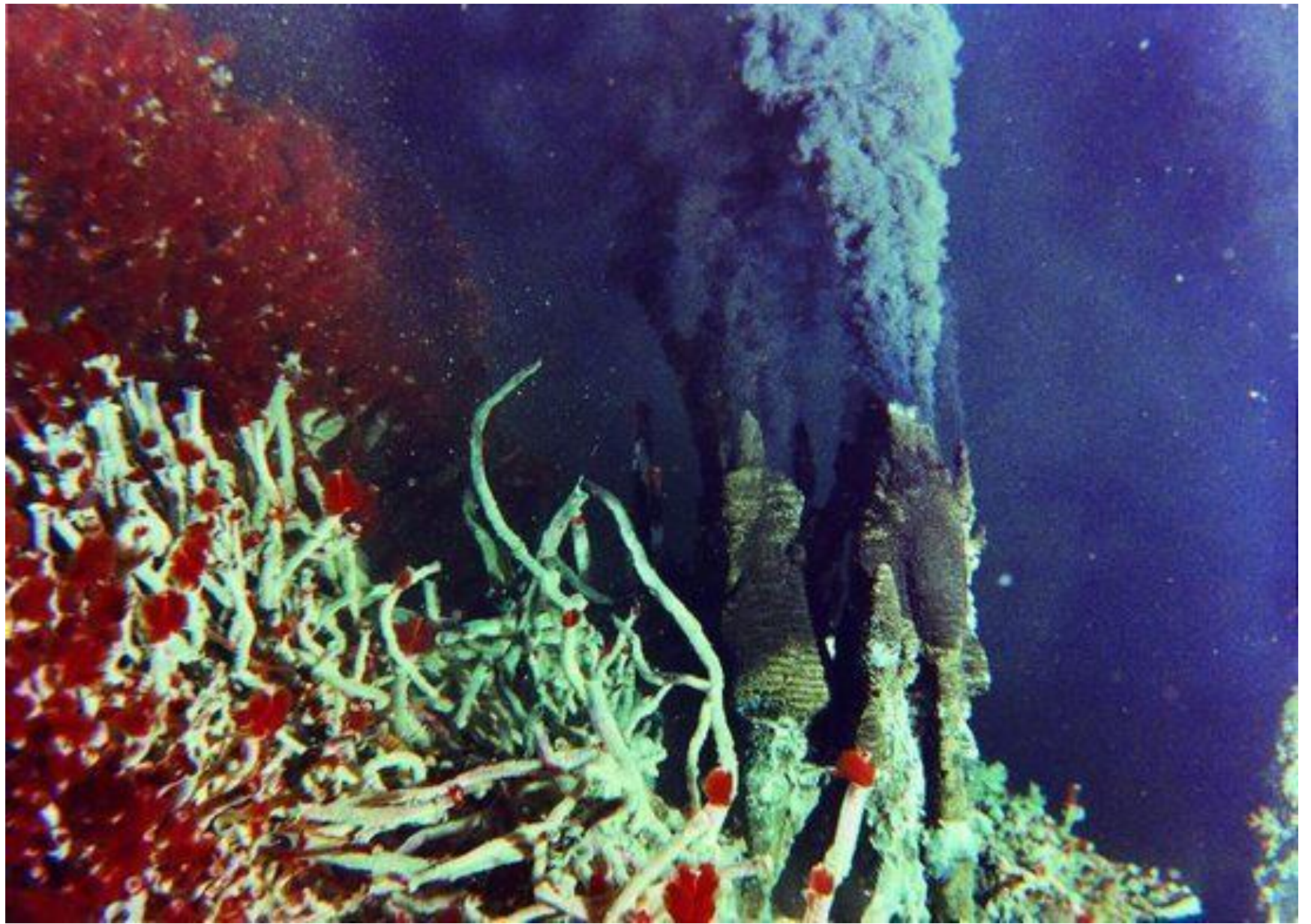


# Вестиментиферы



- автотрофное питание за счёт симбиотических бактерий, окисляющих сероводород (в трофосоме)





Выщелачивание  
меди, урана и др.





# Аммиак

- Очень токсичен.
- Конечный продукт азотистого обмена.
- Участие в синтезе аминокислот в печени.
- Нашатырный спирт используют для возбуждения дыхания, стимуляции рвоты, в виде примочек при укусах насекомых.

# Оксид азота (II) - NO

Журнал "Science" назвал в 1992 году окись азота молекулой года.

Нобелевская премия по физиологии и медицине 1998 года:

«За открытие роли **оксида азота** как сигнальной молекулы в регуляции сердечно-сосудистой системы».

# Фармакологические источники NO



**ОКИСЬ  
АЗОТА**

**ЭФФЕКТЫ**

**РАССЛАБЛЕНИЕ  
СОСУДОВ**

**СНИЖЕНИЕ  
АРТЕРИАЛЬНОГО  
ДАВЛЕНИЯ**

**ПОВЫШЕНИЕ  
ИММУННОГО  
ОТВЕТА**

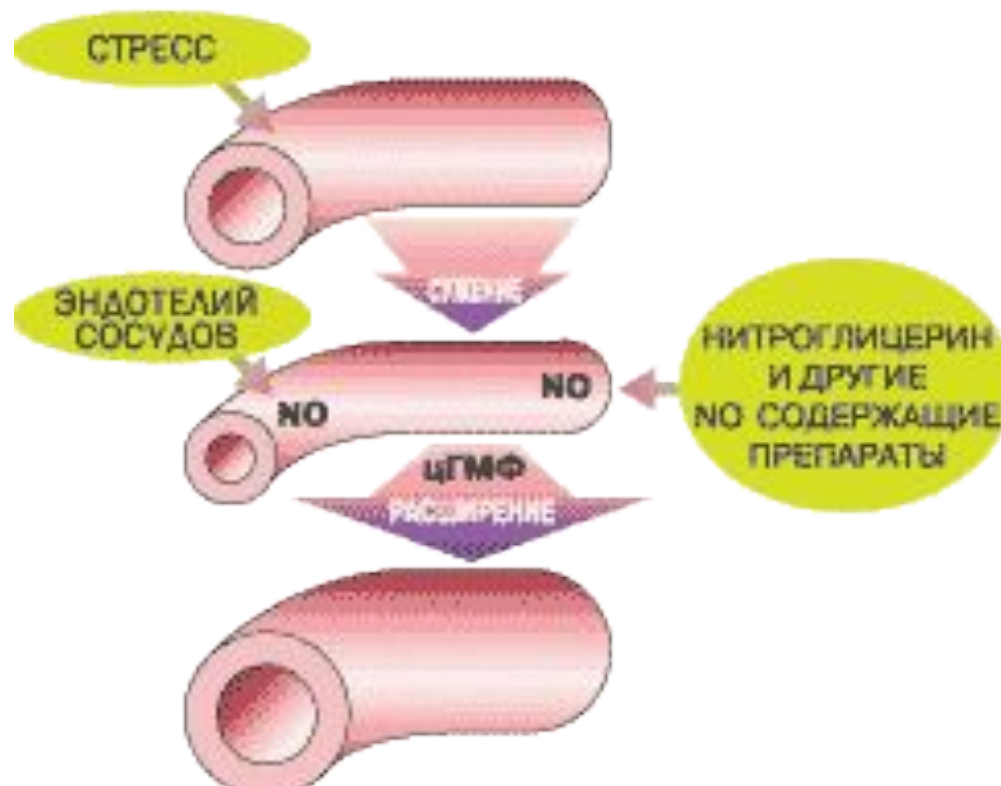
**РЕГУЛЯЦИЯ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
ГЕНОМА**

**РЕГУЛЯЦИЯ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
НЕРВНОЙ  
СИСТЕМЫ**

# NO – синтазы

- **эндотелиальные** – eNOS (ген NOS3 на 7-й хромосоме),
- **нейрональные** - nNOS (ген NOS1 на 12-й хромосоме),
- **индуцибельные** – iNOS (гены NOS2A, NOS2B, NOS2C на 17-й хромосоме).

**эндотелиальный NO** – сильнейший **вазодиллятор**. Расширение сосудов – за счёт активации цГМФ (циклического гуанозинмонофосфата)



# «цепь событий» при активации цГМФ

- Эндотелиальная **NO-синтаза** (eNOS=NOS3) производит NO из **аргинина** и кислорода.
- NO диффундирует в гладкие мышцы сосудов, соединяется с **гуанилатциклазой**, изменяет конформацию её активного центра и включает синтез **цГМФ**.
- цГМФ связывается с **протеинкиназой G** и переводит её в активное состояние.
- Протеинкиназа G изменяет проницаемость мембраны миоцитов и уменьшает **концентрацию  $Ca^{2+}$**  в клетках.
- **Миофибриллы** расслабляются - тонус кровеносных сосудов снижается.

# NO – «двуликий Янус»

- Усиливает или ингибирует процессы перекисного окисления липидов.
- Вызывает расширение сосудов или их сужение.
- Индуцирует апоптоз или защищает от него.
- Модулирует воспалительные процессы.
- Ингибирует синтез АТФ в митохондриях.



# Полезные ископаемые биологического происхождения

- Горючие (нефть, газ, уголь, сланцы, торф)
- Карбонатные (известняки, мел, доломит)
- Кремнистые (опал, халцедон, кварц)
- Фосфаты, сульфиды
- Железистые и марганцевые руды
- Янтарь

# Ракушечник





# Украшения



опал, хризолит, янтарь с инклюзией, распил аммонита

# Использованная литература:

- Кукушкин Ю.Н. Химические элементы в организме человека // Соросовский образовательный журнал, №5, 1998.
- Петренко Ю. Окись азота и судьба человека // Наука и жизнь, №7, 2001.
- Джохансон Д., Иди М. Люси: Истоки рода человеческого, 1984.

# Использован материал с сайтов:

- [school-collection.edu.ru](http://school-collection.edu.ru)
- [antropogenez.ru](http://antropogenez.ru)
- [humbio.ru](http://humbio.ru)
- [xumuk.ru](http://xumuk.ru)
- [medbiol.ru](http://medbiol.ru)
- [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org); [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)
- [www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org)

Спасибо за внимание!

