

# Круговороты энергии и веществ

## Круговорот углерода

# Круговорот углерода

- Углерод является основным «строительным материалом» молекул углеводов, жиров, белков, нуклеиновых кислот (таких, как ДНК) и других важных, для жизни органических соединений. Большинство наземных растений получают необходимый им углерод, поглощая через поры в своих листьях углекислый газ из атмосферы, концентрация которого там составляет 0,04%.

# Круговорот углерода

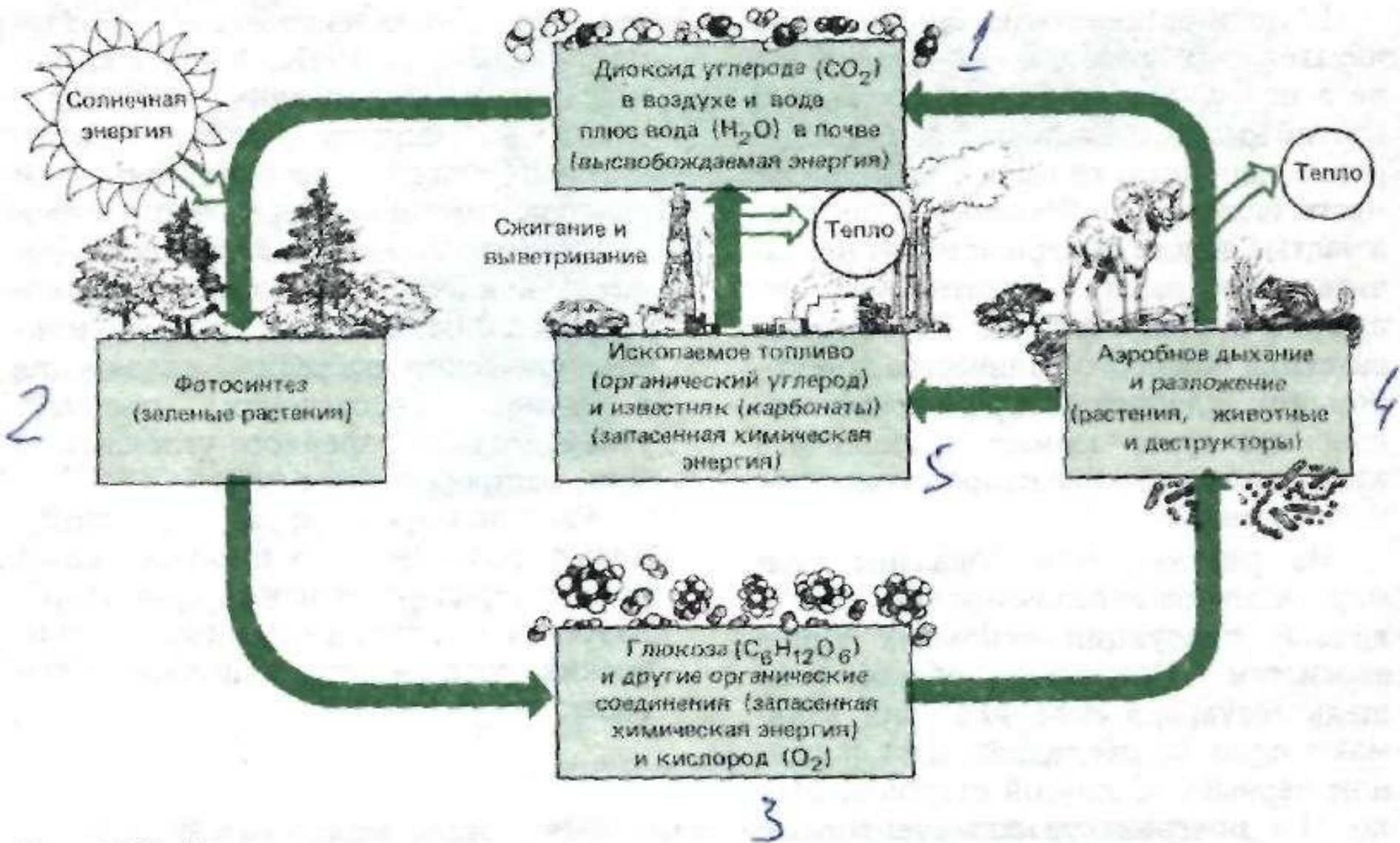
- Фитопланктон (микроскопические растения, плавающие в водных экосистемах) получает углерод из атмосферного углекислого газа, растворенного в воде.
- Растения-продуценты осуществляют фотосинтез, в процессе которого углерод углекислого газа преобразуется в углерод сложных органических соединений, например глюкозы:

# Круговорот углерода

- углекислый газ + вода + солнечная энергия  
= глюкоза + кислород
- Затем в клетках кислородопотребляющих растений, животных и редуцентов происходит процесс клеточного дыхания, при котором глюкоза и другие сложные органические соединения расщепляются и преобразуют углерод обратно в углекислый газ для повторного использования продуцентами

# Круговорот углерода

- глюкоза + кислород = углекислый газ + вода + энергия
- Такая связь между фотосинтезом и аэробным дыханием заставляет углерод циркулировать внутри экосистемы, что составляет важнейшее звено круговорота углерода



**Рис. 4-20.** Упрощенная диаграмма части углеродного цикла, показывающая круговорот вещества (закрашенные стрелки) и однонаправленный поток энергии (незакрашенные стрелки) в процессах фотосинтеза и аэробного дыхания. Этот круговорот вещества в экосистемах и в экосфере является также важным элементом кислородного и водородного циклов.

# Вмешательство человека в круговорот углерода

- Сведение лесов и другой растительности без достаточных лесовосстановительных работ, в связи с чем уменьшается общее количество растительности, способной поглощать  $\text{CO}_2$ . Кроме того, дополнительные количества углекислого газа поступают в атмосферу при разложении порубочных остатков на лесосеках и при взаимодействии атмосферного кислорода с корнями и органикой из нарушенного почвенного покрова.

# Вмешательство человека в круговорот углерода

- Сжигание углеродсодержащих ископаемых видов топлива и древесины. Образующийся при этом углекислый газ попадает в атмосферу. Ученые предсказывают, что этот углекислый газ вместе с другими летучими техногенными выбросами может в ближайшие десятилетия вызвать потепление земной атмосферы и тем самым нарушить процесс производства продуктов питания на планете.



# Круговорот азота

- Организмы нуждаются в различных химических формах азота для образования белков и генетически важных нуклеиновых кислот типа ДНК. Большинству зеленых растений требуется азот в форме нитрат-ионов ( $\text{NO}_3^-$ ) и ионов аммония ( $\text{NH}_4^+$ ).

# Круговорот азота

- Газообразный азот ( $N_2$ ), составляющий 78% объема земной атмосферы, большинством организмов не может быть использован непосредственно. Газообразный азот может преобразовываться в растворимые в воде соединения, содержащие нитрат-ионы и ионы аммония, усваиваемые корнями растений, в процессе **круговорота азота**.

