

## **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...»**



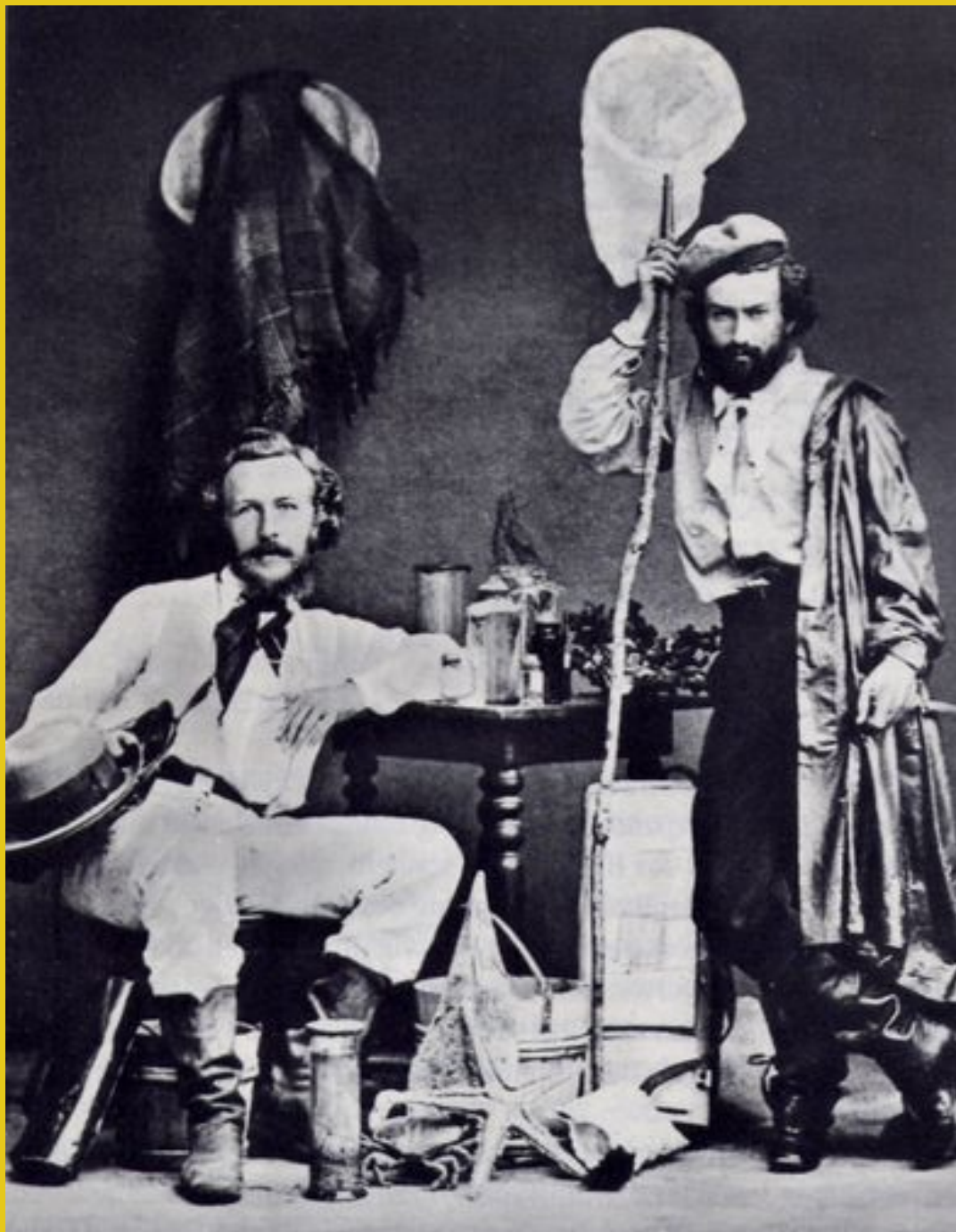
*Dobzhansky T.* 1973. *The American Biology  
Teacher*. V. 35. P. 125-129

**“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)*





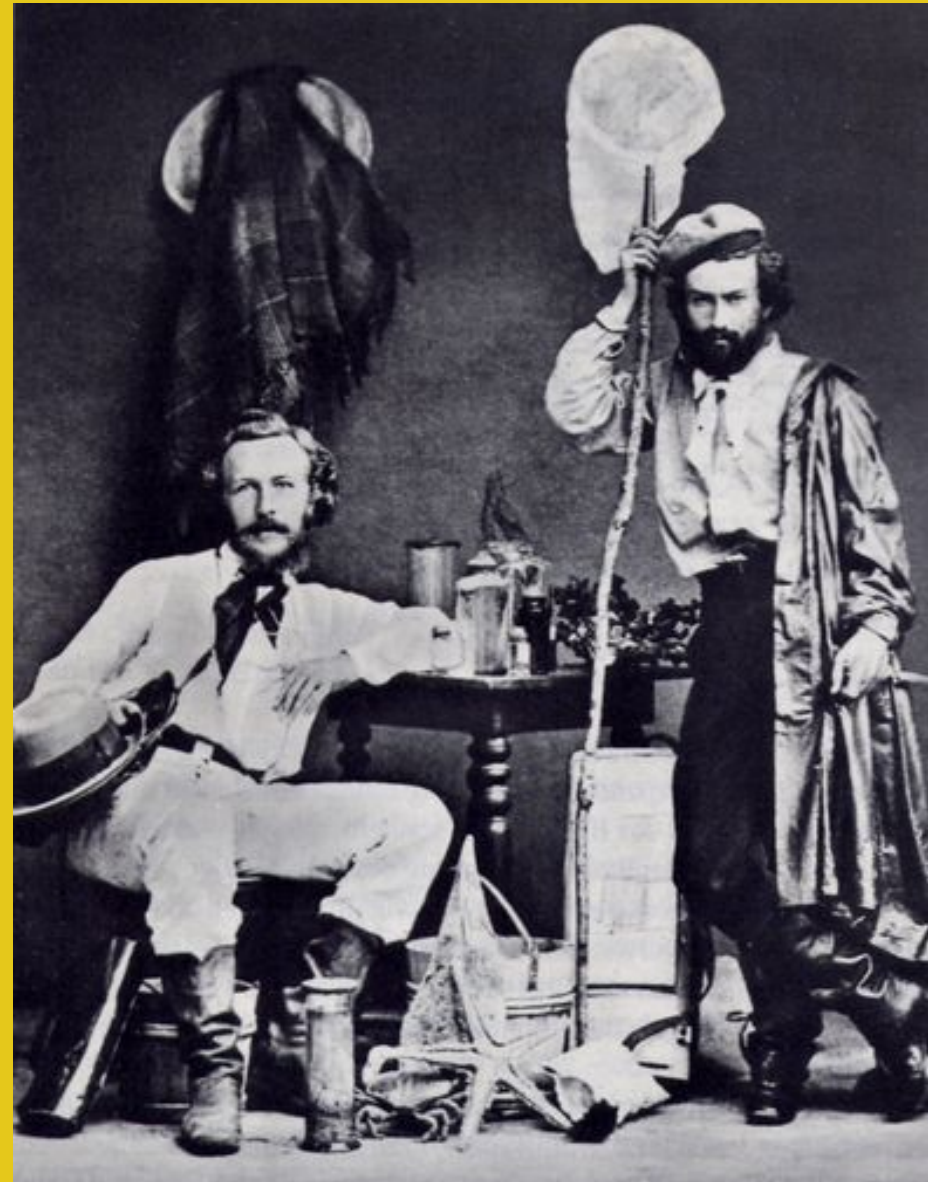
Эрнст Геккель  
*Ernst Haeckel*  
(1834-1919)

