

# **Бактерии в геохимических круговоротах**

## **Круговорот азота**

**М.Б. Вайнштейн**

**21 октября 2019**

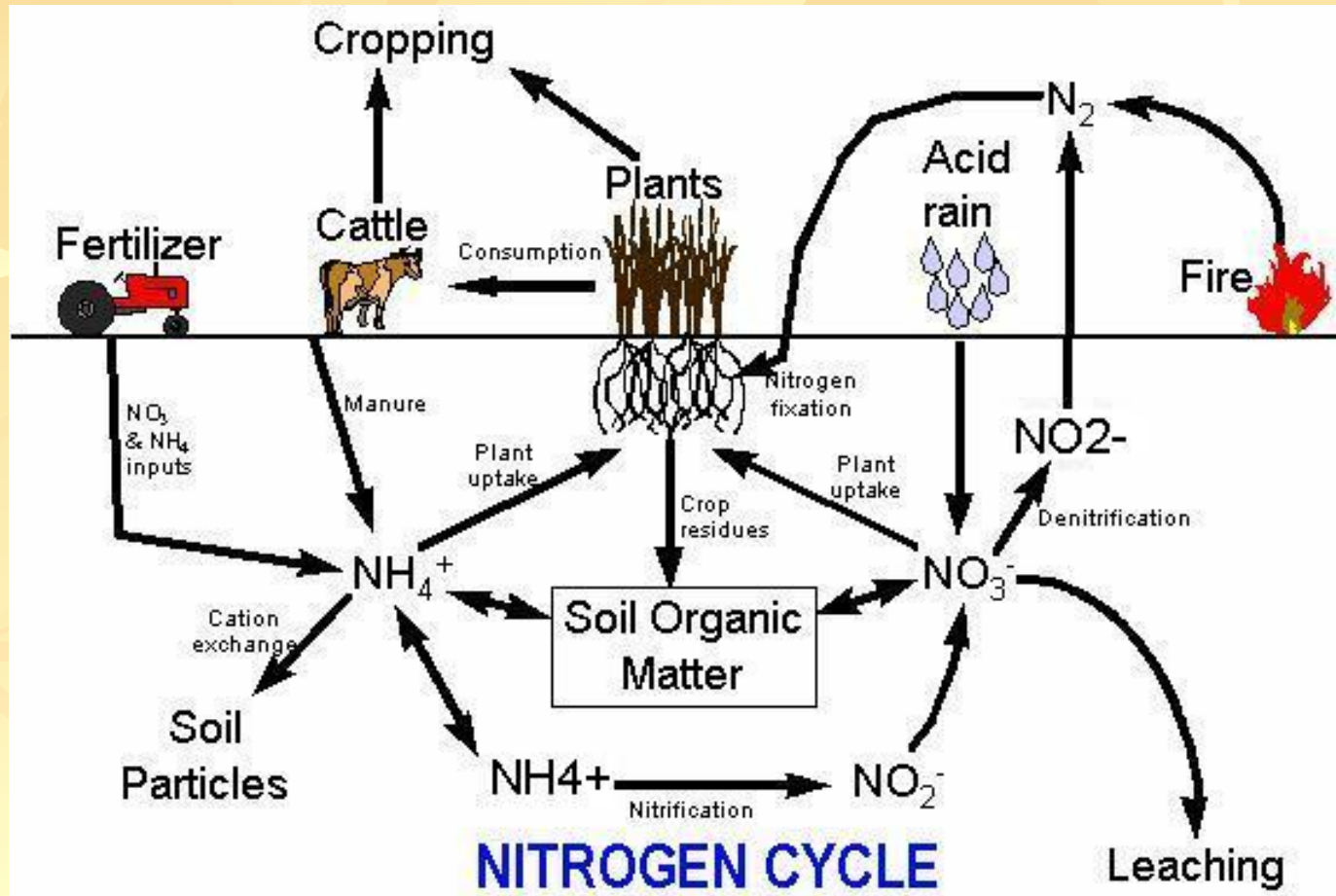
# Атмосферный азот

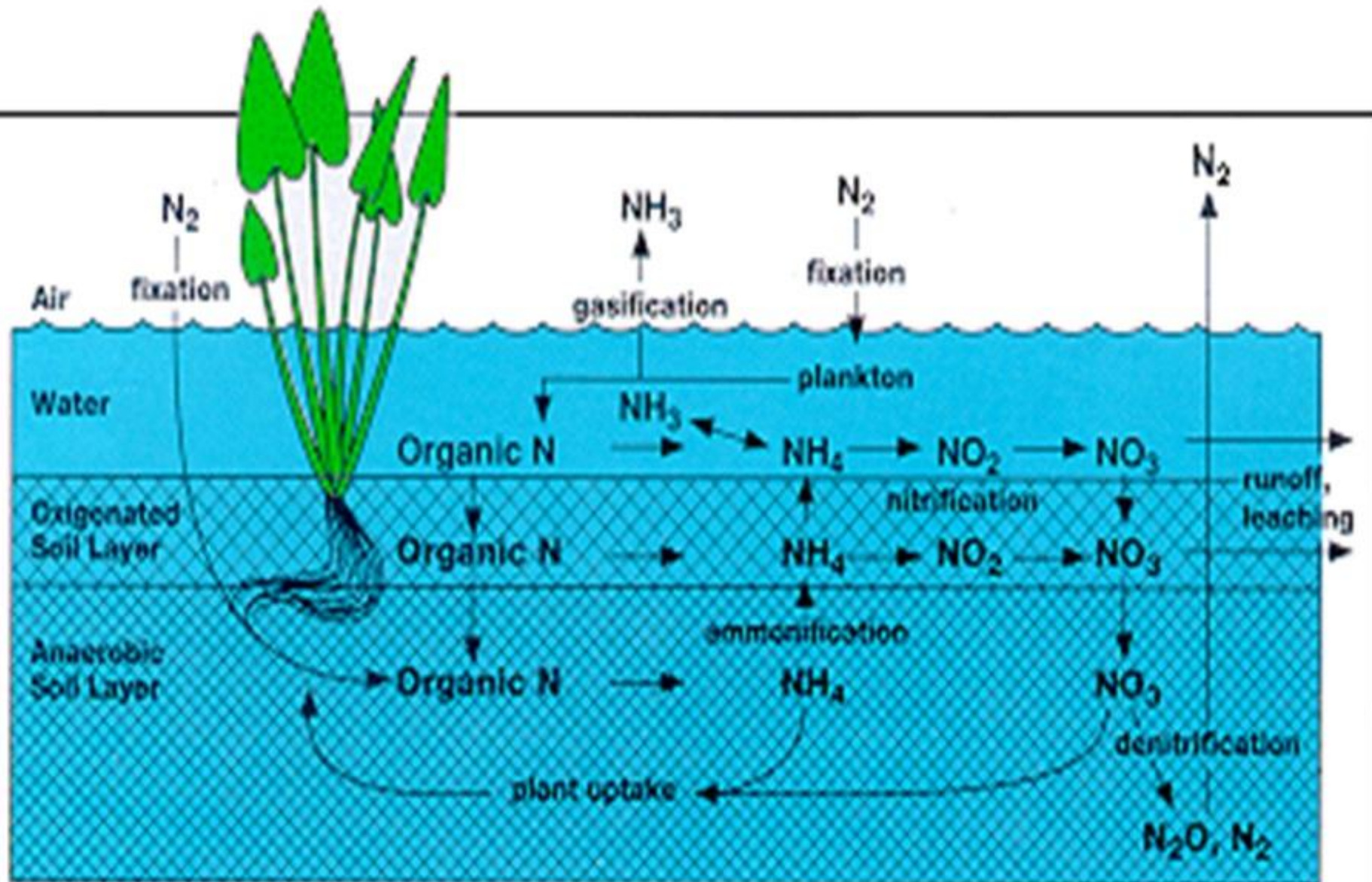
■ 1772 год:

мефитический воздух – Генри Кавендиш  
(для сравнения – Мефи...),

флогистированный воздух – Джозеф Пристли,  
испорченный воздух – Даниэль Резерфорд

Что означает «а-зот»?