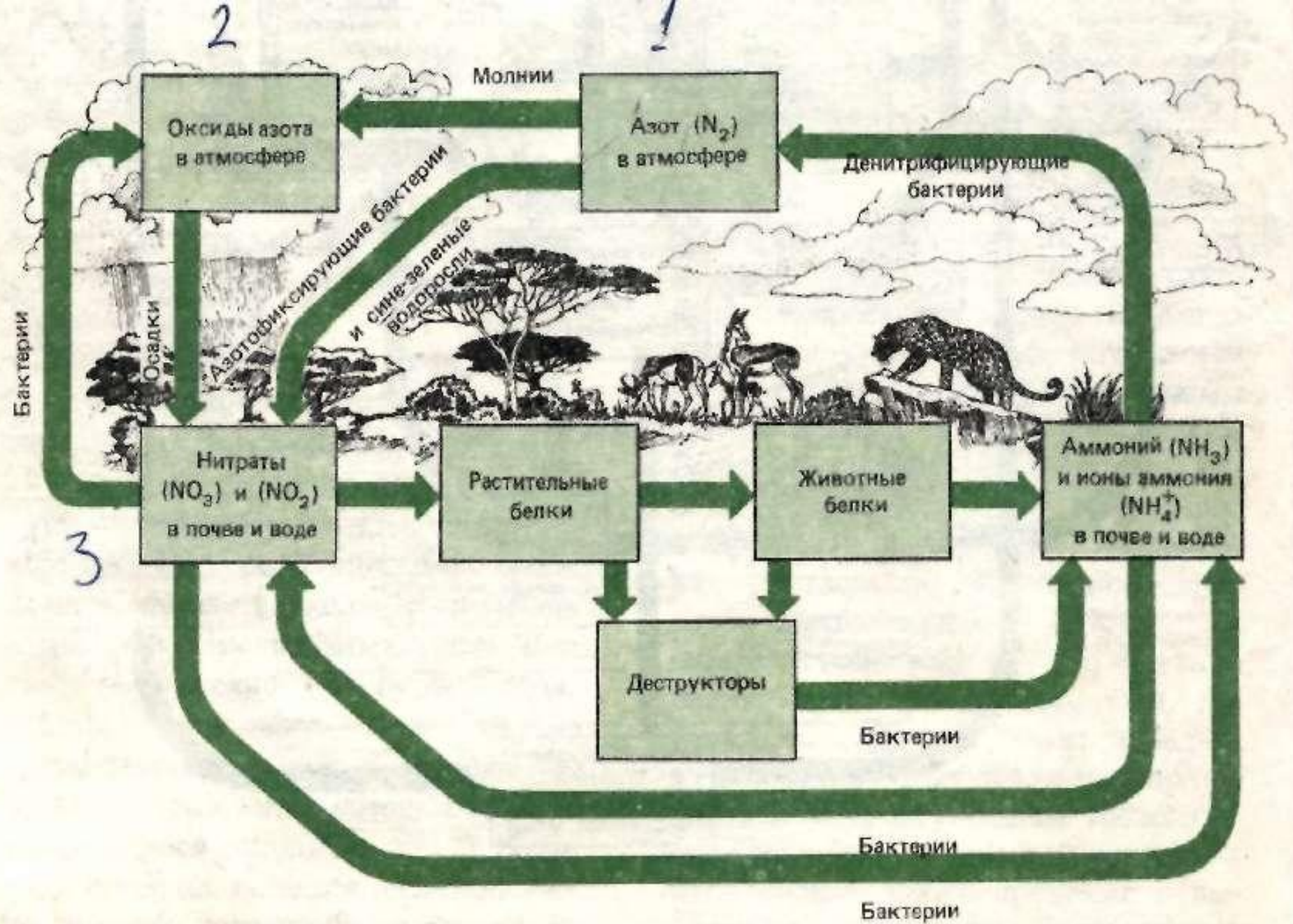


Рис. 4-22. Упрощенная диаграмма круговорота азота.

# Круговорот азота

Преобразование атмосферного газообразного азота в усваиваемые растениями химические формы называется **фиксацией азота**.

- Осуществляется она в основном либо синезелеными водорослями и определенными видами бактерий в почве и воде, либо бактериями из рода *Rhizobium*, обитающими в небольших клубеньках на корнях люцерны, клевера, гороха, фасоли и других бобовых растений.

# Круговорот азота

- Определенный вклад в фиксацию азота вносят грозовые разряды молний, при которых газообразные азот и кислород в атмосфере превращаются в оксид и диоксид азота. Эти газы взаимодействуют с водяным паром и преобразуются в нитрат-ионы, которые попадают на земную поверхность в форме азотной кислоты, растворенной в атмосферных осадках, и в форме частиц нитратных солей.

# Вмешательство человека в круговорот азота

- Сжигание древесины или ископаемого топлива, при котором в атмосферу выбрасываются большие количества оксида азота ( $\text{NO}$ ). Оксид азота затем соединяется в атмосфере с кислородом и образует диоксид азота ( $\text{NO}_2$ ), который при взаимодействии с водяным паром может образовывать азотную кислоту ( $\text{HNO}_3$ ). Эта кислота становится компонентом кислотных осадков, наносящих вред лесам и убивающих рыбу в озерах многих районов мира.

# Вмешательство человека в круговорот азота

- - Воздействие некоторых бактерий на удобрения и отходы животноводства приводит к выделению в атмосферу «парникового» газа — закиси азота ( $N_2O$ ).
- - Добыча полезных ископаемых, содержащих нитрат-ионы и ионы аммония, для производства минеральных удобрений.
- - Вынос из почвы нитрат-ионов и ионов аммония при сборе урожая сельскохозяйственных культур с высоким содержанием азота.