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**

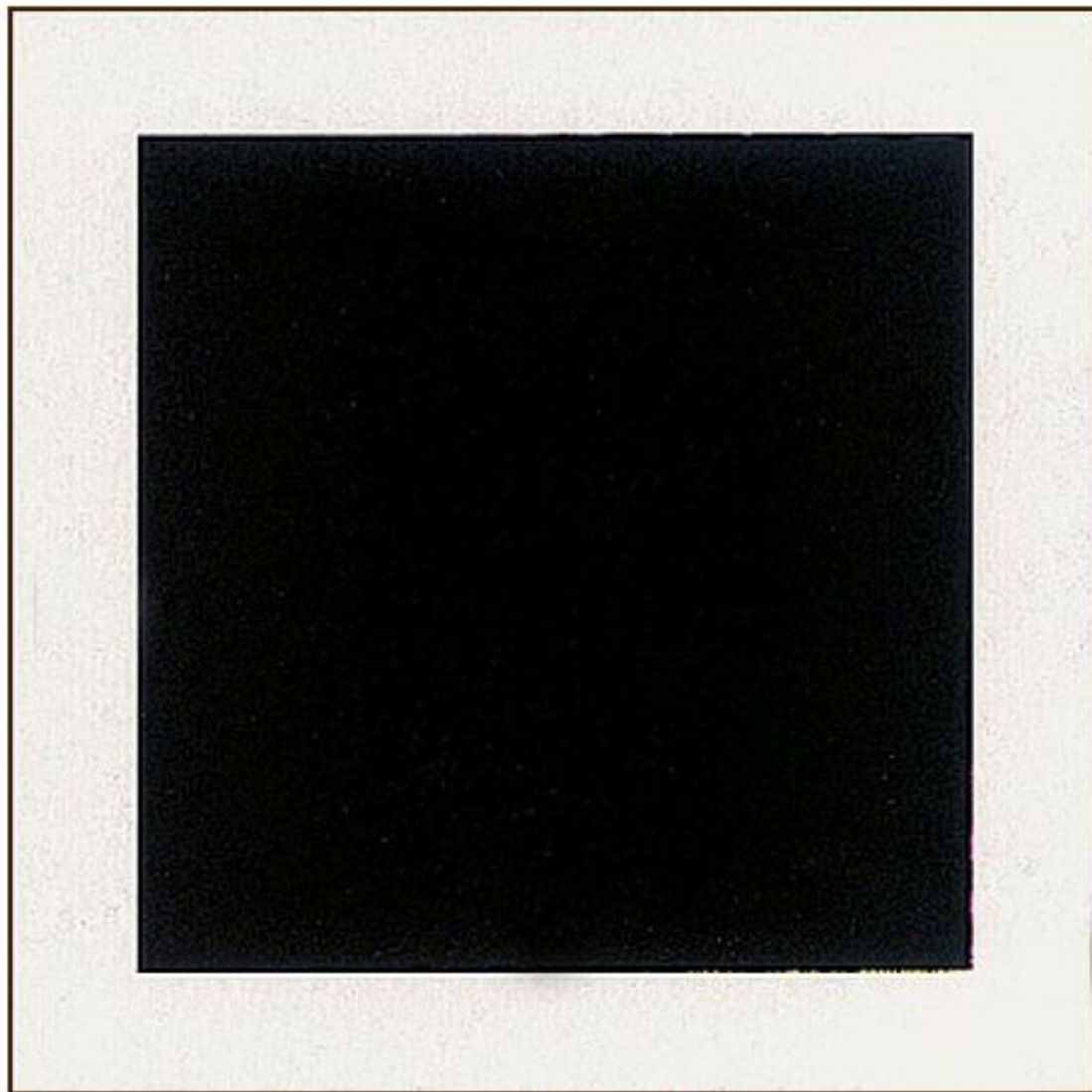
**Charles Krebs (1985):**

**«...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

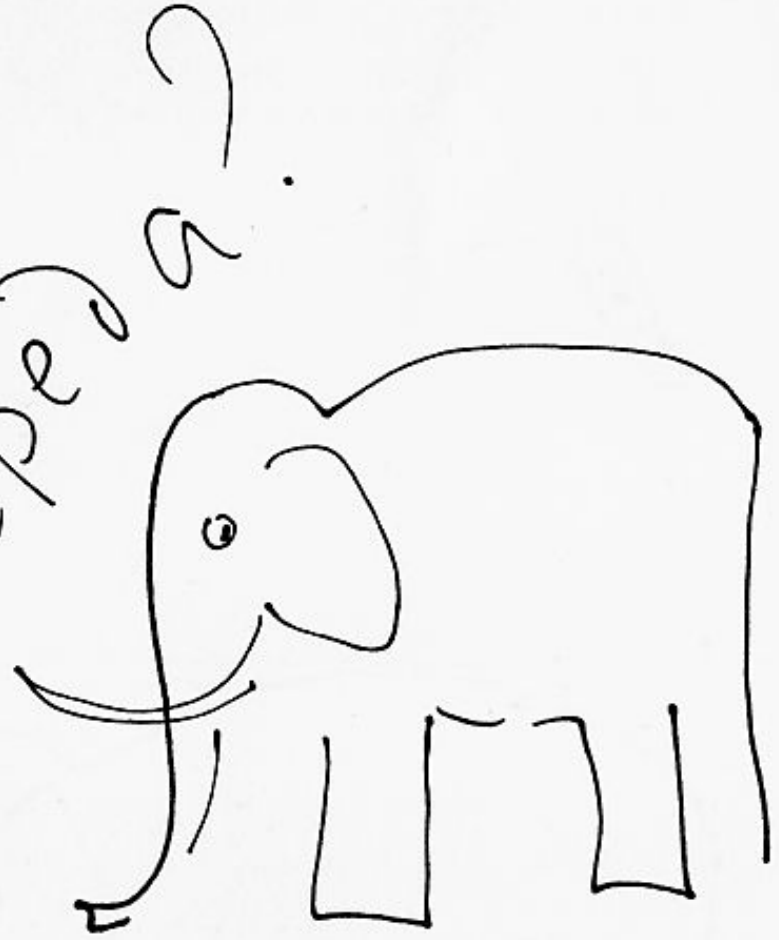
Холст, масло, 53,5 x 53,5 см



**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

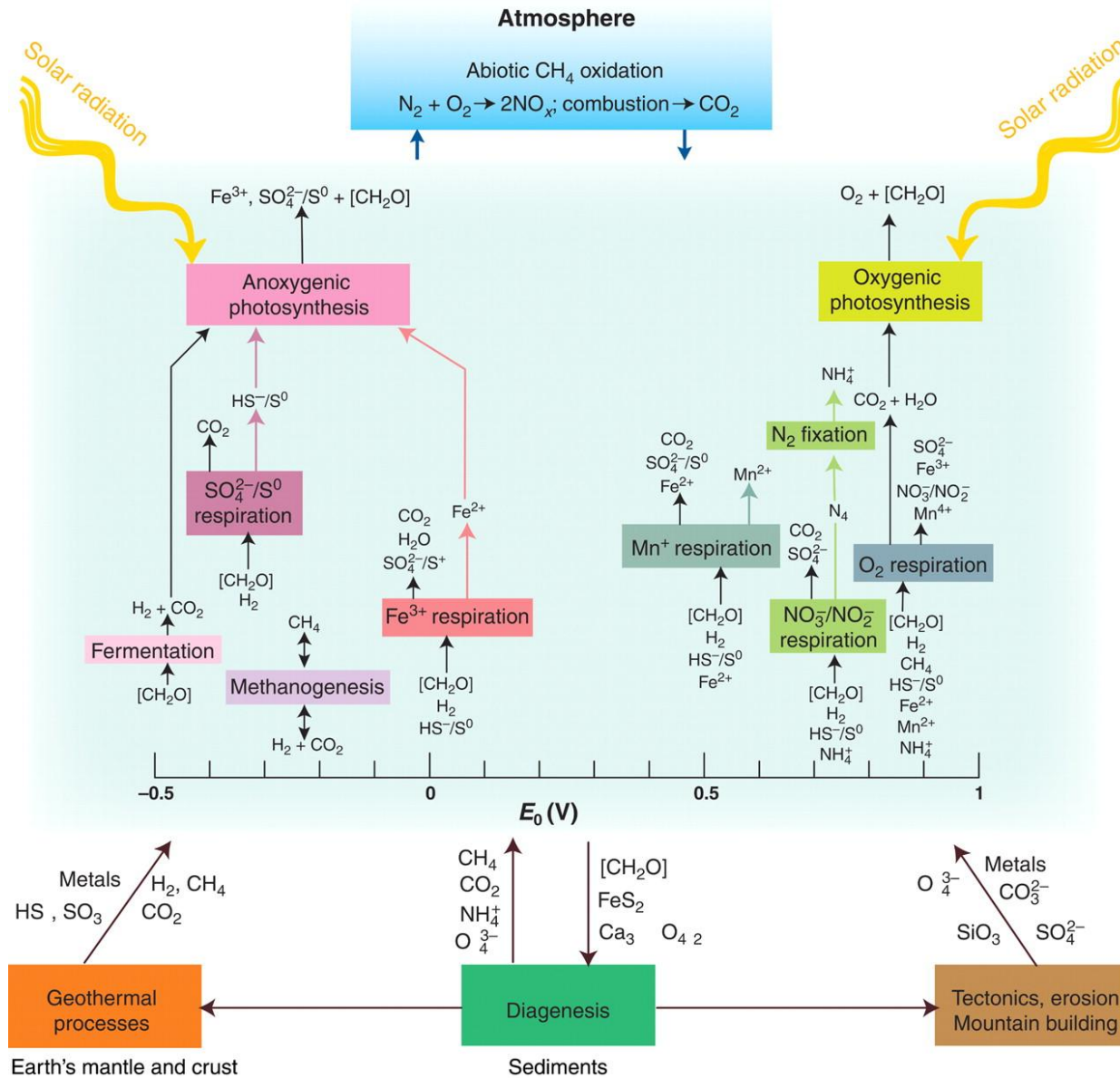
**...our current environment reflects the historically integrated outcomes of microbial experimentation on a tectonically active planet endowed with a thin film of liquid water...**

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

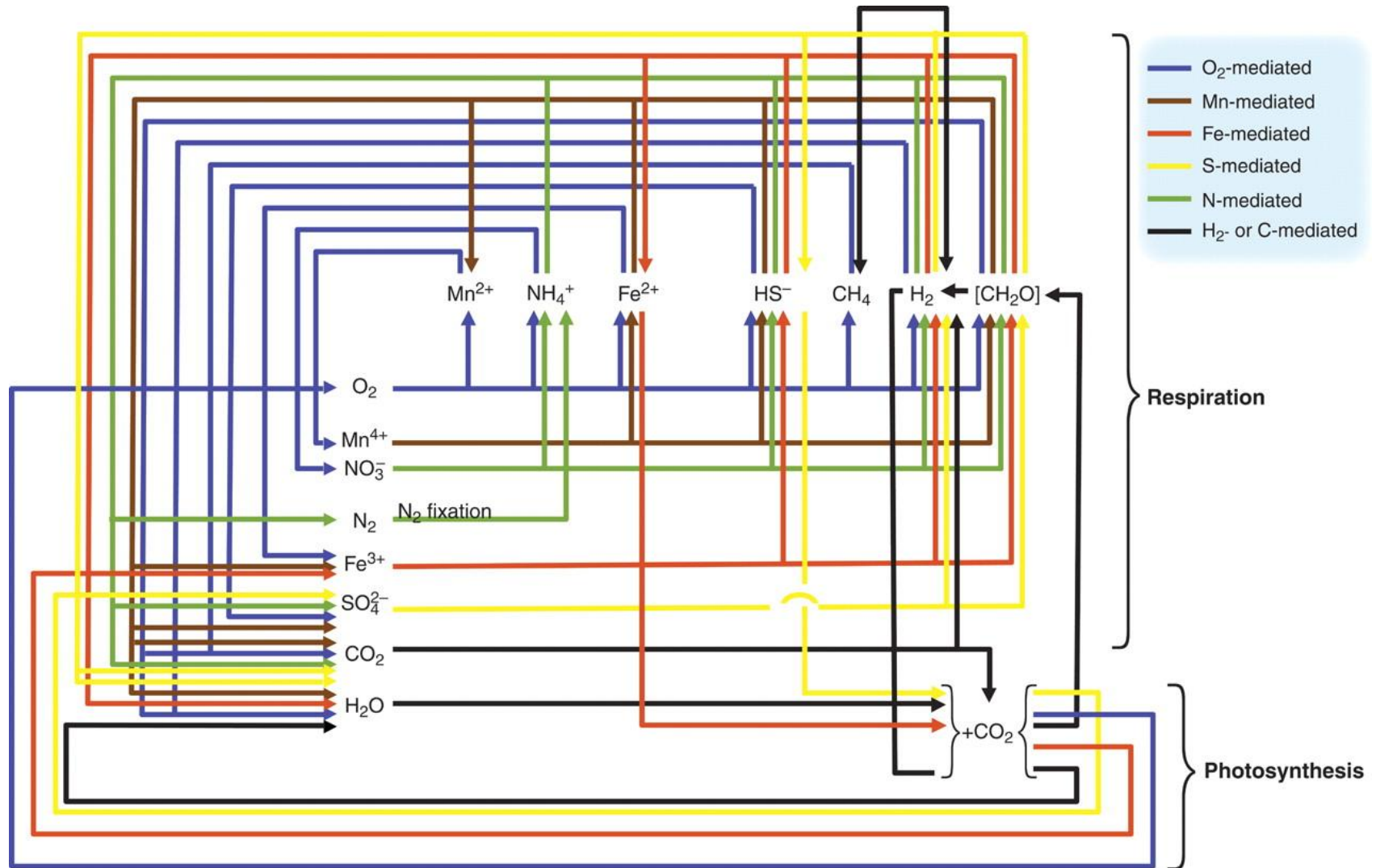
**Microbial life can easily live without us; we, however, cannot survive without the global catalysis and environmental transformations it provides.**

**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.**



		<b>Источник энергии</b>	
		<b>Свет</b>	<b>Окислительно-восстановительные реакции</b>
<b>Источник углерода</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>Фотоавтотрофы (цианобактерии, пурпурные серные бактерии и некоторые другие группы бактерий, растения)</b>	<b>Хемоавтотрофы (водородные бактерии, метанобразующие архебактерии, нитрифицирующие бактерии и ряд других групп бактерий)</b>
	<b>Органическое вещество</b>	<b>Фотогетеротрофы (эритробактерии, гелиобактерии, несерные пурпурные бактерии)</b>	<b>Хемогетеротрофы (многие бактерии, в том числе - бактерии-деструкторы, все грибы, все животные)</b>





## The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1965

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



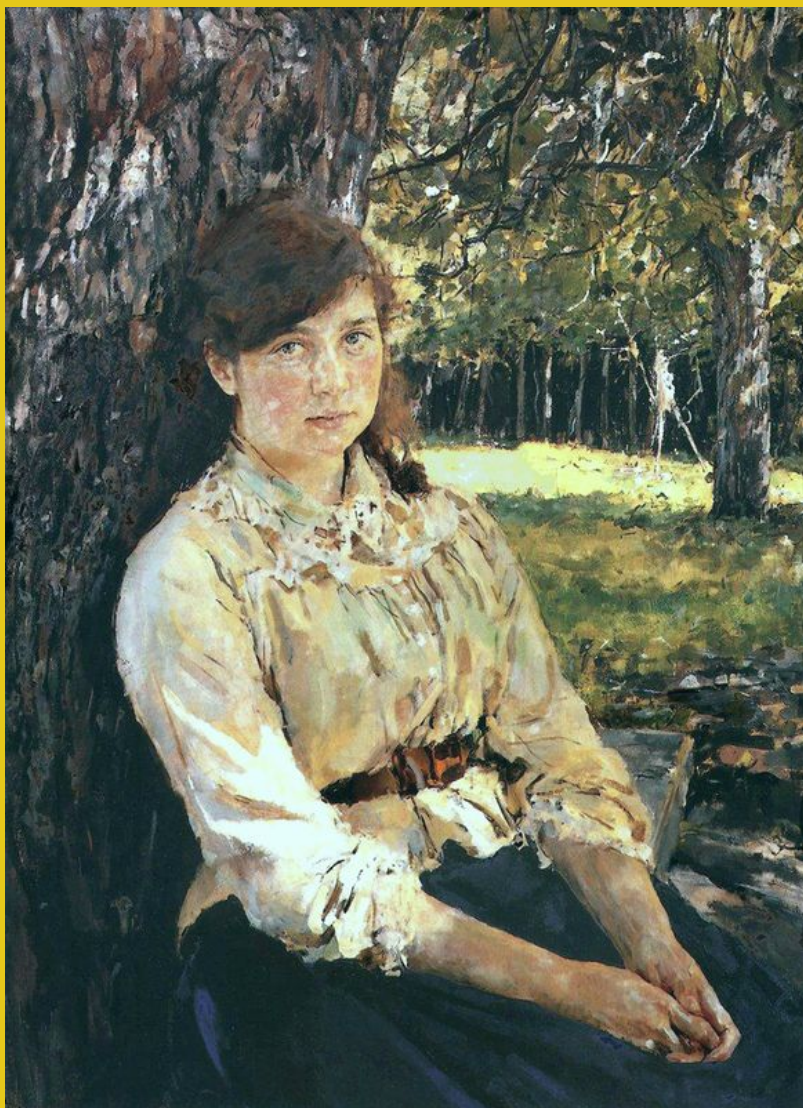
**François Jacob**



**André Lwoff**



**Jacques Monod**



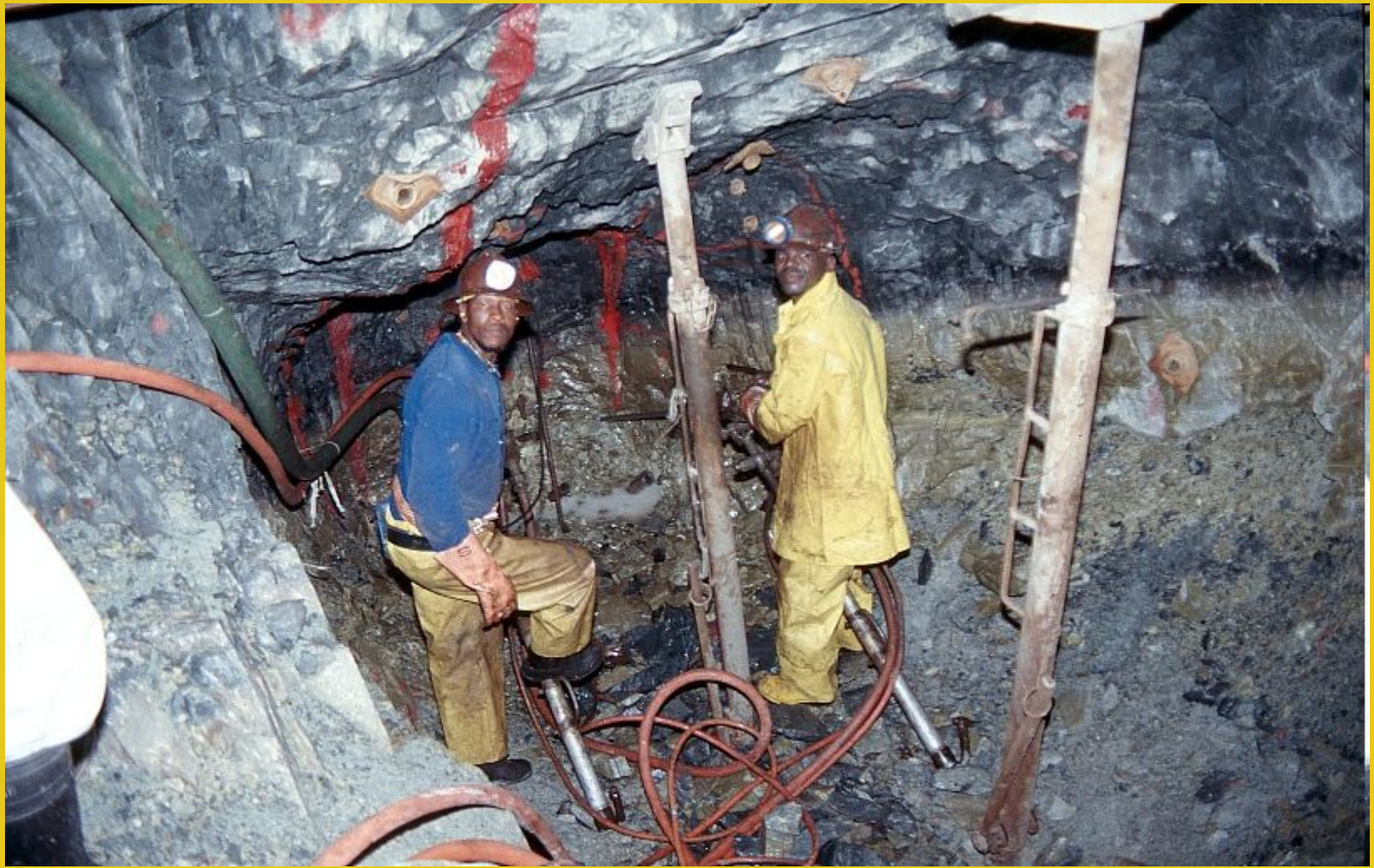
Андре Львов (André Lwoff) и его мама Маша Симонович (двоюродная сестра художника В.Серова, героиня его картины «Девушка, освещенная солнцем»)



Слева - Более поздний портрет Марии Симонович (Mme 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 угле- рода	CO <sub>2</sub> (Авто- трофы)	Фотолитоавтотрофы (цианобактерии, пурпурные серные бактерии, растения)	Фотоорганавто- трофы (некоторые пурпурные бактерии)	Хемолитоавто- трофы (водородные бактерии, тионовые бактерии, нитрифицирующие бактерии)	Хемоорганавто- трофы (метанобразующие архебактерии)