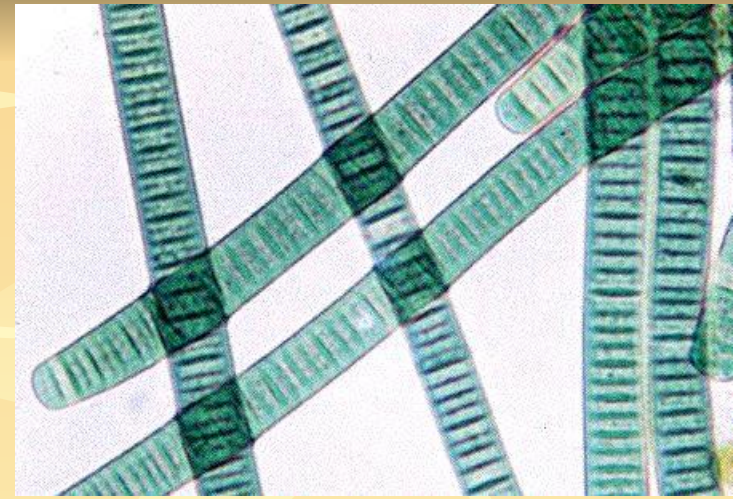




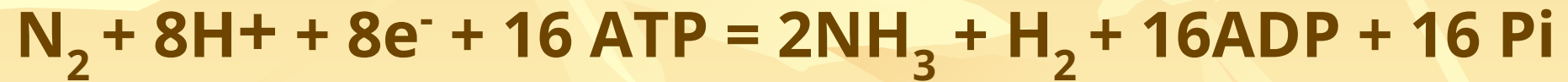
# Этапы круговорота азота

- **Азотфиксация:** из атмосферного азота – в органический (аминокислоты, белки)
- **Аммонификация :** из аминогрупп – в аммоний (минерализация)
- **Нитрификация:** окисление аммония до нитритов и нитратов
- **Денитрификация:** из нитратов - в нитриты, из нитритов – в азот

# Азотфиксация



- Энергетика процесса:



- Цианобактерии, клубеньковые бактерии / актиномицеты, некоторые другие бактерии.

Ферменты, ответственные за действие азота, очень чувствительны к кислороду (нитрогеназа). По этой причине многие бактерии ведут азотфиксацию только в микроаэрофильных условиях. *Azotobacter* начинает «сильнее дышать».

# Скорости азотфиксации

<b>Организмы</b>	<b>Кг N/га-год</b>
<b>Rhizobium (клубеньковые)</b>	<b>200-300</b>
<b>Цианобактерии / лишайники</b>	<b>30-40</b>
<b>Ризосферные бактерии</b>	<b>2-25</b>
<b>Свободноживущие бактерии</b>	<b>1-2</b>

Методы измерения: весовые, по включению радиоактивного маркера  $^{15}\text{N}$ , по ацетилен-редукции.

# Включение неорганического азота в органический

- Азот в биомассе (клеток) ~ 2,5%.
- Как рассчитывать состав питательных сред - ?
- Чилийская селитра в Атакаме – Жан Батист Буссенго в 1822 году по поручению английского горного общества уехал в Южную Америку, где за неимением соответствующий должности на протяжении нескольких лет в составе армии генерала Симона Боливара получил чин офицера и дослужился до полковника.

