

# Лекция 8

Тема: «Роль микроорганизмов в круговоротах азота, серы, фосфора, железа».

# Вопросы:

1. Роль микроорганизмов в круговороте азота.
2. Круговорот серы.
3. Круговорот фосфора.
4. Превращение соединений железа.

**Важнейшее свойство азота** –  
выраженная *поливалентность*. Это  
свойство имеет важное значение для  
биогеохимических процессов. Переводя  
азот из одной формы в другую, меняя в  
разных условиях его валентность,  
микроорганизмы получают энергию для  
своей жизнедеятельности. Кроме того,  
азот является необходимой составной  
частью белков.

Относительный дефицит связанного азота на поверхности Земли при огромных запасах его в атмосфере предполагает наличие определённого этапа в круговороте азота в природе. Этот этап называется «азотфиксация», осуществляется только азотфиксирующими бактериями.

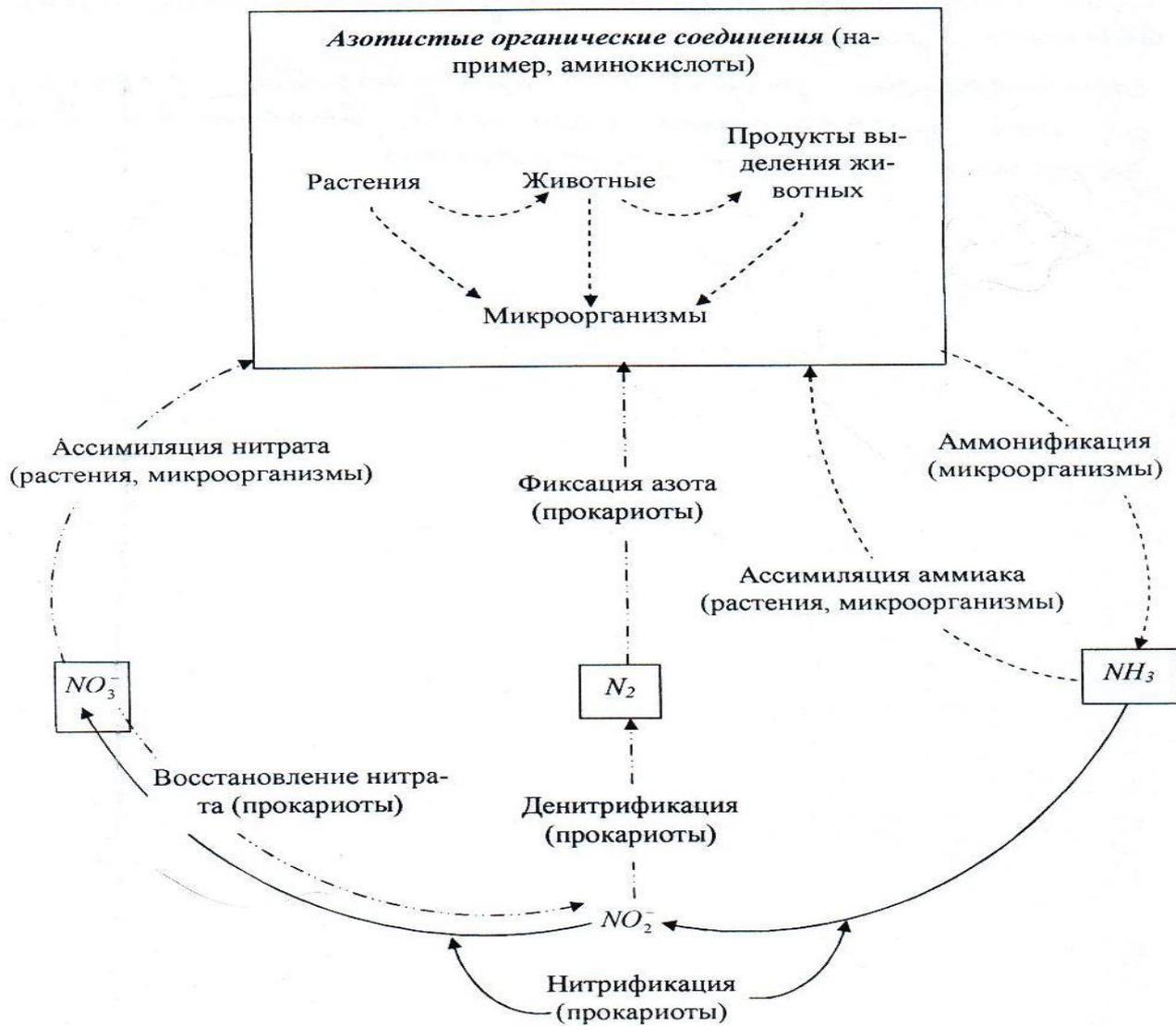


Рисунок 1 – Круговорот азота. Окисление азота показано сплошными стрелками, восстановление – точечными, а реакции без изменения валентности – пунктирными стрелками

