

Лекция 1. Lect_01_Introduct

Эпиграфы к курсу. Эрнст Геккель и введение им термина «экология». Организм с точки зрения эколога. Среда с точки зрения организма. Комбинаторная система способов получения энергии и углерода. Биосфера. Э.Зюсс, В.И.Вернадский, С.В.Виноградский. Химические элементы в составе организмов. CHNOPS. Фотосинтез и дыхание



Эпиграф ко всему курсу:

"... Я не нахожу природу столь прямолинейной и рациональной. Что меня изумляет - это не ее элегантность и совершенство, но скорее ее состояние: она такова, как она есть и никакая другая. Я представляю природу в виде хорошенькой девушки. Благородной, но не совсем опрятной. Немного взбалмошной. Немного бестолковой в работе. Делаящей то, что она может, тем, что находится у нее под рукой. Отсюда исходит моя готовность к самым непредсказуемым ситуациям."

Франсуа Жакоб (François Jacob) «La statue intérieure»

“ ... A la nature, Jacques [Monod] attribuait cartésianisme et élégance. D’où son goût des solutions uniques. De mon côté, je ne trouvais pas le monde aussi strict, aussi rationnel. Ce qui m’étonnait, ce n’était ni son élégance ni sa perfection, mais plutôt son état. Qu’il fût comme il est et non pas autrement. La nature, je la voyais assez bonne fille. Généreuse mais un peu sale. Un peu brouillone. Travaillant au coup par coup. Faisant ce qu’elle pouvait avec ce qu’elle trouvait. D’où ma tendance à prévoir les situations les plus variées...”

François Jacob p. 430 **La statue intérieure**
Édition Odile Jacob 1987

**«Nothing in
biology makes
sense except
in the light of
evolution...»**



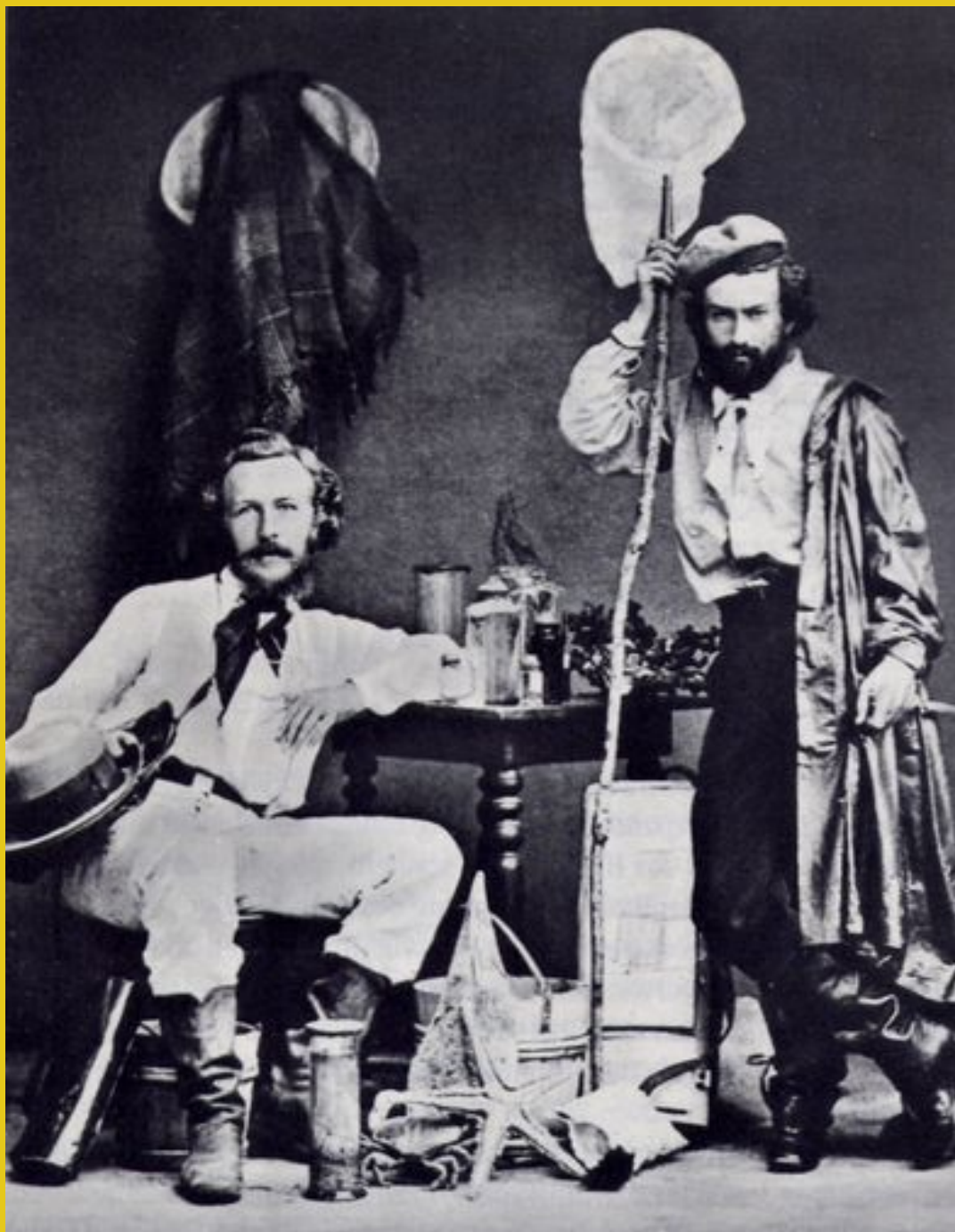
*Dobzhansky T. 1973. The American Biology
Teacher. V. 35. P. 125-129*

**“Nothing in
evolutionary biology
makes sense except in
the light of ecology”**

*P. Grant, R. Grant, How and Why Species Multiply:
The Radiation of Darwin's Finches (Princeton Univ. Press,
Princeton, NJ, 2008)*

**“Nothing in evolution or
ecology makes sense
except in the light of the
other...”**

*F. Pelletier, D. Garant, A. P. Hendry, Eco-evolutionary
dynamics. Philos. Trans. R. Soc. B 364, 1483 (2009)*



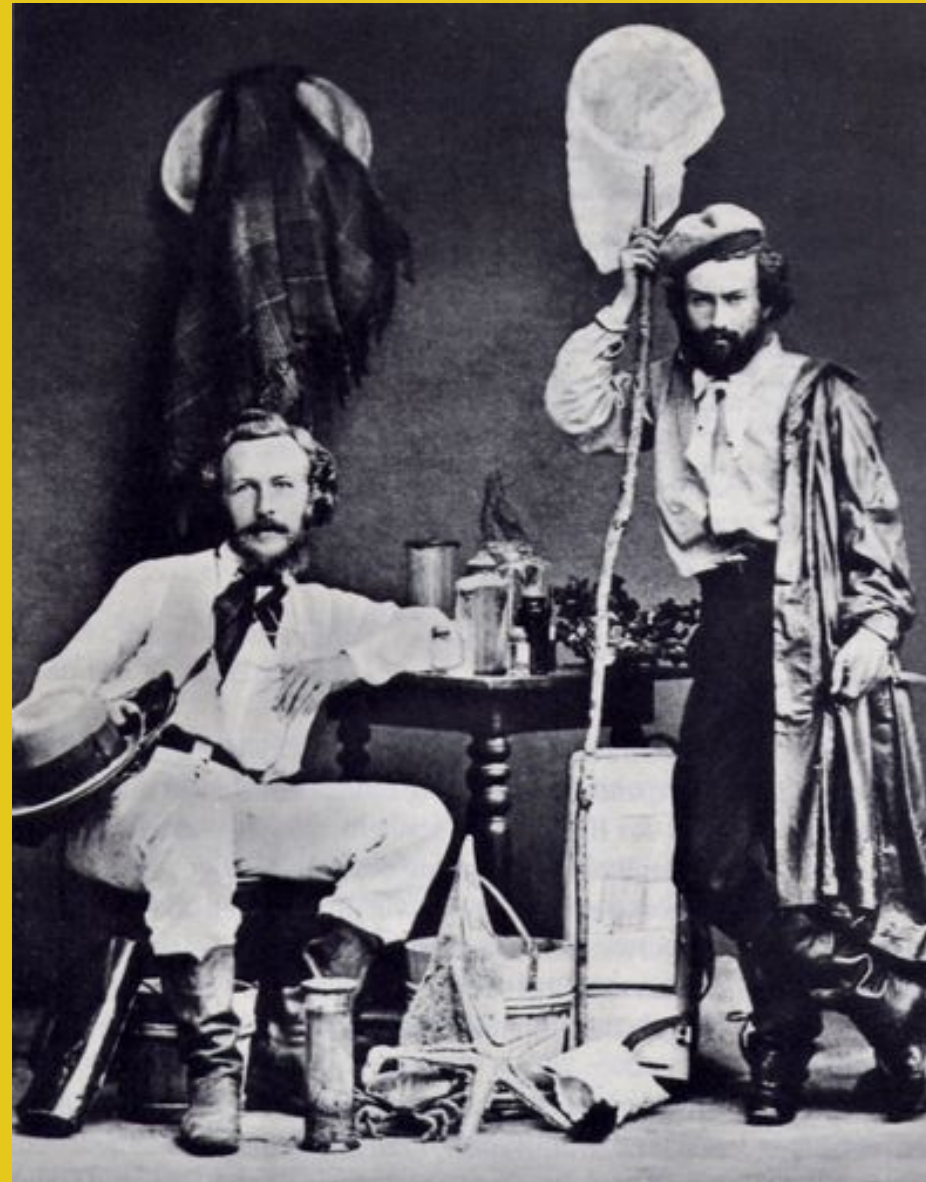
Эрнст Геккель
Ernst Haeckel
(1834-1919)

с ассистентом - Н.Н.
Миклухо-Маклаем
(1846-1888)

Канарские о-ва,
1866 г.