# Вмешательство человека в круговорот азота

- Увеличение количества нитрат-ионов и ионов аммония в водных экосистемах при попадании в них загрязненных стоков с животноводческих ферм, смытых с полей азотных удобрений, а также очищенных и неочищенных коммунально-бытовых канализационных стоков. Создаваемый таким образом избыток питательных веществ способствует быстрому росту водорослей и других водных растений. Для разложения отмерших водорослей аэробными редуцентами расходуется растворенный в воде кислород, что приводит к массовым заморам рыб.



# Круговорот фосфора

- Фосфор главным образом в виде фосфат-ионов ( $\text{PO}_4$ )<sup>3-</sup> и ( $\text{HPO}_4$ )<sup>2-</sup> является важным питательным элементом как для растений, так и для животных. Он входит в состав молекул ДНК, несущих генетическую информацию; молекул, в которых запасается необходимая для организмов химическая энергия, используемая при клеточном дыхании; молекул жиров, образующих клеточные мембраны в растительных и животных клетках; а также веществ, входящих в состав костей и зубов животных.

Геологический взброс (млн. лет)

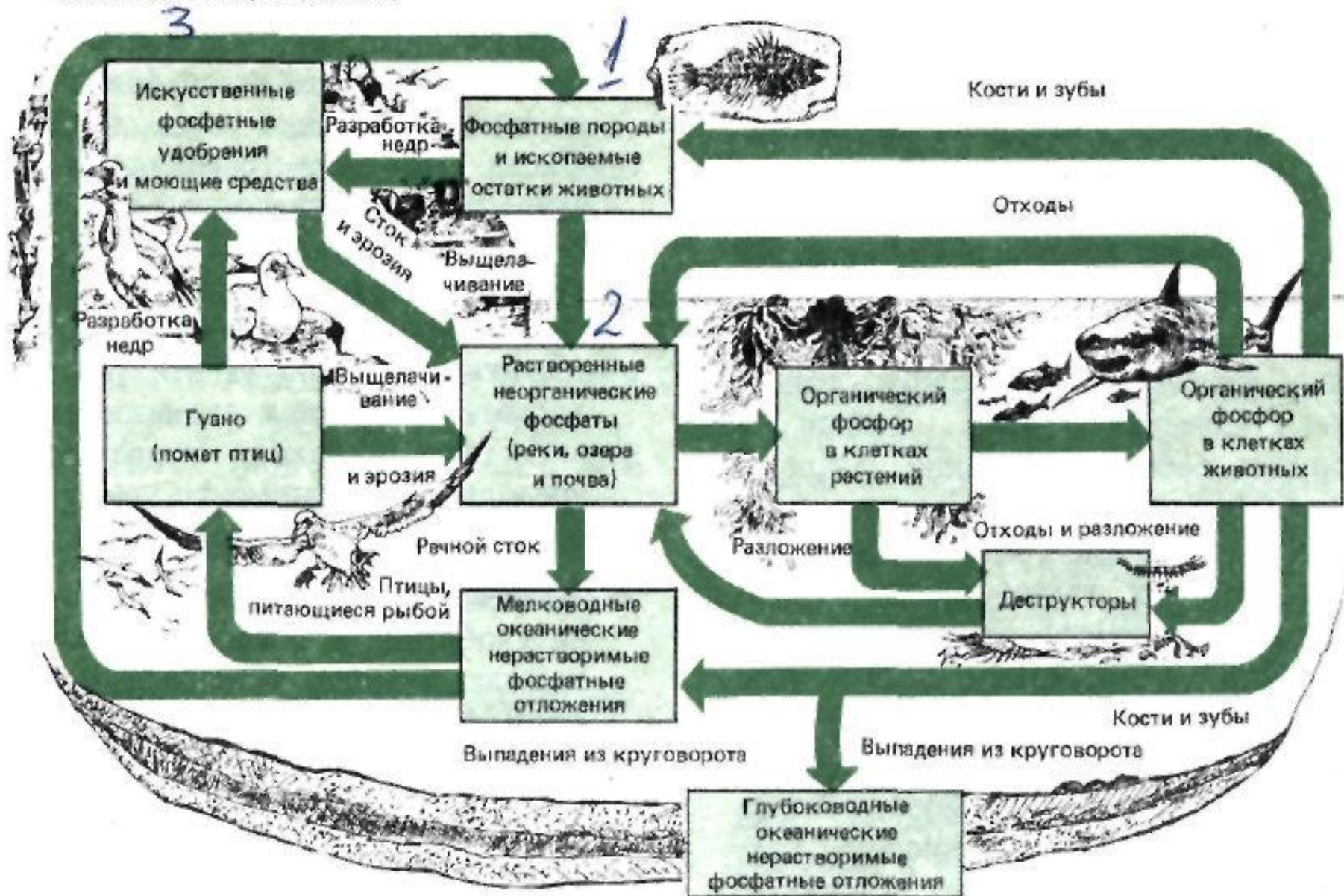


Рис. 4-23. Упрощенная диаграмма круговорота фосфора.

# Круговорот фосфора

- Фосфор, высвобождаемый при медленном разрушении (или выветривании) фосфатных руд, растворяется почвенной влагой и поглощается корнями растений. Фосфатные соединения очень плохо растворяются в воде и встречаются лишь в определенных типах горных пород. Во многих почвах и водных экосистемах содержание фосфора является лимитирующим фактором роста растений.

# Круговорот фосфора

- Животные получают необходимый им фосфор, поедая растения или других растительноядных животных. Значительная часть этого фосфора в виде экскрементов животных и продуктов разложения мертвых животных и растений возвращается в почву, в реки и, в конце концов, на дно океана в виде нерастворимых фосфатных осадочных пород.

# Круговорот фосфора

- Часть фосфора возвращается на поверхность суши в виде гуано — обогащенной фосфором органической массы экскрементов питающихся рыбой птиц (пеликанов, олуш, бакланов и т.п.). Однако несравнимо большее количество фосфатов ежегодно смывается с поверхности суши в океан в результате природных процессов и антропогенной деятельности.

# Круговорот фосфора

- Вследствие длящихся миллионы лет геологических процессов могут подниматься и осушаться участки океанического дна, образуя острова или материки. Последующее выветривание обнажившихся горных пород приводит к высвобождению новых количеств фосфора и продолжению круговорота.

# Вмешательство человека в круговорот фосфора

- Добыча больших количеств фосфатных руд для производства минеральных удобрений и моющих средств.
- Увеличение избытка фосфат-ионов в водных экосистемах при попадании в них загрязненных стоков с животноводческих ферм, смытых с полей фосфатных удобрений, а также очищенных и неочищенных коммунально-бытовых стоков.

# Вмешательство человека в круговорот фосфора

Как и в случае с нитрат-ионами и ионами аммония, избыток этих питательных элементов способствует «взрывному» росту синезеленых водорослей и других водных растений, что нарушает жизненное равновесие в водных экосистемах.



# Круговорот серы

- Сера преобразуется в различные соединения и циркулирует в экосфере.
- Из природных источников она попадает в атмосферу в следующем виде: сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ) — бесцветный, сильно ядовитый газ с запахом тухлого яйца — при извержении вулканов, при разложении органических веществ в болотах и затапливаемых приливами низинах;

# Круговорот серы

- — диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ) — бесцветный удушливый газ — при извержении вулканов;
- — частицы сульфатных солей, например сульфата аммония, — из мельчайших брызг океанической воды.

# Круговорот серы

- Около трети всех соединений серы и 99% диоксида серы, попадающих в атмосферу, имеют антропогенное происхождение. Сжигание серосодержащих углей и нефти для производства электроэнергии дает примерно две трети всех антропогенных выбросов диоксида серы в атмосферу. Оставшаяся треть выделяется во время таких технологических процессов, как переработка нефти, выплавка металлов из серосодержащих медных, свинцовых и цинковых руд.

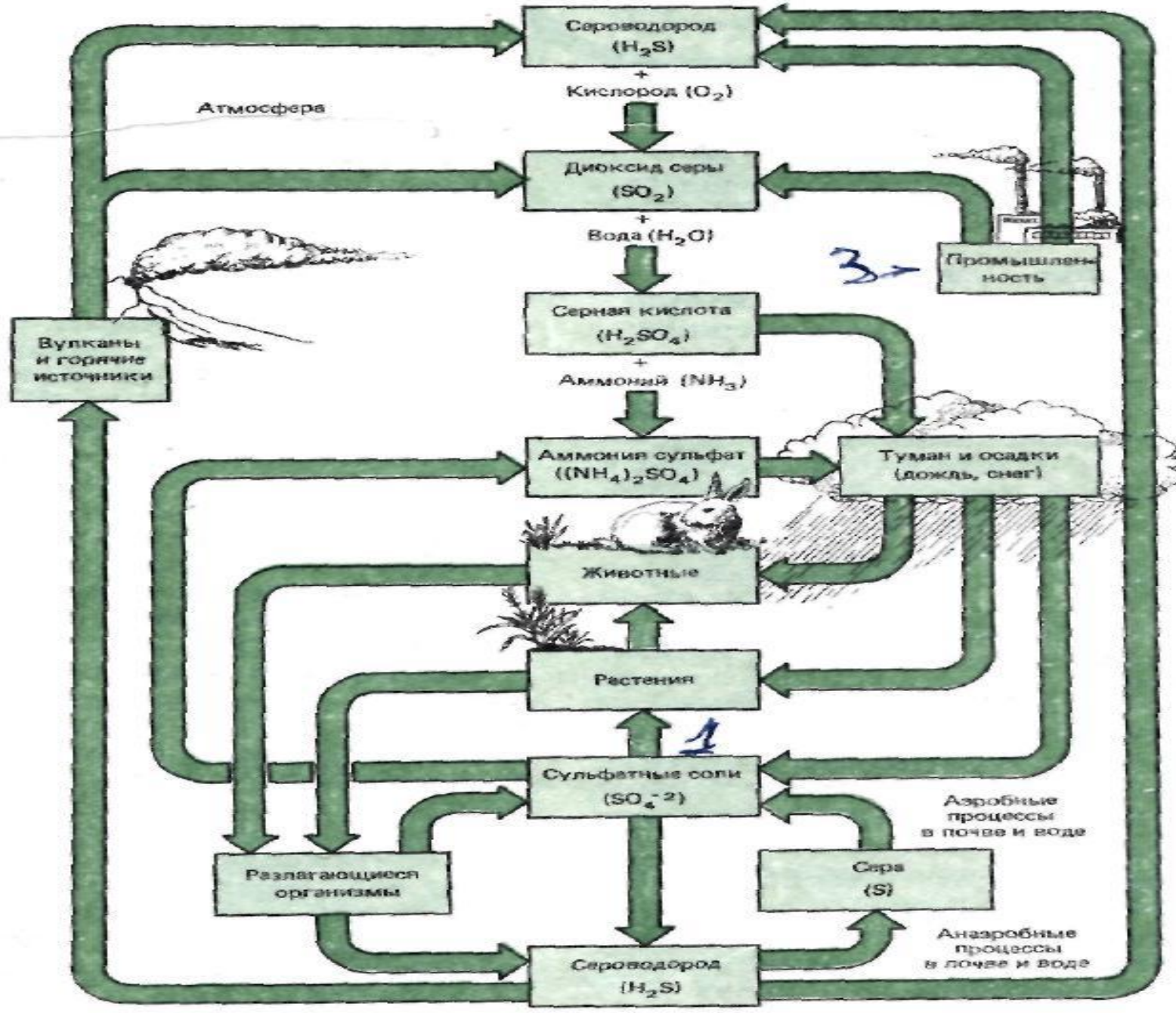


Рис. 4-24. Упрощенная диаграмма круговорота серы.

- В атмосфере диоксид серы окисляется кислородом до газообразного триоксида серы, который в свою очередь при реакции с водяным паром образует мельчайшие капельки серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Взаимодействуя также с другими атмосферными компонентами, триоксид серы может образовывать мельчайшие частицы сульфатных солей. Эти капельки серной кислоты и частицы сульфатов вносят свой вклад в образование кислотных осадков, нарушающих жизнедеятельность лесных и водных экосистем.