Биологическая фиксация азота в природе осуществляется свободноживущими бактериями (**несимбиотическая фиксация азота**) и бактериями, осуществляющими ее в сообществе с растениями (**симбиотическая фиксация азота**). Симбиотическую фиксацию азота осуществляют бактерии рода *Rhizobium*, внедряющиеся в корневые волоски бобовых растений и развивающиеся в образованных на корнях клубеньках, где и происходит фиксация азота. Симбиотическая фиксация азота осуществляется также актиномицетами рода *Frankia* и цианобактериями *Anabaena azollae*, *Nostoc punctiforme*.

ТАБЛИЦА 1 - ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ СИСТЕМ

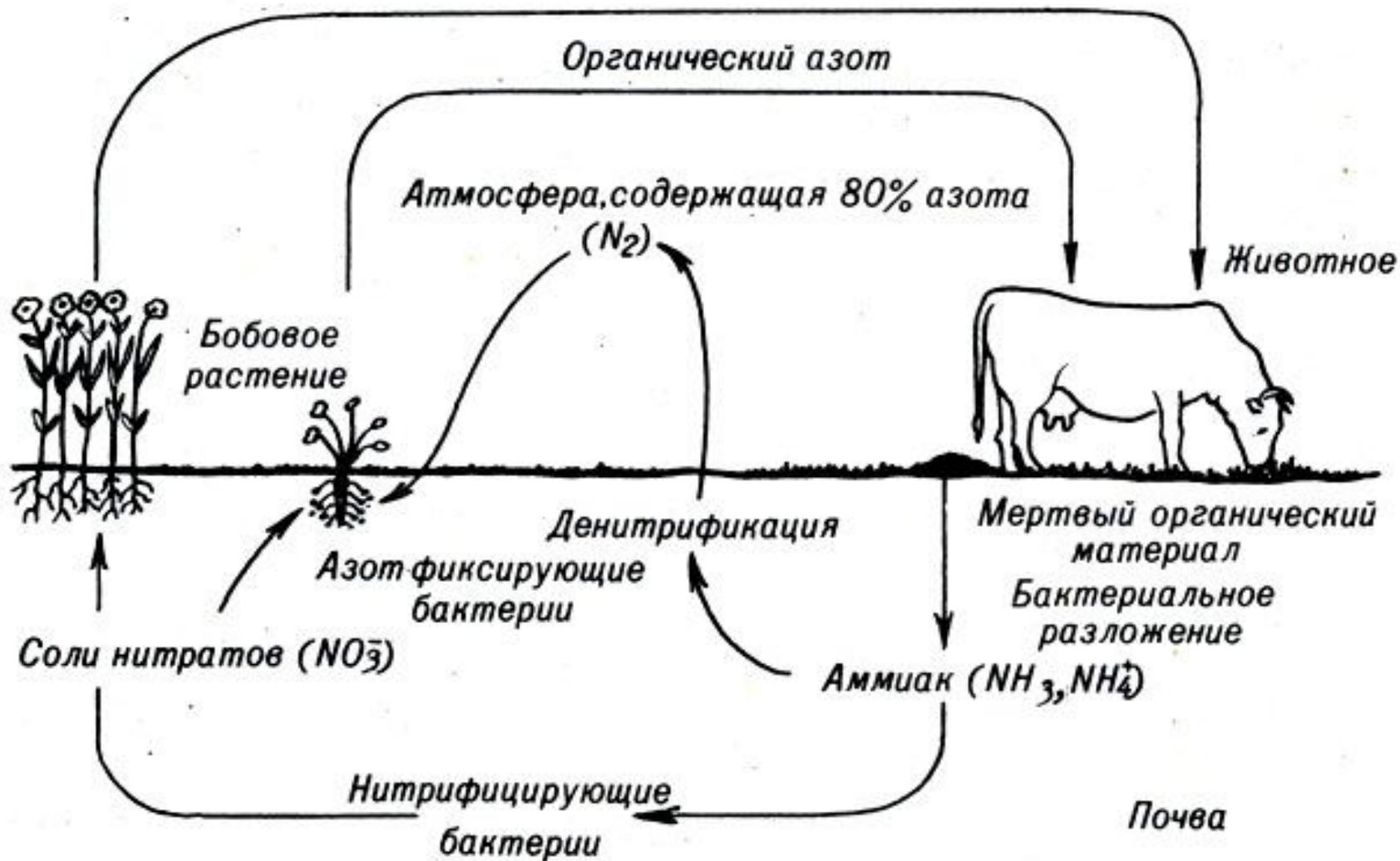
Организм или система	Количество фиксированного азота, кг/ (га·год)
Симбиотические	
Люцерна: <i>Rhizobium</i>	>296
Клевер: <i>Rhizobium</i>	247
Люпин: <i>Rhizobium</i>	148
Несимбиотические	
Цианобактерии	25
<i>Azotobacter</i> spp.	0,29
<i>Clostridium pasteurianum</i>	0,25