Год выхода «Всеобщей
морфологии», где был
введен термин

«ЭКОЛОГИЯ»



GENERELLE MORPHOLOGIE DER ORGANISMEN.

ALLGEMEINE GRUNDZÜGE
DER ORGANISCHEN FORMEN-WISSENSCHAFT,

MECHANISCH BEGRÜNDET DURCH DIE VON

CHARLES DARWIN.

REFORMIRTE DESCENDENZ-THEORIE,

VON

ERNST HAECKEL.

ERSTER BAND:

ALLGEMEINE ANATOMIE
DER ORGANISMEN.

„E PUR SI MUOVE!“

MIT ZWEI PROMORPHOLOGISCHEN TAFELN.

BERLIN.

DRUCK UND VERLAG VON GEORG REIMER.

1866.

ИНСТИТУТ
1866

Геккель, 1866 г.

**"Всеобщая морфология:
Общие основы науки об
органических формах,
механически основанной на
теории эволюции,
реформированной Чарлзом
Дарвиным"**

**ЭКОЛОГИЯ –
НАУКА О ЖИВОМ
ОБЛИКЕ
БИОСФЕРЫ**

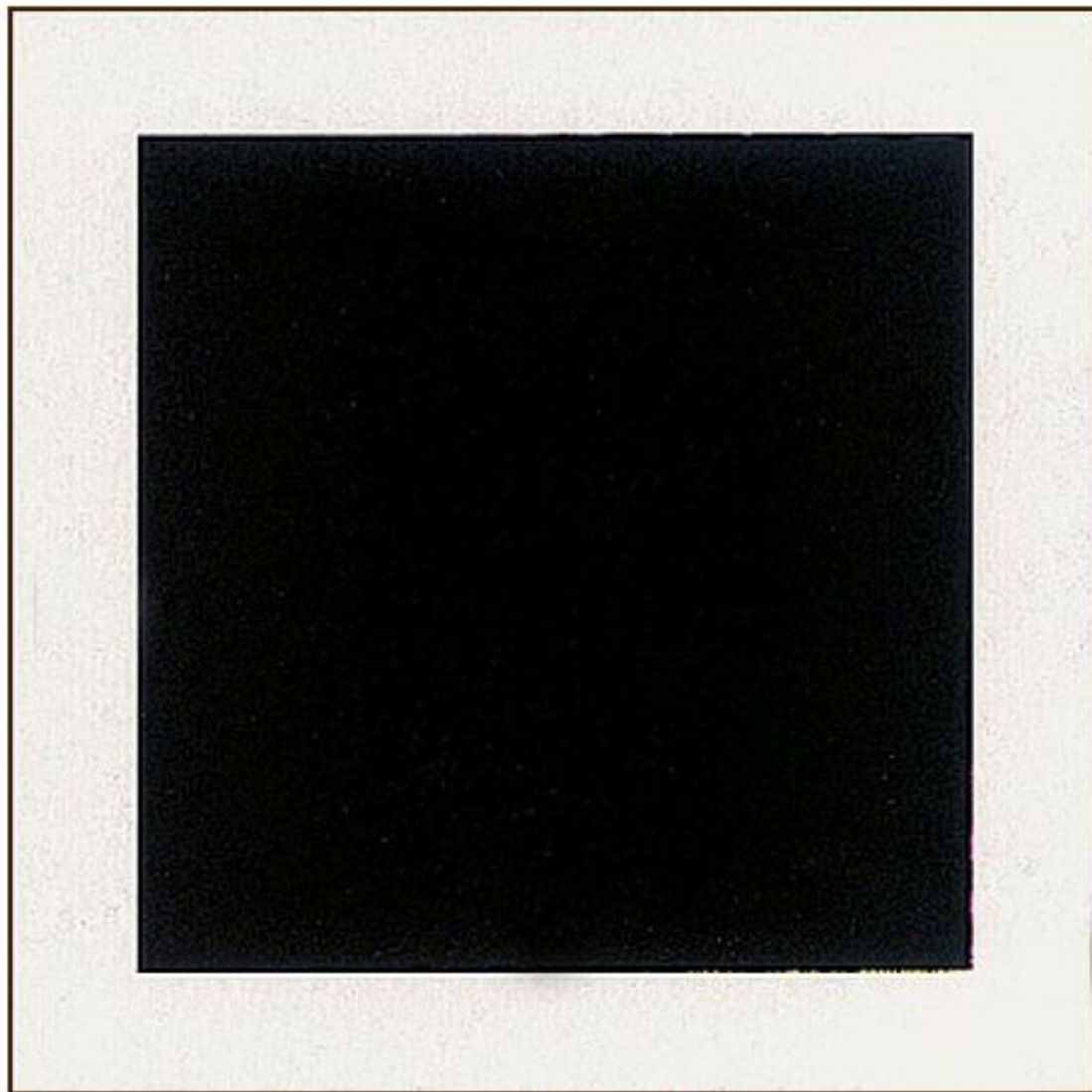
Charles Krebs (1985):

**«...Экология – наука о
взаимодействиях,
определяющих
распространение и
обилие организмов»**

**Что есть
организм с
точки зрения
эколога?**

С точки зрения эколога

**организмы – это дискретные
образования, обменивающиеся
с окружающей средой
веществом и изготавливающие
из материала этой среды свои
копии**



Черный квадрат

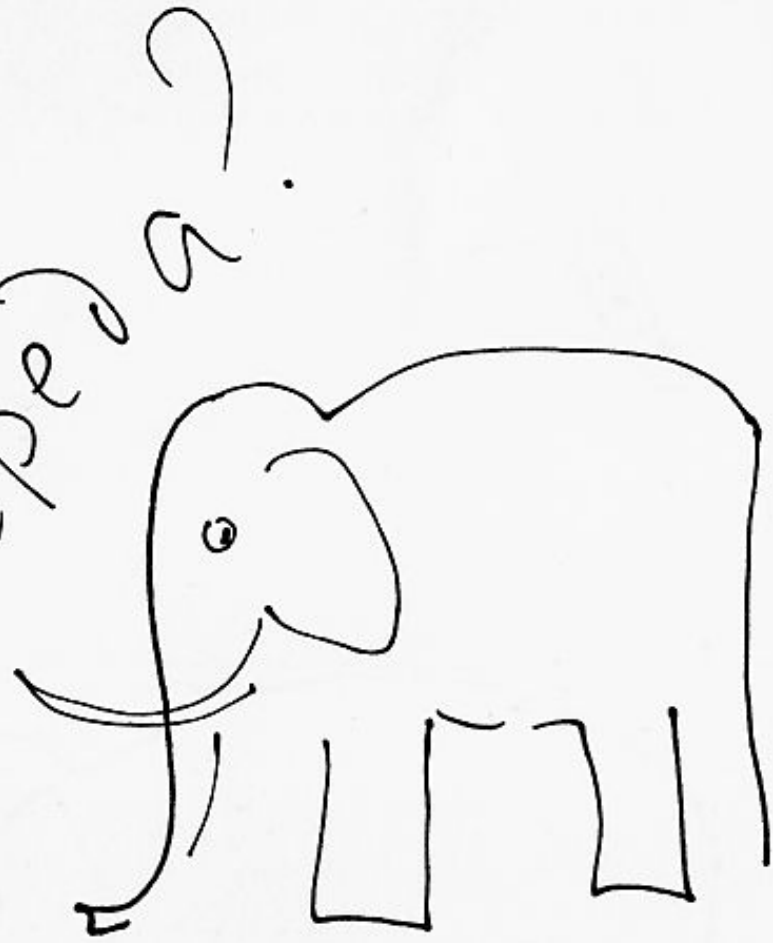
Казимир Малевич

Холст, масло, 53,5 x 53,5 см

**Что есть среда
с точки зрения
организма?**



ЧТО ЕСТЬ
НАМА СПЕД?



Из более чем 100 химических элементов земной коры в составе вещества организмов – около 20.

Из них

присутствуют всегда:

**водород (H), углерод (C),
азот (N), кислород (O),
фосфор (P), сера (S)**

Paul G. Falkowski, Tom Fenchel, and Edward
F. Delong

The Microbial Engines That Drive Earth's Biogeochemical Cycles

// Science 23 May 2008.

Vol. 320 no. 5879 pp. 1034-1039

<http://www.sciencemag.org>

Paul G. Falkowski et al. 2008

...our current environment reflects the historically integrated outcomes of microbial experimentation on a tectonically active planet endowed with a thin film of liquid water...

Окружающая нас среда есть обобщенный результат экспериментирования микробов на тектонически активной планете, снабженной тонкой пленкой жидкой воды

Microbial life can easily live without us; we, however, cannot survive without the global catalysis and environmental transformations it provides.

Микробная жизнь легко может прожить без нас, но вот мы не можем прожить без глобального катализа и преобразования среды, которую она проводит...

Fig. 1. A generalized biosphere model showing the basic inputs and outputs of energy and materials.

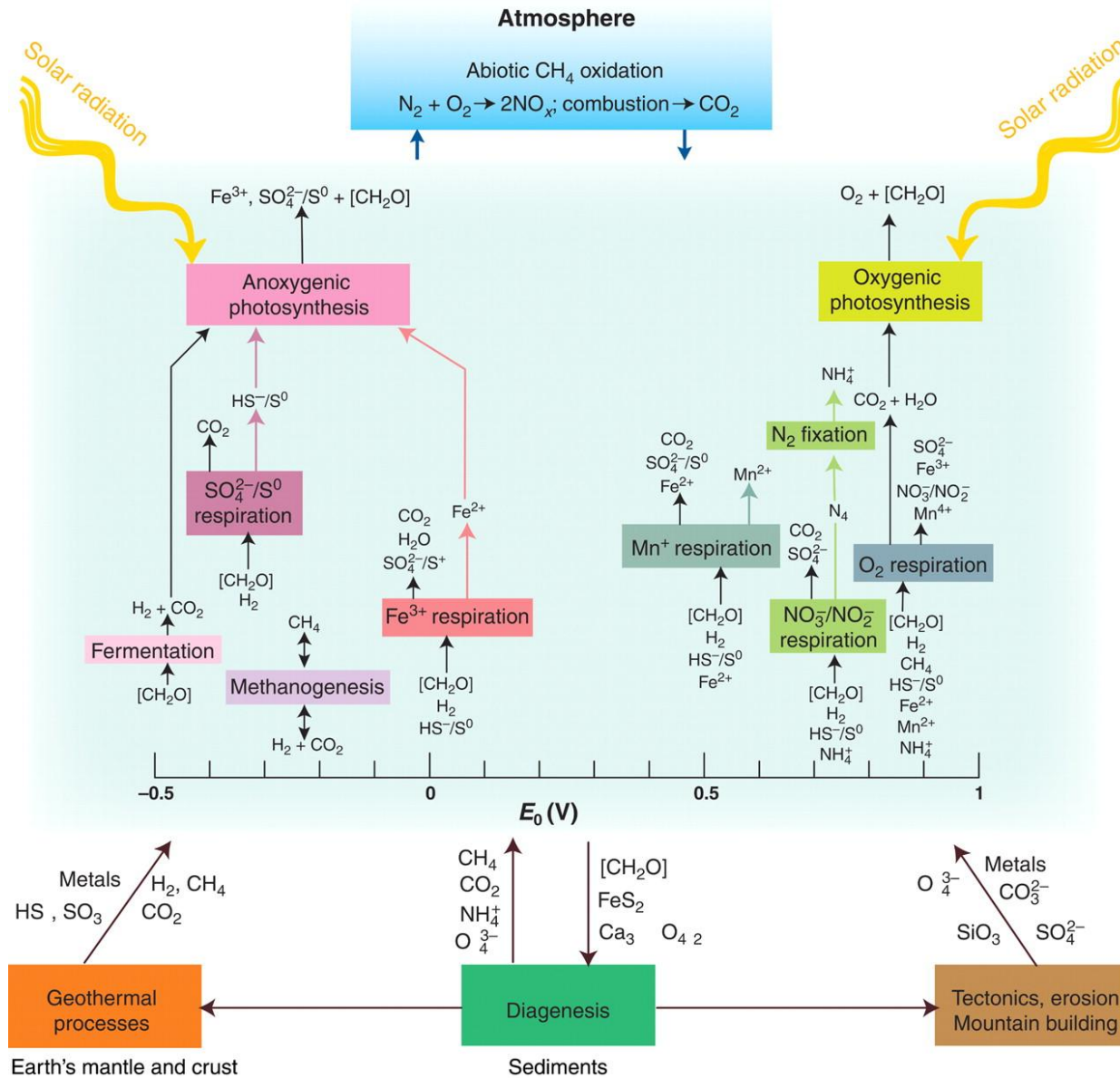
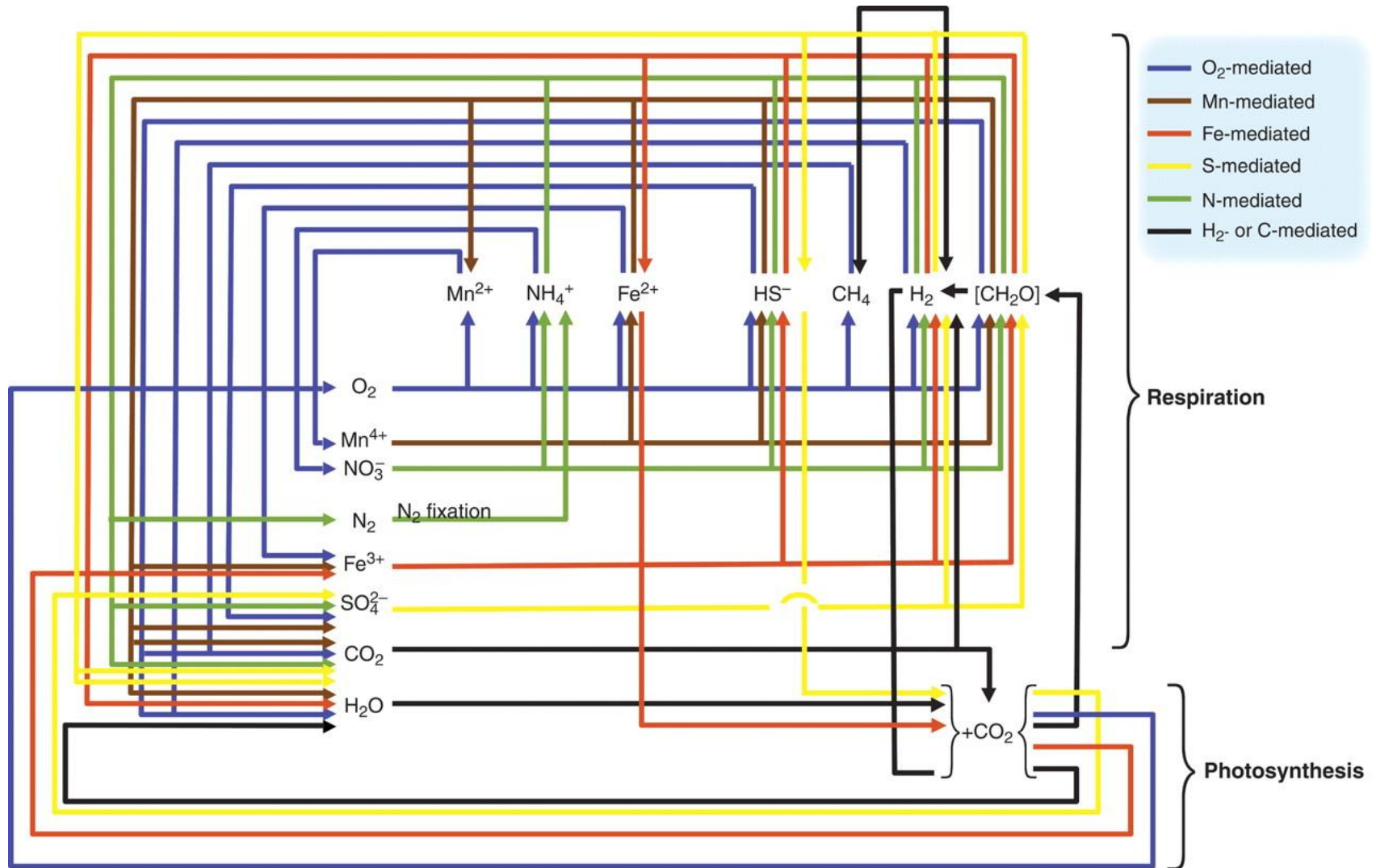


Fig. 2. A schematic diagram depicting a global, interconnected network of the biologically mediated cycles for hydrogen, carbon, nitrogen, oxygen, sulfur, and iron.



		Источник энергии	
		Свет	Окислительно-восстановительные реакции
Источник углерода	CO₂	Фотоавтотрофы (цианобактерии, пурпурные серные бактерии и некоторые другие группы бактерий, растения)	Хемоавтотрофы (водородные бактерии, метанобразующие архебактерии, нитрифицирующие бактерии и ряд других групп бактерий)
	Органическое вещество	Фотогетеротрофы (эритробактерии, гелиобактерии, несерные пурпурные бактерии)	Хемогетеротрофы (многие бактерии, в том числе - бактерии-деструкторы, все грибы, все животные)



The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1965

"for their discoveries concerning genetic control of enzyme and virus synthesis"



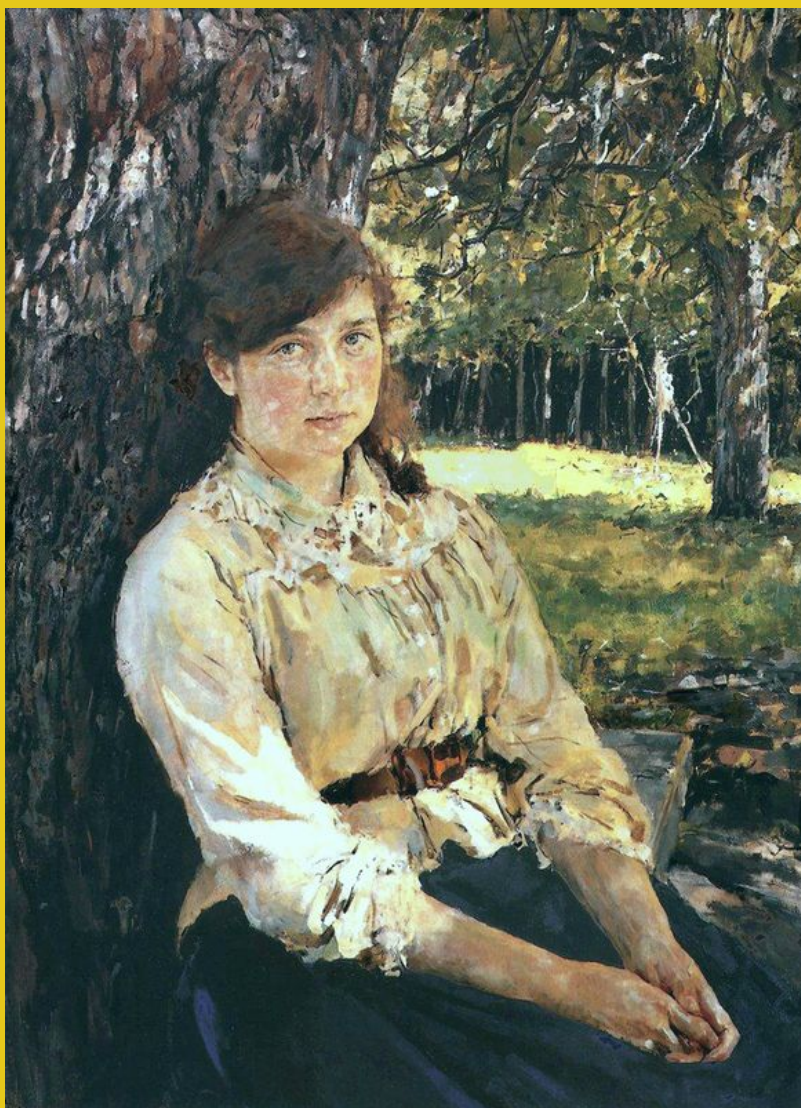
François Jacob



André Lwoff



Jacques Monod



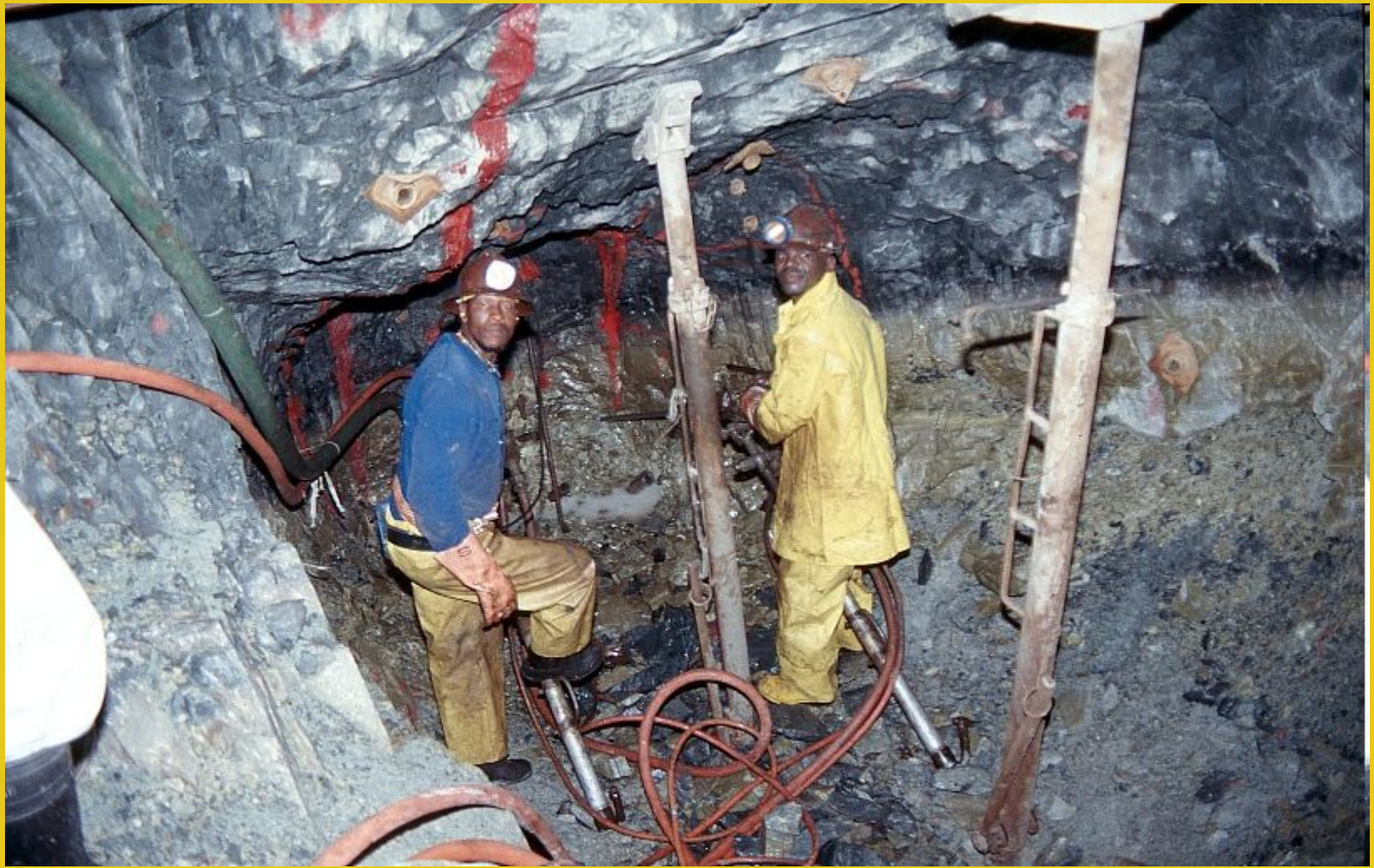
Андре Львов (André Lwoff) и его мама Маша Симонович (двоюродная сестра художника В.Серова, героиня его картины «Девушка, освещенная солнцем»)



Слева - Более поздний портрет Марии Симонович (Мме Lwoff) работы Серова.
Галерея Д'Орсэ, Париж

Группы организмов, выделенные в зависимости от источника углерода и энергии, а также характера окисляемого субстрата

		Источник энергии			
		Свет (Фототрофы)		Окислительно-восстановительные реакции (Хемотрофы)	
		Окисляемые субстраты (доноры электронов)		Окисляемые субстраты (доноры электронов)	
		Неорганические вещества (Литотрофы)	Органические вещества (Органотрофы)	Неорганические вещества (Литотрофы)	Органические вещества (Органотрофы)
Источник углерода	CO ₂ (Автотрофы)	Фотолитоавтотрофы (цианобактерии, пурпурные серные бактерии, растения)	Фотоорганотрофы (некоторые пурпурные бактерии)	Хемолитоавтотрофы (водородные бактерии, тионовые бактерии, нитрифицирующие бактерии)	Хемоорганотрофы (метанобразующие архебактерии)
	Органические соединения (Гетеротрофы)	Фотолитогетеротрофы (некоторые бактерии с аноксигенным фотосинтезом)	Фотоорганогетеротрофы (несерные пурпурные бактерии)	Хемолитогетеротрофы (сульфатвосстанавливающие и некоторые водородные бактерии)	Хемоорганогетеротрофы (большинство бактерий-деструкторов, грибы, животные)



Мроненг Міне (Южная Африка, глубина 2.8 км.
<http://web.uct.ac.za/depts/geolsci/dlr/hons2000/index.html>

Environmental Genomics Reveals a Single-Species Ecosystem Deep Within Earth

Dylan Chivian,^{1,2*} Eoin L. Brodie,^{2,3} Eric J. Alm,^{2,4} David E. Culley,⁵ Paramvir S. Dehal,^{1,2} Todd Z. DeSantis,^{2,3} Thomas M. Gihring,⁶ Alla Lapidus,⁷ Li-Hung Lin,⁸ Stephen R. Lowry,⁷ Duane P. Moser,⁹ Paul M. Richardson,⁷ Gordon Southam,¹⁰ Greg Wanger,¹⁰ Lisa M. Pratt,^{11,12} Gary L. Andersen,^{2,3} Terry C. Hazen,^{2,3,12} Fred J. Brockman,¹³ Adam P. Arkin,^{1,2,14} Tullis C. Onstott^{12,15}

DNA from low-biodiversity fracture water collected at 2.8-kilometer depth in a South African gold mine was sequenced and assembled into a single, complete genome. This bacterium, *Candidatus Desulforudis audaxviator*, composes >99.9% of the microorganisms inhabiting the fluid phase of this particular fracture. Its genome indicates a motile, sporulating, sulfate-reducing, chemoautotrophic thermophile that can fix its own nitrogen and carbon by using machinery shared with archaea. *Candidatus Desulforudis audaxviator* is capable of an independent life-style well suited to long-term isolation from the photosphere deep within Earth's crust and offers an example of a natural ecosystem that appears to have its biological component entirely encoded within a single genome.

A more complete picture of life on, and even in, Earth has recently become possible by extracting and sequencing DNA from an environmental sample, a process called environmental genomics or metagenomics (1–8). This approach allows us to identify mem-

Such microorganisms are of particular interest because they permit insight into a mode of life independent of the photosphere.

One bacterium belonging to the *Firmicutes* phylum (Fig. 1A), which we herein name *Candidatus Desulforudis audaxviator*, is prominent

genome of this organism appeared to possess all of the metabolic capabilities necessary for an independent life-style. This gene complement was consistent with the previous geochemical and thermodynamic analyses at the ambient ~60°C temperature and pH of 9.3, which indicated radiolytically generated chemical species as providing the energy and nutrients to the system (11), with formate and H₂ as possessing the greatest potential among candidate electron donors, and sulfate (SO₄²⁻) reduction as the dominant electron-accepting process (11).

DNA was extracted from ~5600 liters of filtered fracture water by using a protocol that has been demonstrated to be effective on a broad range of bacterial and archaeal species, including recalcitrant organisms (16). A single, complete, 2.35-megabase pair (Mbp) genome was assembled with a combination of shotgun Sanger sequencing and 454 pyrosequencing (16). Similar to other studies that obtained near-complete consensus genomes from environmental samples (5, 17), heterogeneity in the population of the dominant species as measured with single-nucleotide polymorphisms (SNP) was quite low, showing only 32 positions with a SNP observed

¹Physical Biosciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA. ²Virtual Institute for Microbial Stress and Survival, Berkeley, CA 94720, USA.

Science 10 October 2008:
Vol. 322 no. 5899 pp. 275-278

Бактерия *Desulforudis audaxviator*, представляющая собой целую экосистему, является единственным обитателем подземных вод, обнаруженных в Южной Африке на глубине 2.8 км. Вода (возраст которой измеряется миллионами лет, имеет температуру 60° и насыщена сульфатами). О геноме *D.audaxviator* см. подробнее: Александр Марков. *В недрах земли найден микроб, живущий сам по себе* // Элементы:

<http://elementy.ru/news/430872>

DNA from low-biodiversity fracture water collected at 2.8-kilometer depth in a South African gold mine was sequenced and assembled into a single, complete genome. This bacterium, Candidatus ***Desulforudis audaxviator***, composes >99.9% of the microorganisms inhabiting the fluid phase of this particular fracture

«Audax viator» – отважный путешественник

Science 10 October 2008: Vol. 322 no. 5899 pp. 275-278

Its genome indicates a motile, sporulating, sulfate-reducing, chemoautotrophic thermophile that can fix its own nitrogen and carbon by using machinery shared with archaea. Candidatus ***Desulforudis audaxviator*** is capable of an independent life-style well suited to long-term isolation from the photosphere deep within Earth's crust and offers an example of a natural ecosystem that appears to have its biological component entirely encoded within a single genome

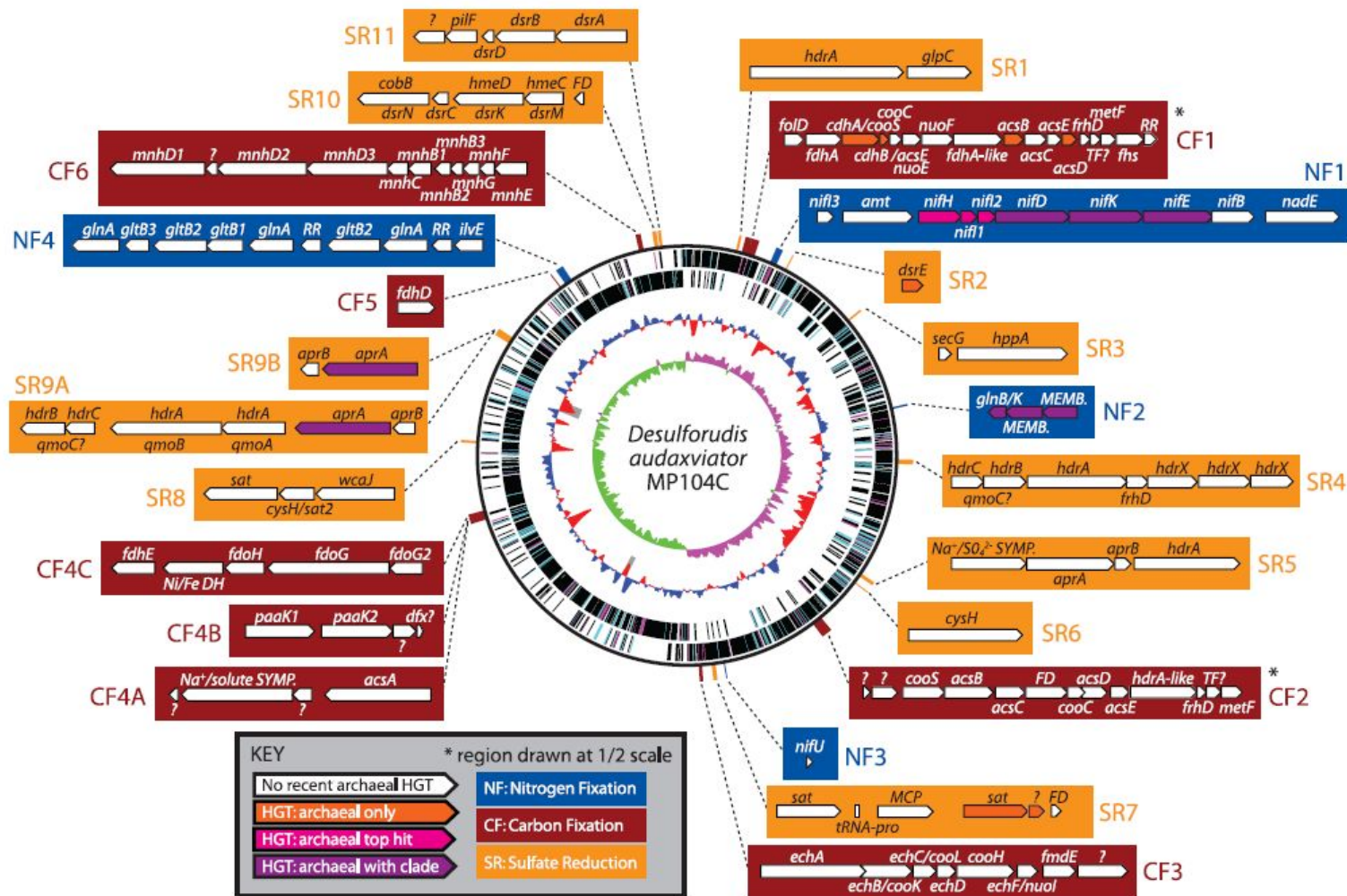
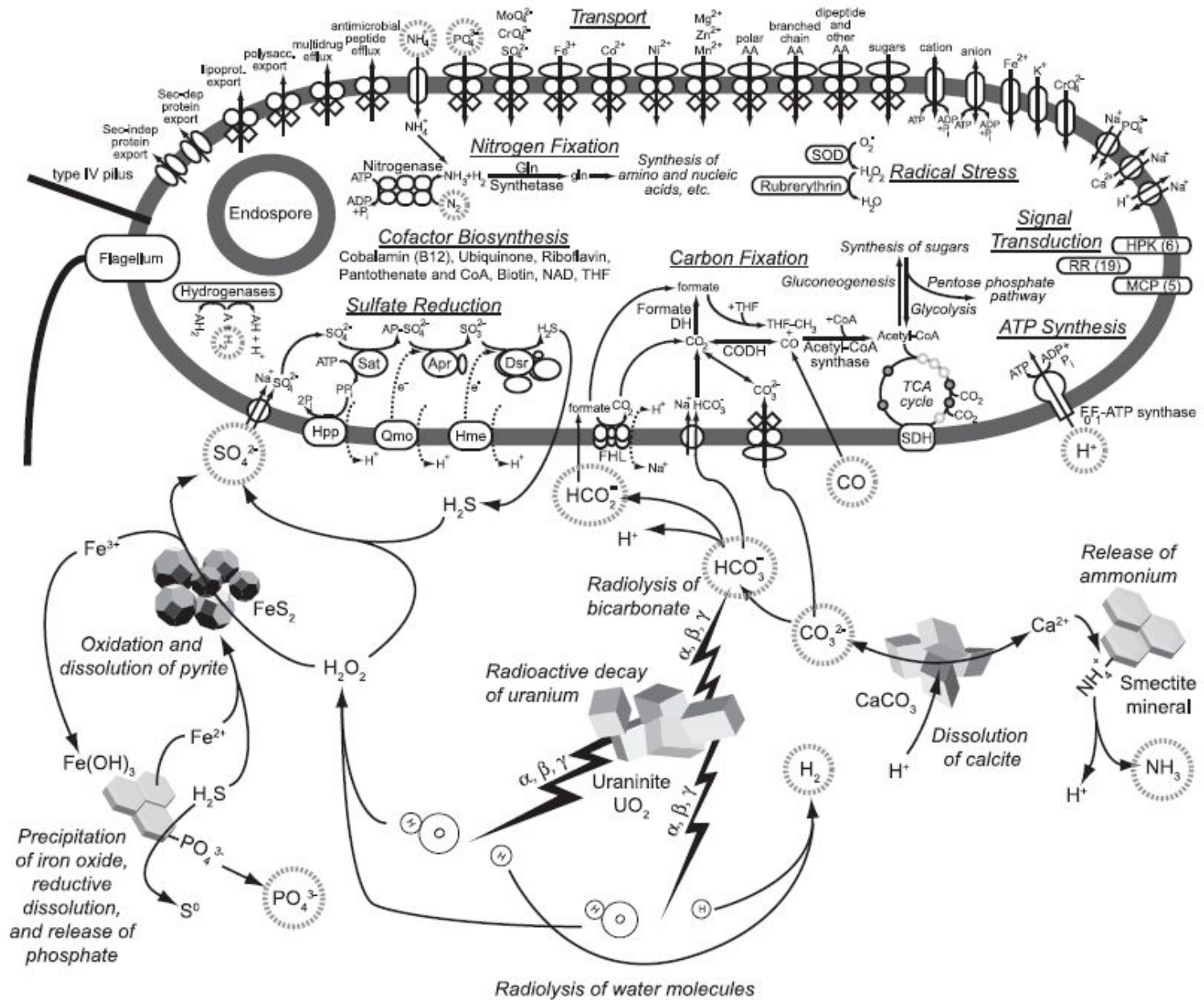


Fig. 2. Genome of *D. audaxviator*, with key genes highlighted. (Innermost ring) GC skew [average of (G-C)/(G+C) over 10,000 bases, plotted every 1000 bases]. Transition at the top (near *dnaA*) is origin of replication. (Second ring) G+C content [average of (G+C) over 10,000 bases, plotted every 1000 bases], with greater-than-average values (61%) in blue and below average in red. Below-average G+C regions that result from CRISPR sequences are indicated in gray. (Third and fourth rings) Predicted protein coding genes on each strand. Genes with homologs only found within

closest clade species [including open reading frame (ORF)an genes] are in cyan, genes that are found only within closest clade species and within archaea (resulting from horizontal transfer) in magenta, and all other genes in black. (Outer boxes) Genes of interest are shown around the ring as operons for sulfate reduction (SR), carbon fixation via acetyl-CoA synthesis pathway (CF), and nitrogen fixation (NF). Horizontally acquired genes shared with archaea specific to *D. audaxviator* and its nearest relatives are colored according to the key.

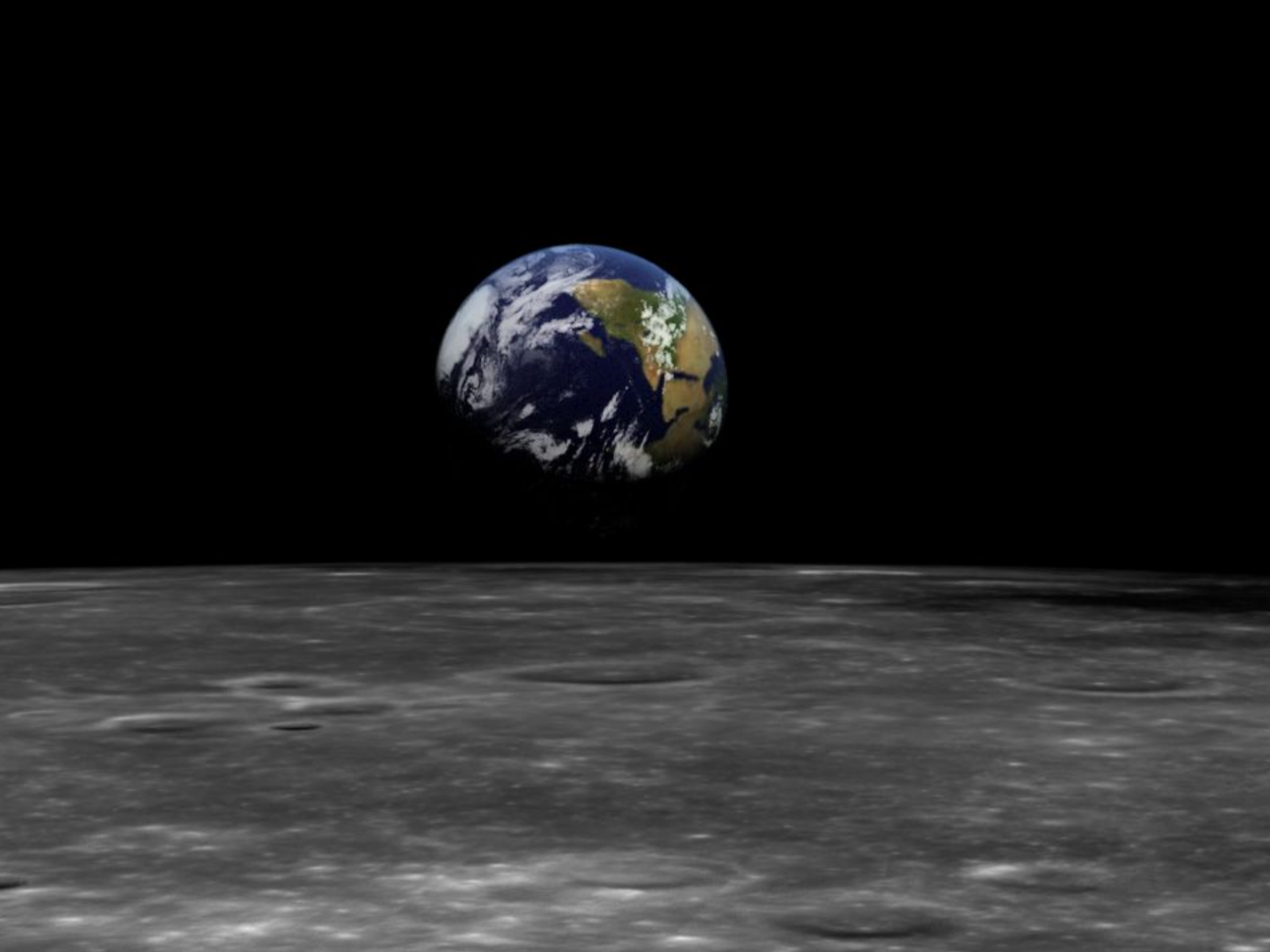


Chivian et al., 2008. Science. Vol. 322 (5899): 275-278

Биосфера

Биосфера –
область Земли,
населенная живыми
организмами и
находящаяся под их
влиянием







**Чтобы понять устройство
биосферы, на неё нужно
взглянуть как бы со
стороны – отдалиться
в пространстве
и
во времени**

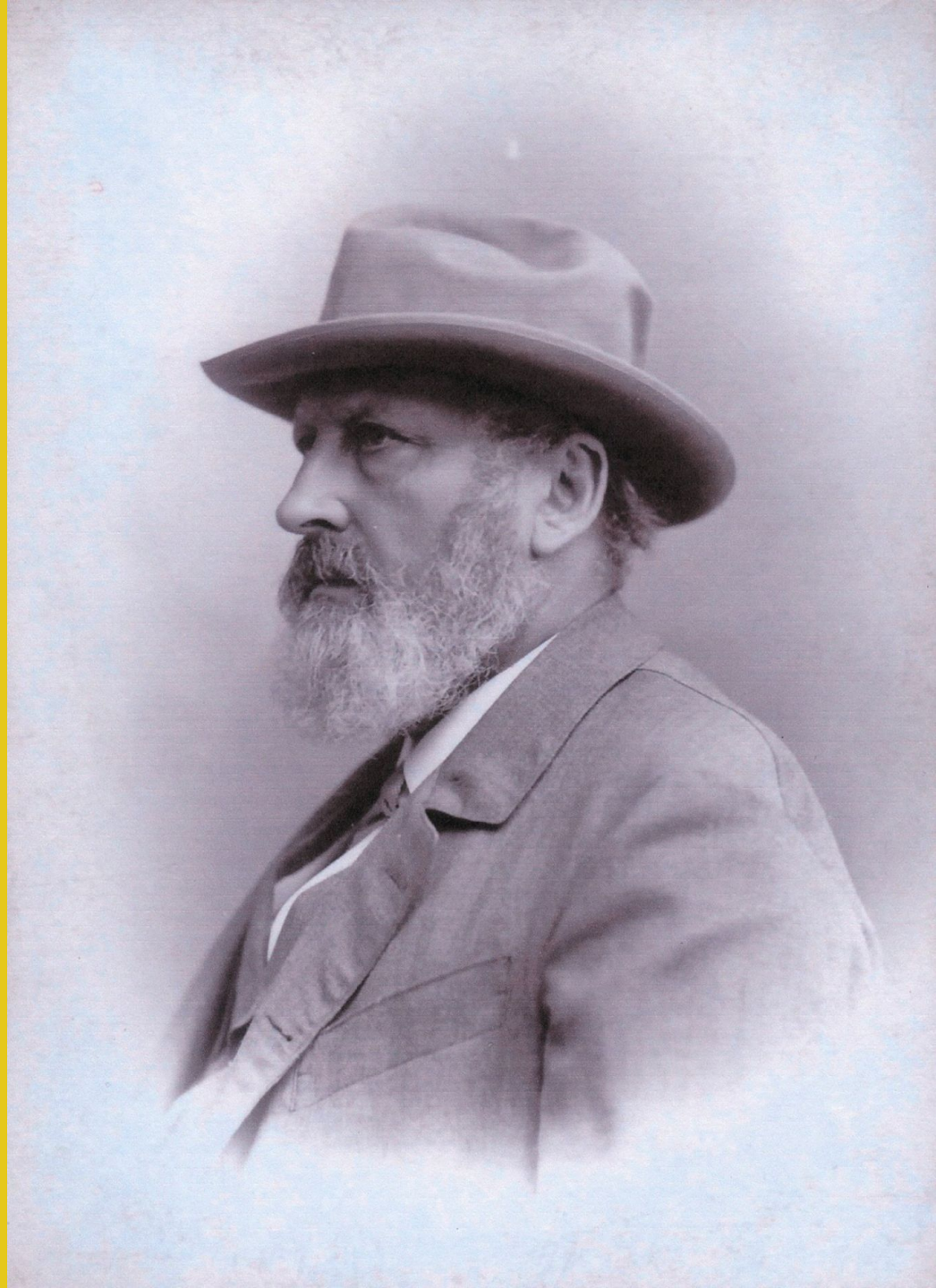
**Биосфера возникла 3.5
миллиарда лет тому назад.
Она вряд ли
просуществует ещё более
1.5 миллиардов лет**

**Эволюция биосферы –
необратимая
последовательность
событий, порожденная
геохимической
активностью организмов**

**Эдуард Зюсс
(Eduard Suess)**

(1831 – 1914)

**В 1870-х годах
предложил
термин
«биосфера»**

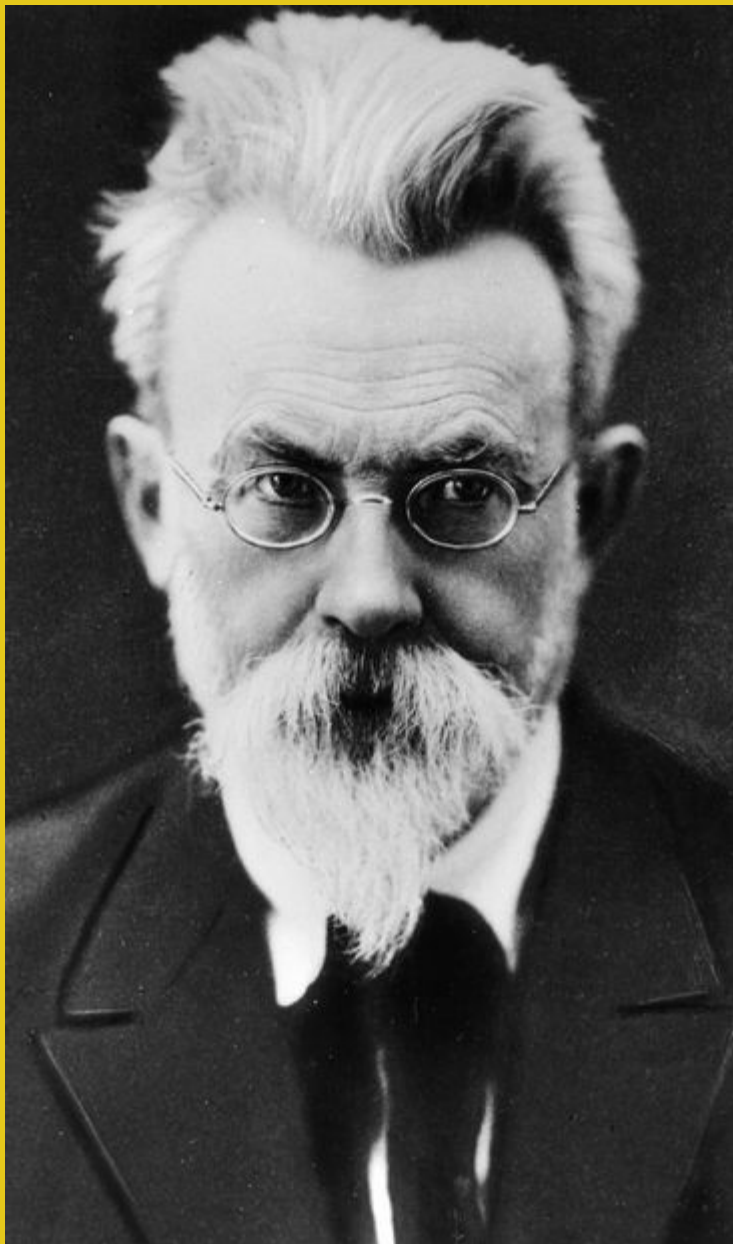


Согласно Зюссу биосфера - одна из «оболочек» Земли, - та, в которой протекает жизнь

Помимо биосферы он выделял еще три «оболочки»:

литосферу
гидросферу
атмосферу

Биосфера включает всю гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижние слои атмосферы



Владимир
Иванович
Вернадский
(1863 – 1945)

В. И. Вернадский

21/xi-29

1944

Акад. В. И. ВЕРНАДСКИЙ

В. И. Вернадский
1944

БИОСФЕРА

I-II.

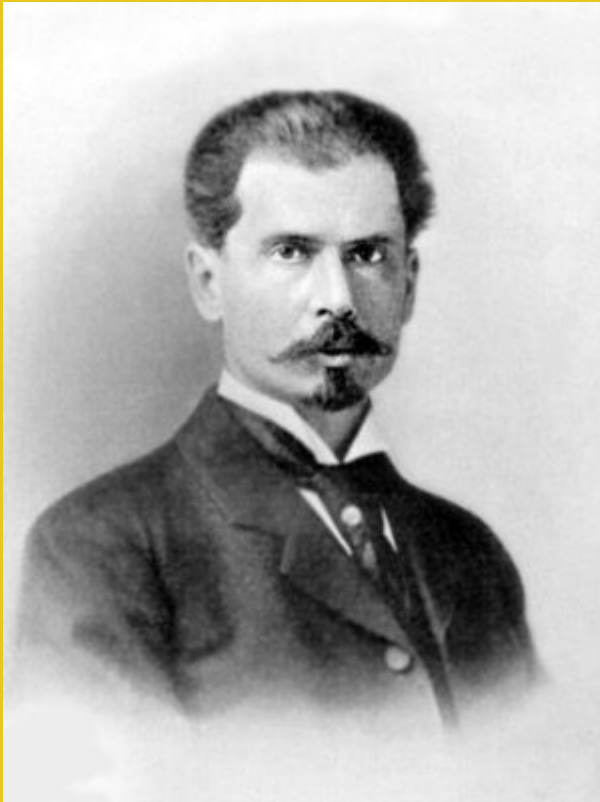
НАУЧНОЕ ХИМИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАУЧНО ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ В. С. Н. Х.
ЛЕНИНГРАД

НО.

1926

Сергей Николаевич Виноградский

1856-1953



В 1896 году сформулировал представление о жизни на Земле как о системе

взаимосвязанных
биогеохимических

циклов,

катализируемых

живыми существами

Из более чем 100 химических элементов земной коры в составе вещества организмов – около 20.

Из них

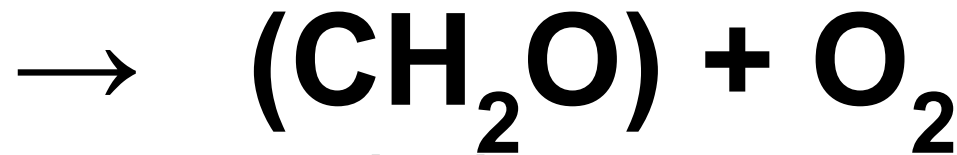
присутствуют всегда:

**водород (H), углерод (C),
азот (N), кислород (O),
фосфор (P), сера (S)**

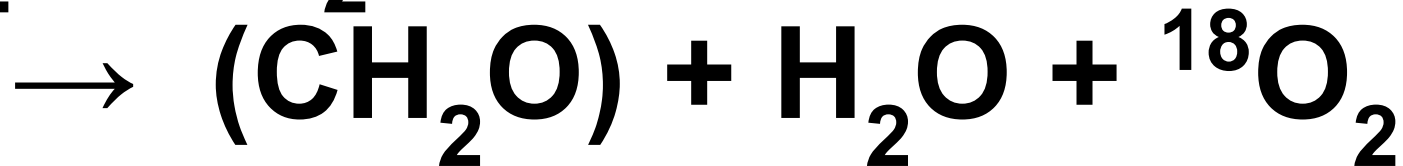
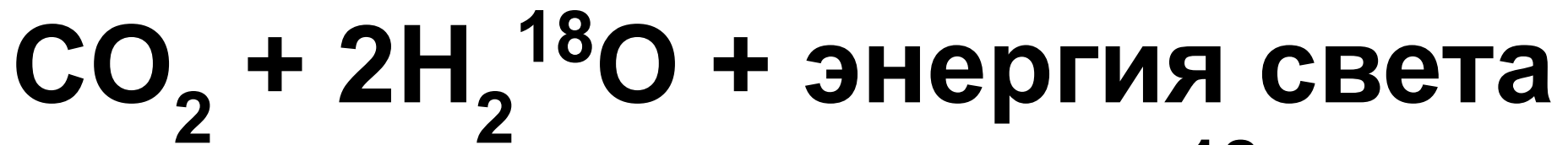
C H N O P S

1. Все, кроме фосфора, могут образовывать летучие соединения

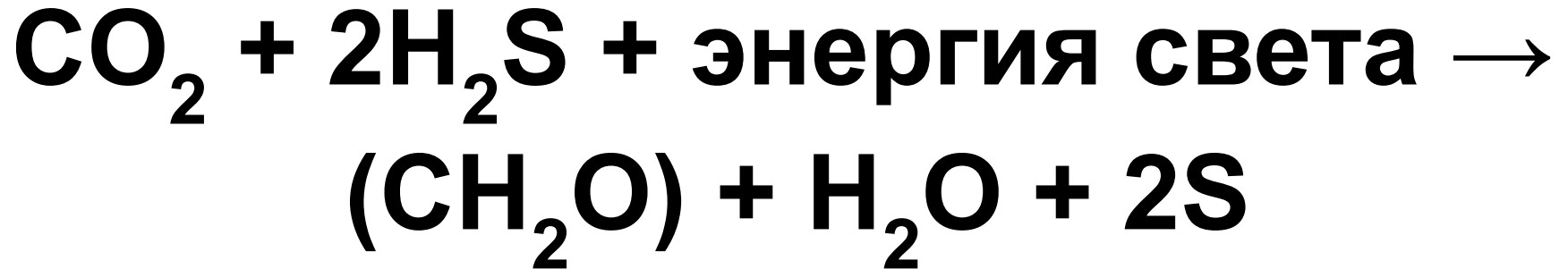
2. Более 99% вещества организмов приходится только на четыре элемента: водород, углерод, азот и кислород



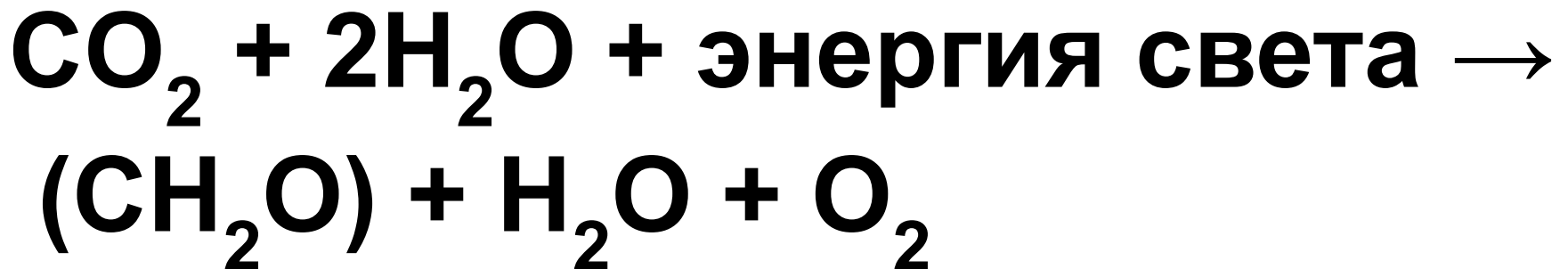
где (CH_2O) – обобщенная формула углеводов



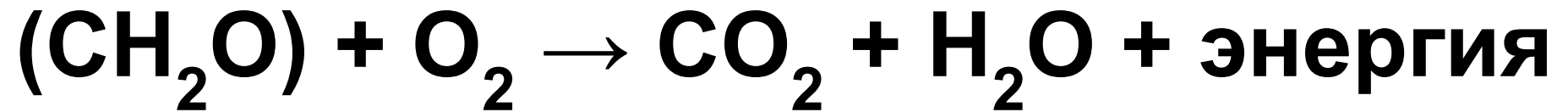
Аноксигенный фотосинтез:



Оксигенный фотосинтез:



Дыхание:



Фотосинтез:



Углерод биосферы (в гигатоннах, 10^{15} г)

Вся литосфера	> 75 000 000
Вся гидросфера (океаны)	38 400
Атмосфера (CO_2)	720
Масса живых организмов	600 – 1 000

**Углерод литосферы
(в гигатоннах, 10^{15} г)
Всего > 75 000 000**

Карбонаты кальция и магния
(осадочные породы)

> 60 000 000

Кероген (осадочное органи-
ческое вещество)

15 000 000

Ископаемое топливо (уголь,
торф, нефть, газ)

4 130

Углерод гидросферы (в Гт, 10^{15} г)

Всего > 38 400

Растворенные бикарбонаты и карбонаты (в целом)	37 400
Растворенные бикарбонаты и карбонаты (поверхностные воды)	670
Растворенные бикарбонаты и карбонаты (глубинные воды)	36 730
Органическое вещество (растворенное и взвешенное)	1 000
Водная биота (масса живых организмов)	1-2

**Углерод атмосферы и органического вещества
на поверхности суши (в Гт, 10^9 т, 10^{15} г)**

Атмосфера (CO₂)	720
Наземная биота (в целом)	1 800 - 2 200
Масса живых организмов	600 – 1 000
Масса отмерших организмов на поверхности земли	1 200