	Органи- ческие соедине- ния (Гетеро- трофы)	Фотолитогетеро- трофы (некоторые бактерии с аноксигенным фотосинтезом)	Фотоорганогетеро- трофы (несерные пурпурные бактерии)	Хемолитогетеро- трофы (сульфатвосстанав- ливающие и неко- торые водородные бактерии)	Хемоорганогетеро- трофы (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,<sup>1,2\*</sup> Eoin L. Brodie,<sup>2,3</sup> Eric J. Alm,<sup>2,4</sup> David E. Culley,<sup>5</sup> Paramvir S. Dehal,<sup>1,2</sup> Todd Z. DeSantis,<sup>2,3</sup> Thomas M. Gihring,<sup>6</sup> Alla Lapidus,<sup>7</sup> Li-Hung Lin,<sup>8</sup> Stephen R. Lowry,<sup>7</sup> Duane P. Moser,<sup>9</sup> Paul M. Richardson,<sup>7</sup> Gordon Southam,<sup>10</sup> Greg Wanger,<sup>10</sup> Lisa M. Pratt,<sup>11,12</sup> Gary L. Andersen,<sup>2,3</sup> Terry C. Hazen,<sup>2,3,12</sup> Fred J. Brockman,<sup>13</sup> Adam P. Arkin,<sup>1,2,14</sup> Tullis C. Onstott<sup>12,15</sup>

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 H<sub>2</sub> as possessing the greatest potential among candidate electron donors, and sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 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

<sup>1</sup>Physical Biosciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA. <sup>2</sup>Virtual 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>

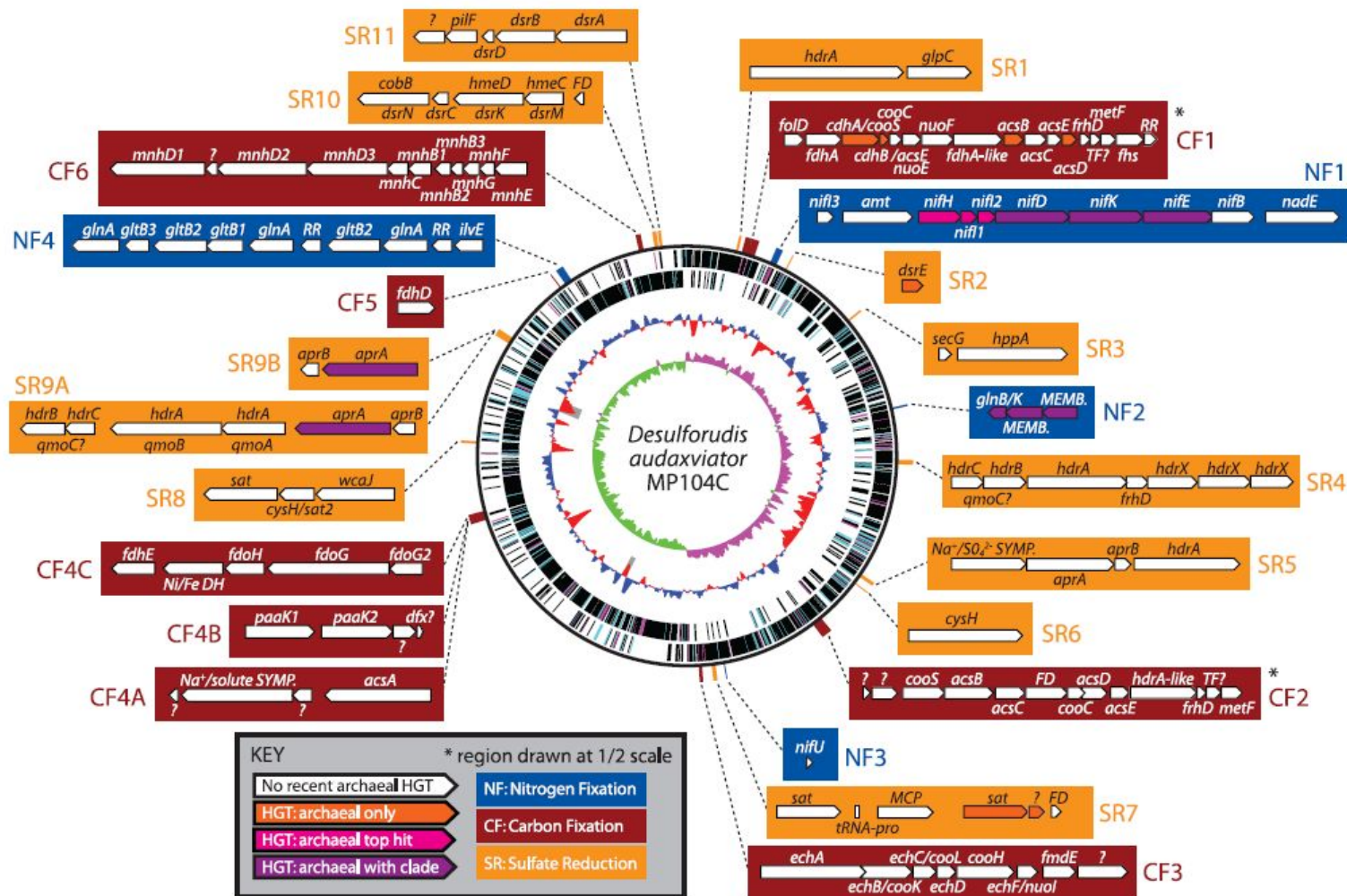
DNA from low-biodiversity fracture water collected at 2.8-kilometer depth in a South African gold mine was sequenced and assembled into a single, complete genome. This bacterium, Candidatus ***Desulforudis audaxviator***, composes >99.9% of the microorganisms inhabiting the fluid phase of this particular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

**«Audax viator» – отважный путешественник**

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

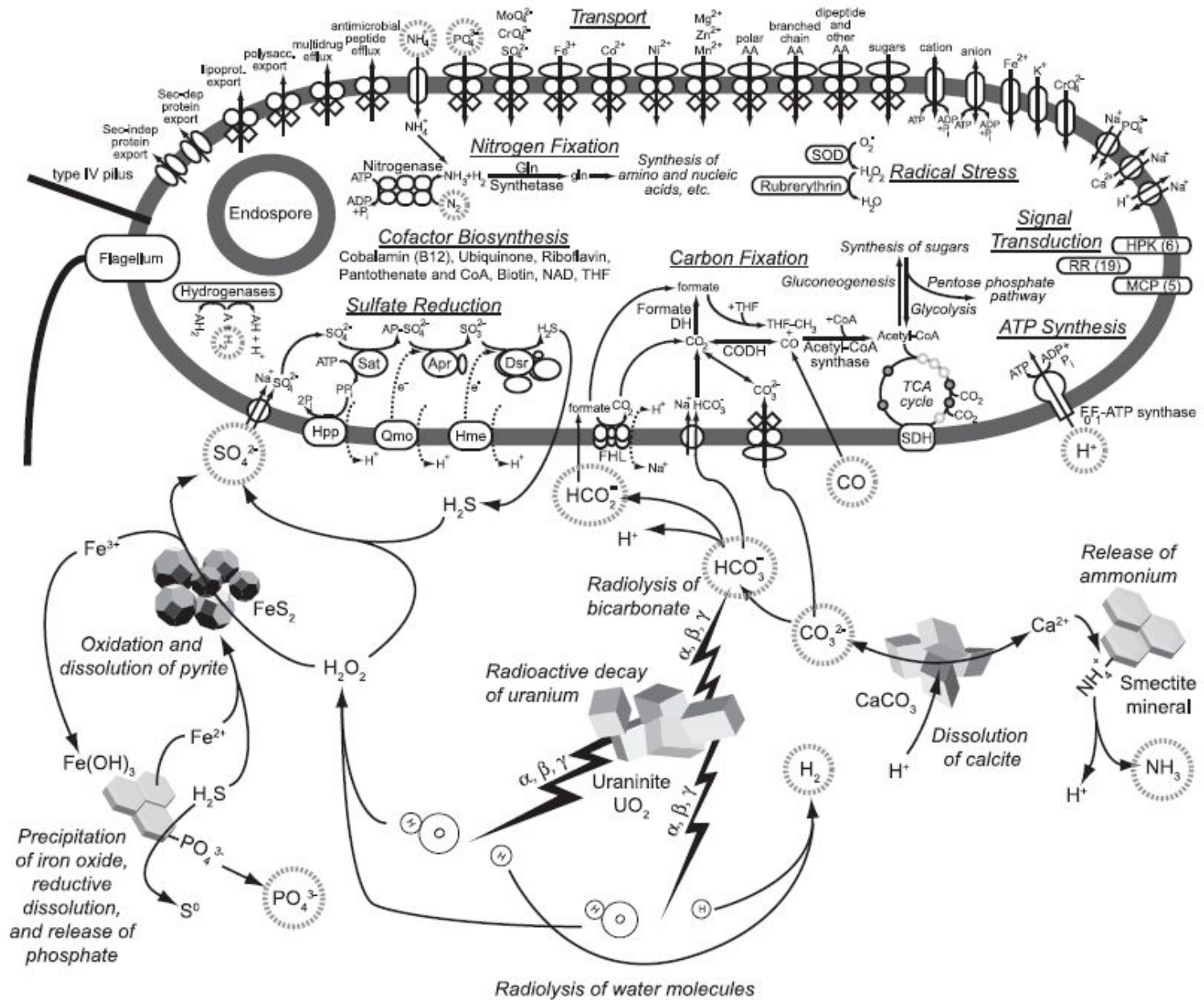


Its genome indicates a motile, sporulating, sulfate-reducing, chemoautotrophic thermophile that can fix its own nitrogen and carbon by using machinery shared with archaea. Candidatus ***Desulforudis audaxviator*** is capable of an independent life-style well suited to long-term isolation from the photosphere 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.

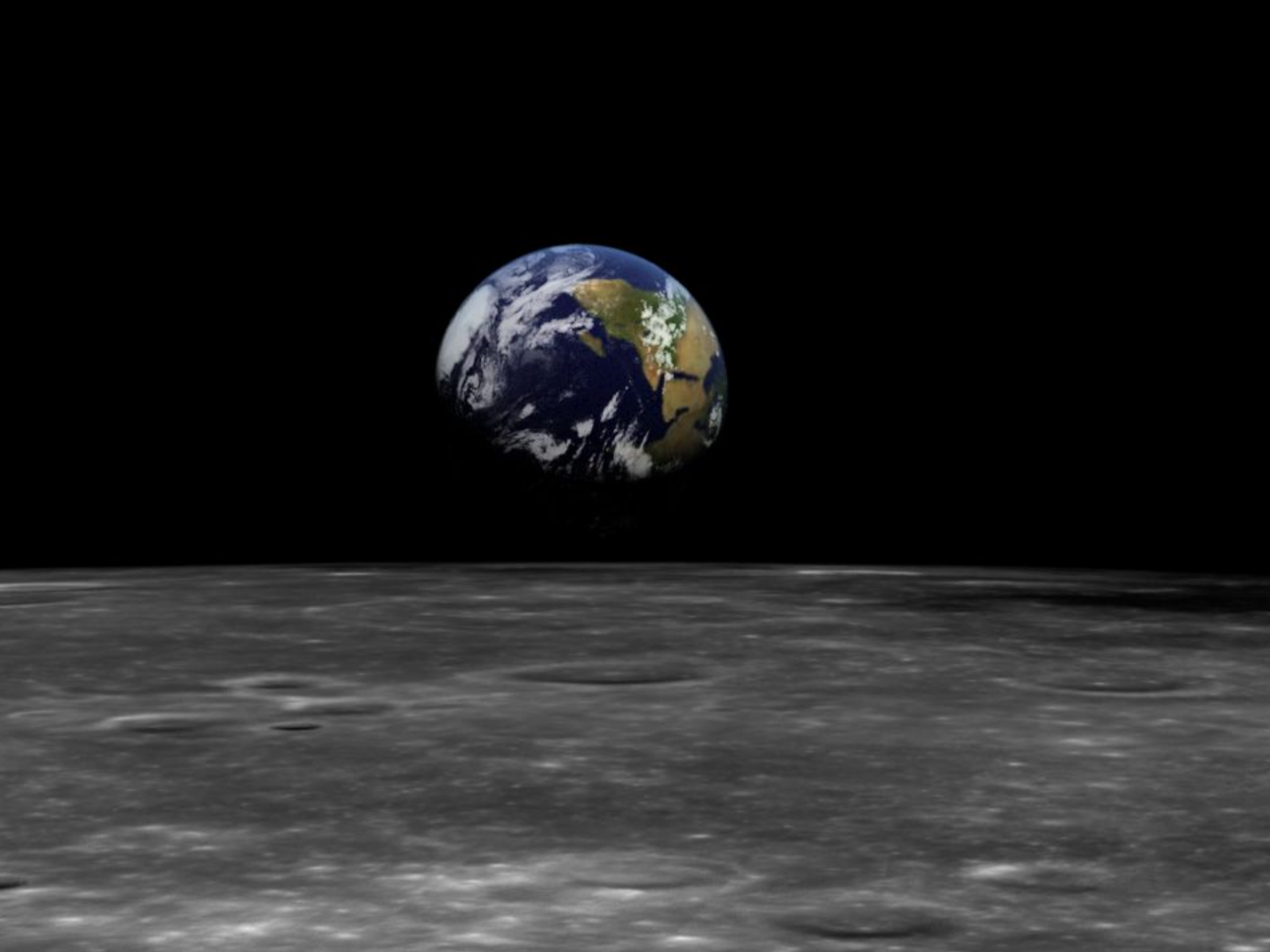


Chivian et al., 2008. Science. Vol. 322 (5899): 275-278

**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»**

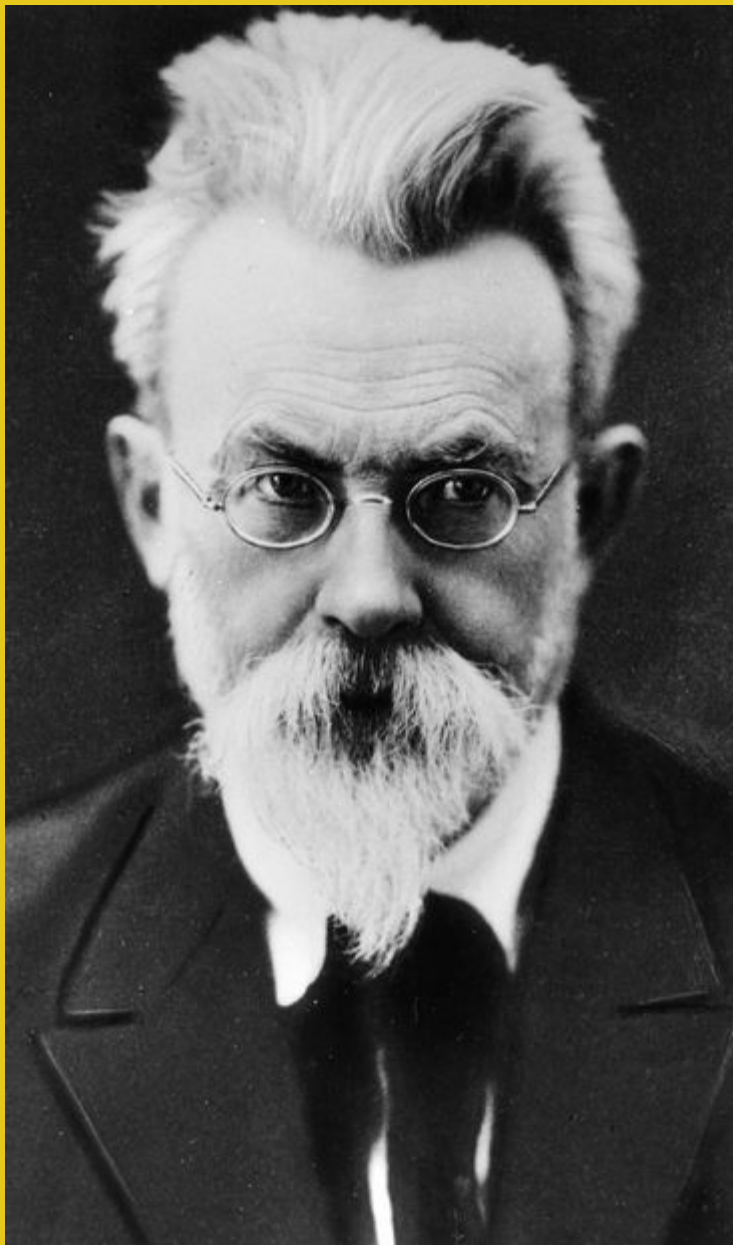


Согласно Зюссу биосфера - одна из «оболочек» Земли, - та, в которой протекает жизнь

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*

Акад. В. И. ВЕРНАДСКИЙ

*Биосфера  
IV.44*

# БИОСФЕРА

I-II.

---

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

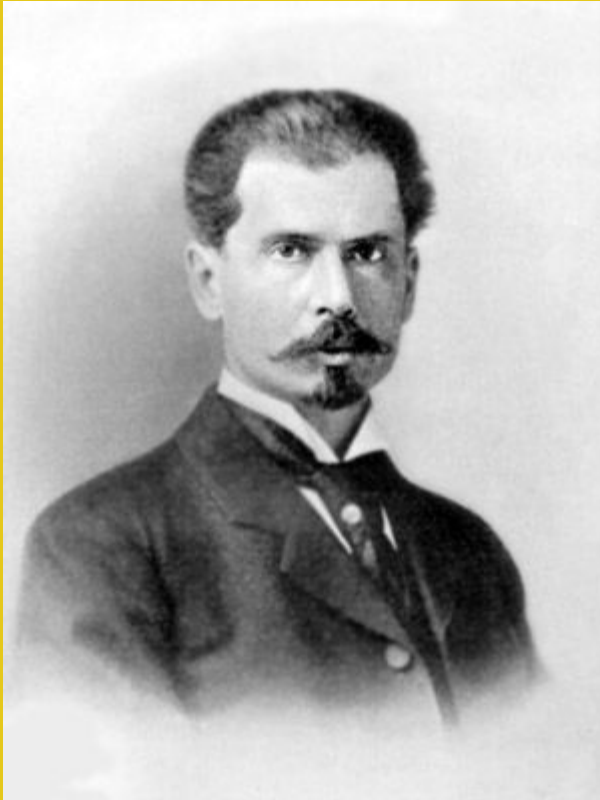
НО.

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**

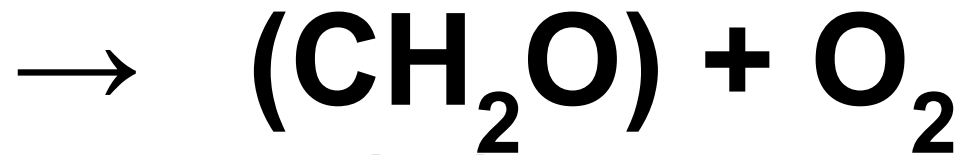
**присутствуют всегда:**

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

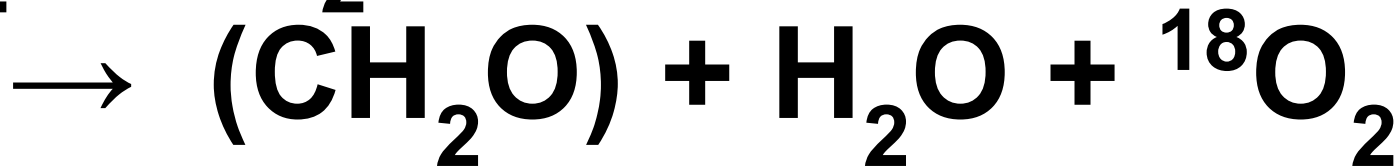
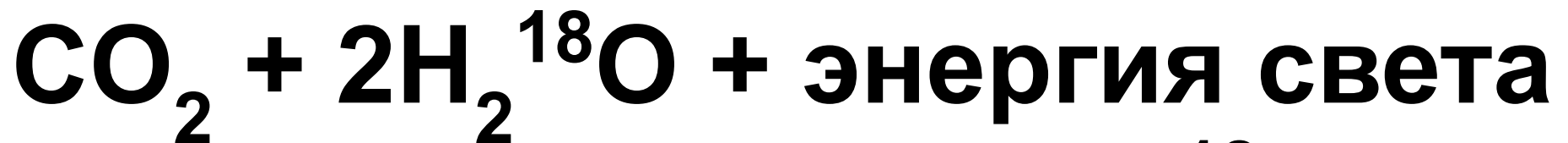
C H N O P S

**1. Все, кроме фосфора, могут образовывать летучие соединения**

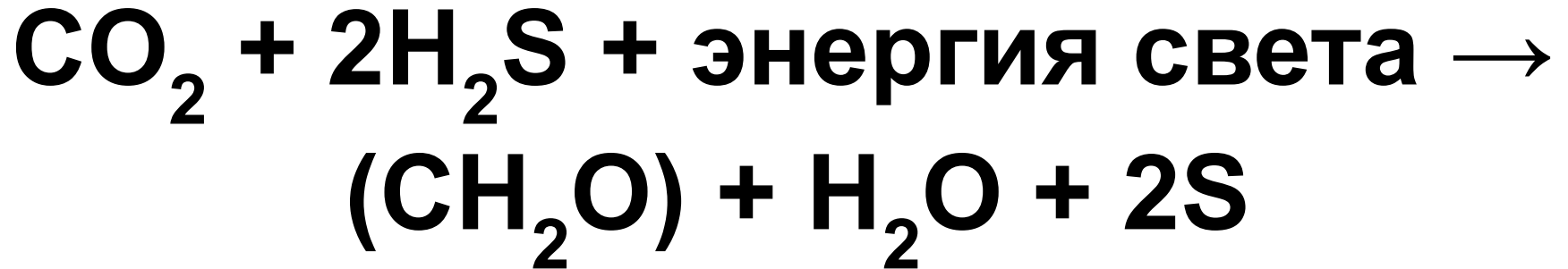
**2. Более 99% вещества организмов приходится только на четыре элемента: водород, углерод, азот и кислород**



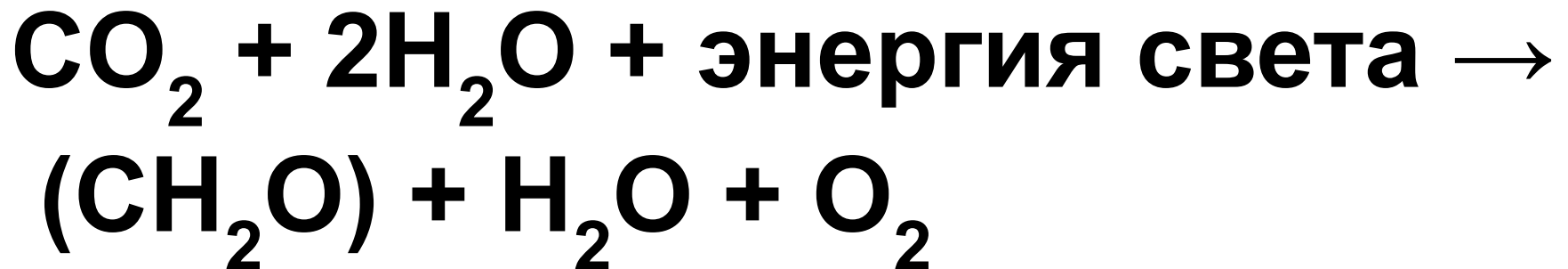
где  $(\text{CH}_2\text{O})$  – обобщенная формула углеводов



**Аноксигенный фотосинтез:**



**Оксигенный фотосинтез:**



# Дыхание:



# Фотосинтез:



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

<b>Вся литосфера</b>	<b>&gt; 75 000 000</b>
<b>Вся гидросфера (океаны)</b>	<b>38 400</b>
<b>Атмосфера ( CO<sub>2</sub> )</b>	<b>720</b>
<b>Масса живых организмов</b>	<b>600 – 1 000</b>



**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**

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

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

<b>Атмосфера ( CO<sub>2</sub> )</b>	<b>720</b>
<b>Наземная биота (в целом)</b>	<b>1 800 - 2 200</b>
<b>Масса живых организмов</b>	<b>600 – 1 000</b>
<b>Масса отмерших организмов на поверхности земли</b>	<b>1 200</b>