Биологическая фиксация азота стала предметом интенсивного исследования, чему способствовали следующие причины:

- проблема фиксированного азота имеет чрезвычайную важность для сельского хозяйства, в современном мире происходит продовольственный кризис;
- производство азотных удобрений требует больших энергетических затрат.



Рисунок 2 – Схема превращения азота



Нитрификация происходит в два этапа:  
**на первом**- аммиак окисляется до нитрита,  
**на втором**- нитрит окисляется до нитрата.

В результате деятельности бактерий аммиак, освобождающийся в процессе минерализации органического вещества, быстро окисляется в *нитрат*. Таким образом, *нитрат* -основное азотистое вещество почвы, используемое растениями в процессе роста.

В анаэробных условиях многие аэробные бактерии вместо кислорода могут использовать нитрат в качестве конечного акцептора электронов, с образованием молекулярного азота. Этот процесс называется **денитрификация** (**диссимиляционная нитратредукция**), или **«нитратное дыхание»**, так как в данном случае роль нитрата в качестве окислителя аналогична роли молекулярного кислорода при аэробном дыхании.

**Ассимиляционная нитратредукция** характерна для большинства микроорганизмов и для растений. Нитрат служит источником азота для построения клеточных компонентов.

**Денитрификация**- процесс, имеющий большое экологическое значение. Он лишает почву необходимого для растений азота, снижая за счет этого продуктивность сельского хозяйства.

Таблица 2 - Миграция масс азота в биосфере

Процессы массообмена	Масса 10 <sup>6</sup> т/год
<i>Мировая суша</i>	
Круговорот высших растений (фотосинтез – деструкция органического вещества)	3400*
Бактериальный круговорот:	
Азотфиксация	40-200
Денитрификация	от 40– 50 до 350–
Круговорот азота с участием животных	400
Поступление в атмосферу при пожарах	90-190
леса	10-200
Вымывание из атмосферы	50
Вынос с речным стоком	24-61
Дегазация из недр Земли	1-9
<i>Океан</i>	
Круговорот фотосинтетиков планктона	6000
Бактериальный круговорот:	
Азотфиксация	1-20
денитрификация	0-330
Вымывание из атмосферы	82
Удаление в осадки	1-9
<i>Техногенный вклад в миграцию масс</i>	
Индустриальная азотфиксация	60
Эмиссия азота в окружающую среду с промышленными и бытовыми отходами	10-20

\* С учетом сельскохозяйственных культур.

**Сера**- необходимый компонент живой материи. Для живых организмов сера доступна в основном в форме растворимых *сульфатов* или *восстановленных органических соединений серы*. В результате микробного метаболизма и частично за счет вулканической деятельности в биосфере встречается также восстановленная сера в виде *сероводорода* ( $H_2S$ ).