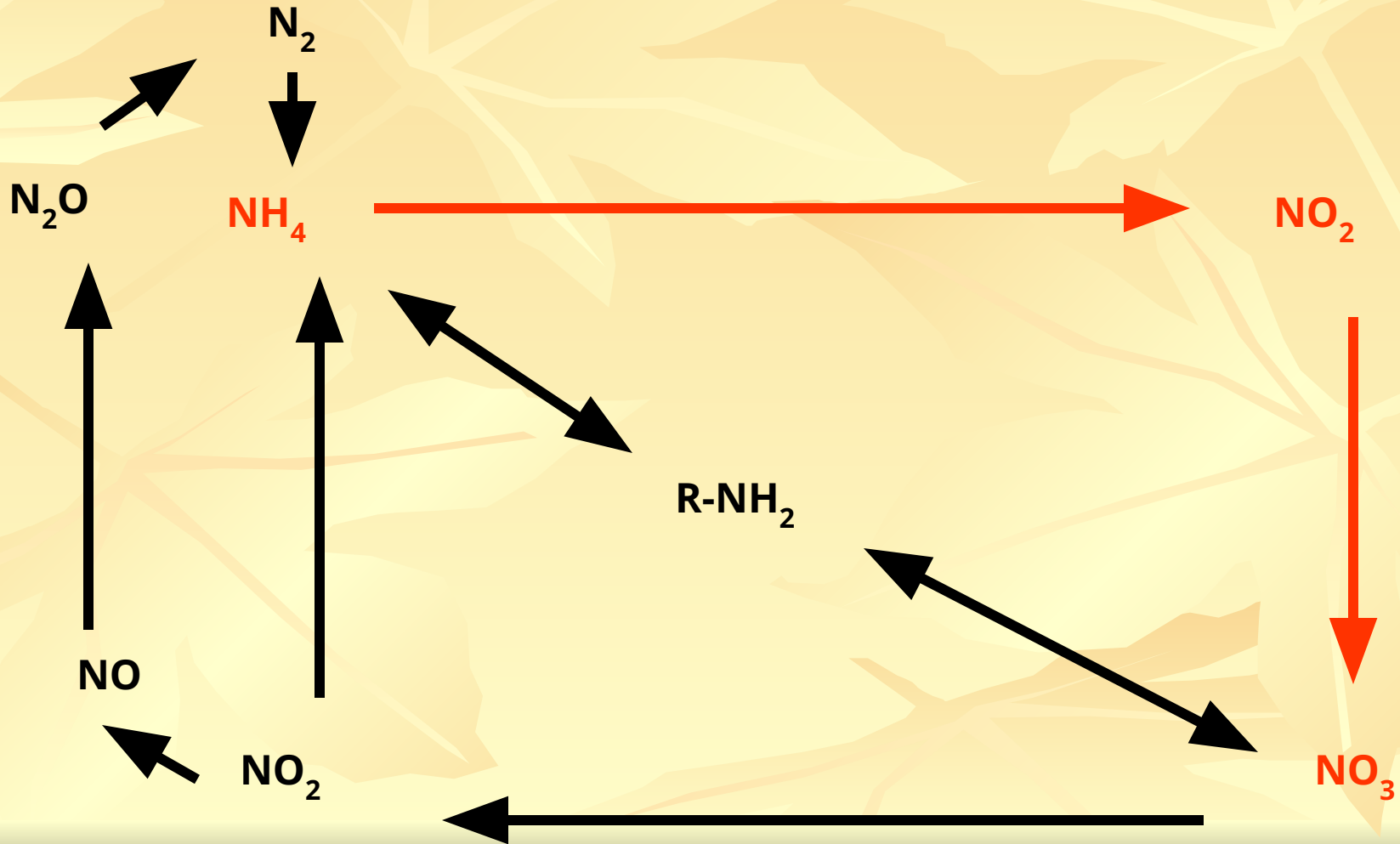


**Закон о гуАно (Guano Act или Guano Islands Act) — федеральный закон США (1856), позволявший завладевать островами с залежами гуАно вне юрисдикции других государств и не имеющими законных владельцев.**

**Закон также наделял президента США правом использования военной силы для защиты интересов граждан США по отношению к содержащим залежи гуано островам.**

**Процесс Габера–Боша. Проблема связанного азота в промышленных масштабах была решена, за что в 1918 году Габер он был удостоен Нобелевской премии по химии.**

# Нитрификация (красные стрелки)



# Нитрификация

Два этапа окисления аммонийной группы – по отдельности или вместе:

- 1-й этап – до нитритов (например, у *Nitrosomonas*)



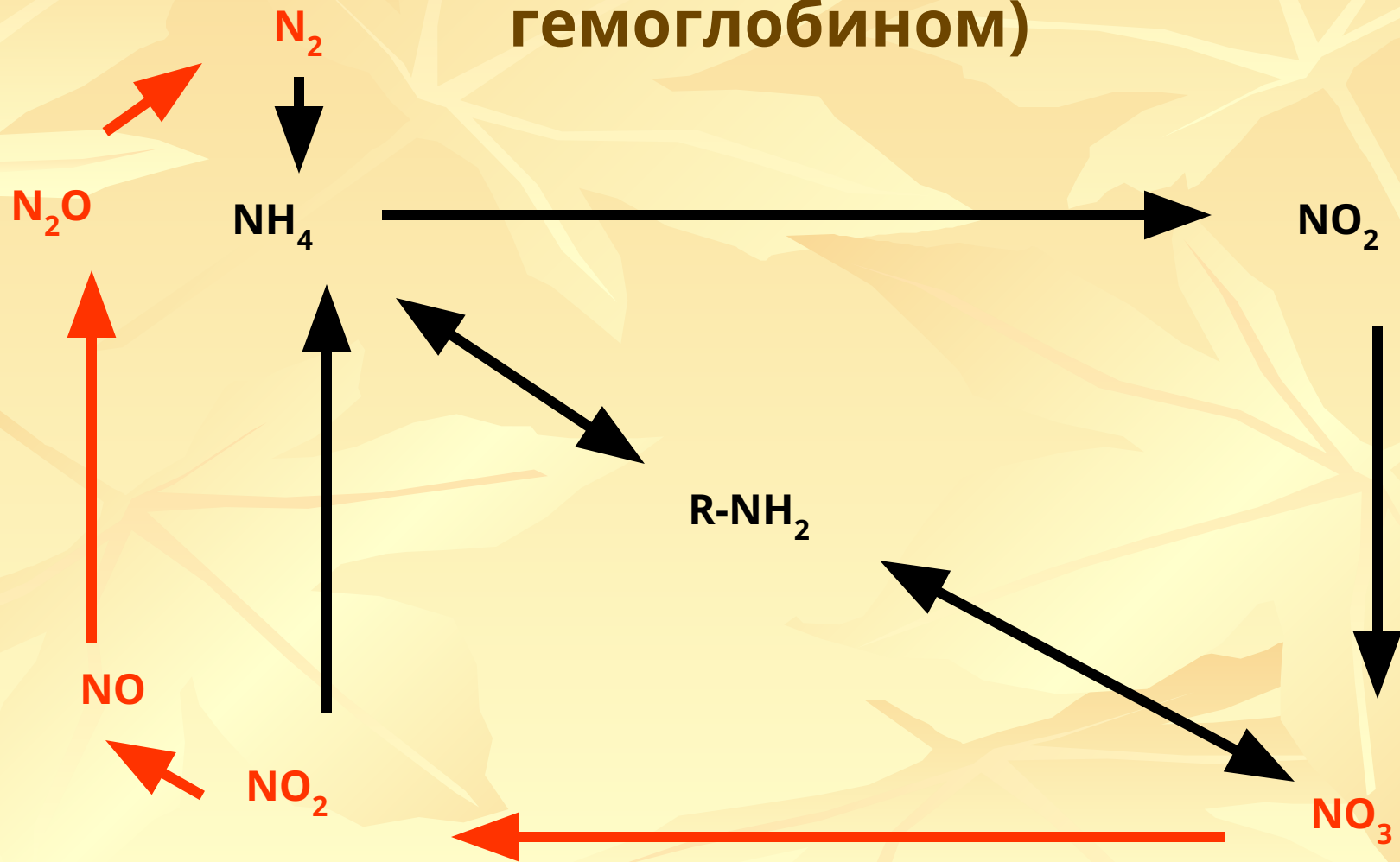
- 2-й этап – до нитратов (например, у *Nitrobacter*)



## **Автотрофная (бактерии) и гетротрофная (бактерии и грибы) нитрификация**

- **«Мы шли вдоль бесконечных стен, где в нишах сложены были скелеты вперемежку с бочонками и большими бочками. Наконец мы достигли самых дальних тайников подземелья. Я вновь остановился и на этот раз позволил себе схватить Фортунато за руку повыше локтя. -- Селитра! -- сказал я. -- Посмотрите, ее становится все больше. Она, как мох, свисает со сводов.» (Э. По)**
- **Автотрофные бактерии росли на кирпичной кладке, используя в качестве источников азота и CO<sub>2</sub> газы от разлагающегося органического вещества.**

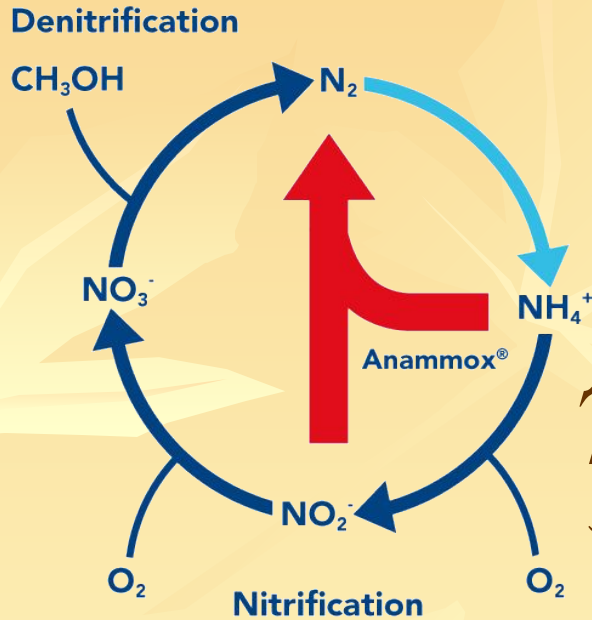
# Денитрификация (напоминание истории про сырокопченую колбасу – реакция добавляемого нитрита с гемоглобином)



# Денитрификация

- $4\text{NO}_3^- + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
- Подавляется присутствием другого окислителя – кислорода,  $\text{O}_2$

# Nitrogen Cycle



# Анаммокс

**anaerobic ammonium**



*Д. А. Сикейрос «Меня называли лихим полковником. (Воспоминания)». Эпизод с клубникой в Париже.*

**Diego Paredes** Diego Paredes, **Peter Kusch** et al.

“Influence of plants and organic matter on the nitrogen removal in laboratory -scale model subsurface flow constructed wetlands inoculated with anaerobic ammonium oxidizing bacteria” *Engineering in Life Sciences*. 2007. V. 7 (6): 565 – 576.

# Umweltforschungszentrum GmbH, Leipzig, Germany