Во всех организмах сера представлена главным образом *сульфгидрильными (-SH)* или *сульфидными (-S-S-)* группами метионина, цистеина и гомоцистеина. При анаэробном разложении белков сульфгидрильные группы отщепляются десульфуразами, при этом выделяется сероводород. Наибольшее количество сероводорода образуется при диссимиляционном восстановлении сульфатов (*диссимиляционная сульфат редукция* или «сульфатное дыхание»), осуществляемом облигатными анаэробными бактериями.



Рисунок 3 – Круговорот серы. Окисление атома серы показано сплошными стрелками, восстановление – точечными, а реакции без изменения валентности – пунктирными стрелками

## Ассимиляция сульфатов осуществляется аналогично ассимиляции нитратов:

- сульфаты, как и нитраты, первоначально должны быть восстановлены, так как в живых организмах сера встречается только в восстановленной форме в виде сульфгидрильных (-SH) или дисульфатных (-S-S-) групп;
- живыми организмами ассимилируется ровно столько питательных веществ, содержащих серу и азот, сколько их необходимо для роста организма, поэтому *никакие восстановленные продукты метаболизма серы и азота в окружающую среду не выделяются.*

Образованный в отсутствие молекулярного кислорода **сероводород** может быть окислен анаэробными фототрофными бактериями семейства *Chromatiaceae* до **серы** или до **сульфата**.

В аэробных условиях **сероводород** под действием бесцветных серобактерий окисляется в **сульфат**. Сероводород может также окисляться в присутствии кислорода абиотическим путем. Свободную серу в аэробных условиях могут окислять до сульфата представителя рода *Thiobacillus*.

Образуя большие количества серной кислоты, тиобациллы уменьшают щелочность почвы, переводя **карбонат кальция** в растворимый сульфат кальция, вымываемый из почвы. Таким образом, добавляя в известковые почвы *элементарную серу*, можно бороться с их *избыточным известкованием*

Биологическое окисление сероводорода и элементарной серы осуществляются фотосинтезирующими и хемоавтотрофными бактериями. Оно может происходить **в аэробных условиях под воздействием бесцветных серобактерий** или **в анаэробных условиях с помощью фотосинтезирующих пурпурных и зеленых серобактерий.**

Почвенные бактерии на суше выделяют в атмосферу в виде газов  $5,8 \cdot 10^7$  тонн/год серы, из которых  $1,5 \cdot 10^7$  тонн поглощаются растительностью, а  $4,3 \cdot 10^7$  тонн окисляются в атмосфере до сульфатов и выпадают с атмосферными осадками.

**Фосфор**, как и азот, имеет большое значение в жизнедеятельности организмов. Без фосфора не могут синтезироваться *белки*. Он в большом количестве входит в состав *ядерного вещества и многих ферментов*, *участвует в реакциях фосфорилирования*. Некоторые фосфорорганические компоненты-носители больших запасов энергии (*нуклеиновые кислоты, липиды*).

Фосфор встречается в живых организмах только в пятивалентном состоянии в виде свободных фосфатных ионов ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) или в виде органических фосфатных соединений клетки. *Живые клетки не способны поглощать большинство органических фосфорсодержащих соединений.* Их потребности в фосфоре удовлетворяются в результате поглощения фосфатных ионов, из которых внутри клетки синтезируются органические фосфорсодержащие соединения.

Фосфаты доступны для высших организмов( растений, животных) благодаря непрерывному переводу нерастворимых фосфатных соединений в растворимые. В этом процессе микроорганизмам принадлежит ведущая роль.

Из разных фосфорпреобразующих микроорганизмов наибольший практический интерес представляют спорообразующие виды, так как они используются для приготовления бактериального удобрения «Фосфоробактерина». Их относят к виду *B. megaterium* var. *phosphaticum*. Это крупная палочка с закругленными концами, плотной клеточной стенкой и зернистой цитоплазмой. В ранней стадии развития клетки расположены поодиночке и слабоподвижны.

## *Thiobacillus ferrooxidans*

Грамотрицательные палочки, оптимум pH питательной среды- 1,8-3,5 ед. pH.

Оптимум температуры выращивания- 20-30<sup>0</sup>С.

Источник углерода- CO<sub>2</sub> (автотроф).

Источник энергии- окисление закисного железа и сульфидов различных металлов.

Схема окисления закисного железа:

