

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»

Горнопромышленная экология

Тема

Биогеохимические циклы. Вмешательство человека в круговорот химических элементов

Поисеева Саргылана Иннокентьевна, к.б.н., доцент кафедры
«Техносферная безопасность» Горного института

Геологический и биологический круговороты веществ

Благодаря притоку солнечной энергии на Земле постоянно протекают два взаимосвязанных во времени процесса преобразования веществ – *геологический и биологический (биотический)* круговороты.

- **Геологический круговорот** – это обмен химических элементов между океаном и сушей в результате разрушения горных пород, растворения их в воде, физико-химических превращений и образования минералов.
- Геологический круговорот длится миллионы лет. Вода океанов с содержащимися в ней некоторыми веществами испаряется и воздушными течениями разносится на большие расстояния. Выпадая в виде осадков, она способствует процессам выветривания и разрушения горных пород, делает их доступными для растений и микроорганизмов, размывает почву. Вода выносит растворенные в ней химические вещества и взвешенные частицы в моря, океаны. Здесь они оседают на дно, накапливаются в виде осадочных пород. Часть химических соединений растворяется в воде или потребляется живыми организмами. Крупные медленные геотектонические изменения, процессы, связанные с опусканием материков и поднятием морского дна, перемещение морей и океанов в течение длительного времени приводят к тому, что эти напластования возвращаются на сушу и процесс начинается вновь.

С появлением живого вещества на базе геологического круговорота возник круговорот органического вещества, или малый биологический круговорот.

- **Биологический круговорот** – это циркуляция веществ между почвой, растениями, животными и микроорганизмами.
- Биоценозы суши постоянно обмениваются веществами с атмосферой. Мировой океан и атмосфера, в свою очередь, связаны потоками энергии, газов, выпадением и испарением влаги. Экосистемы суши и Мирового океана связаны через многочисленные водные потоки и воздушную миграцию.
- В отличие от простого переноса – перемещения минеральных элементов в большом круговороте – в малом круговороте самыми важными моментами являются синтез и разрушение органических соединений.

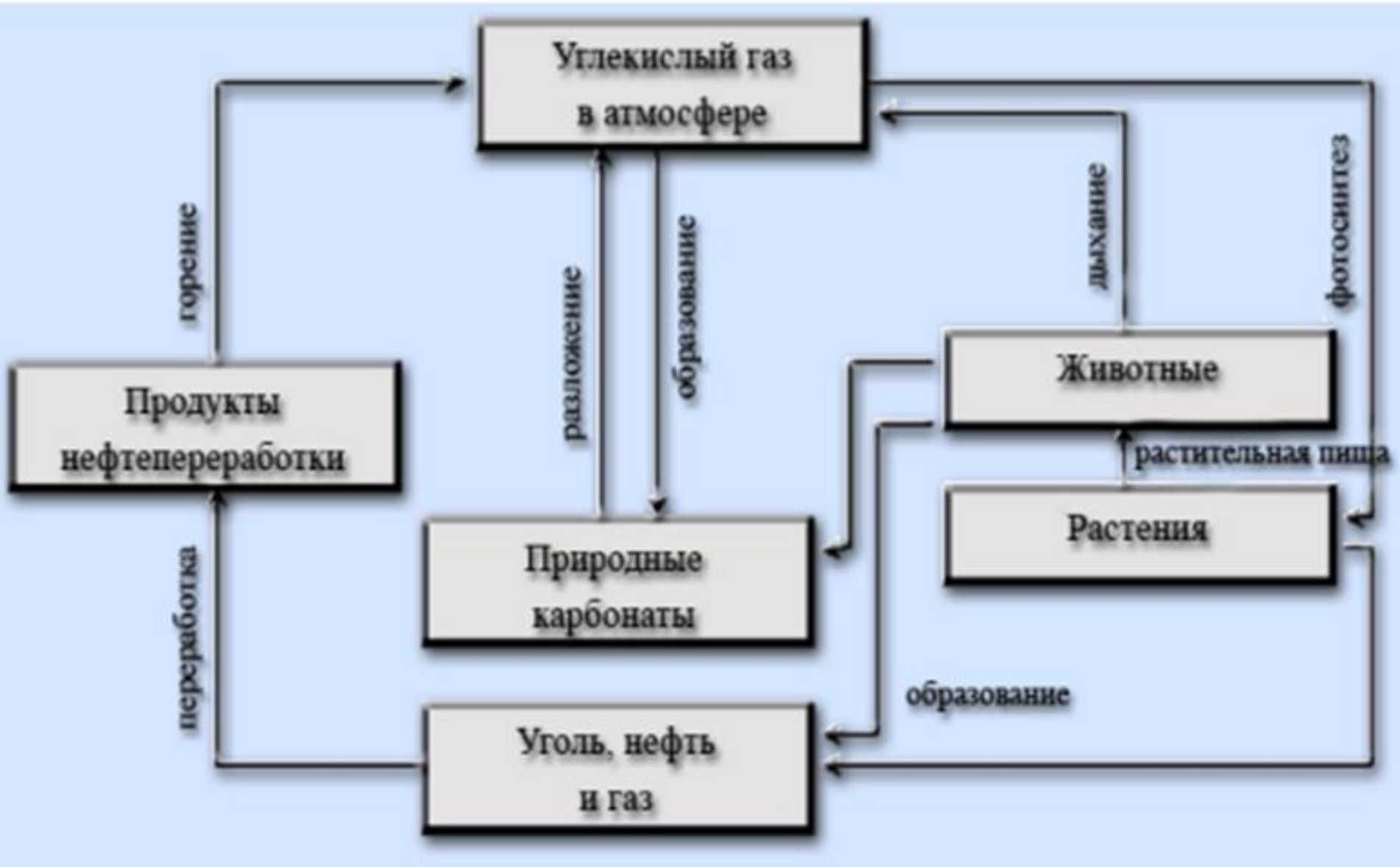
- Живые организмы в процессе жизнедеятельности используют до 40 элементов таблицы Д.И. Менделеева.
- Элементы, жизненно необходимые организмам, называют **биогенными элементами**.
- Такие элементы, как азот, кислород, фосфор, калий, кальций необходимы организмам в сравнительно больших количествах, их называют **макроэлементами**.
- Те элементы, которые требуются организмам в незначительных (следовых) количествах, но необходимы для жизнедеятельности, так как входят в состав жизненно важных ферментов, называются **микроэлементами**.
- Все химические элементы циркулируют в биосфере по определенным путям: из внешней среды в организмы и из них опять во внешнюю среду. Эти пути, в большей или меньшей степени замкнутые, называются **биогеохимическими циклами**.

Биогеохимические циклы.

Круговорот углерода

- Углерод является постоянным компонентом, который находится во всех оболочках биосферы и повсюду в окружающей среде. Он входит в состав атмосферы в виде диоксида углерода. Углерод можно считать самым главным химическим элементом в биосфере, так как именно способность этого элемента образовывать прочные химические связи между атомами (С-С-связь) лежит в основе структуры всех органических соединений, известных на Земле. Углерод – основной «строительный материал» молекул углеводов, жиров, белков и других органических соединений. Все живые существа на Земле имеют в своем составе углерод.

- Большинство наземных растений получает необходимый им углерод, поглощая через поры в своих листьях углекислый газ из атмосферы. Фитопланктон получает углерод из атмосферного углекислого газа, растворенного в воде. Растения – продуценты в процессе фотосинтеза преобразуют углерод углекислого газа в углерод сложных органических соединений (глюкозы, крахмала, целлюлозы). В клетках растений, животных, микроорганизмов происходит процесс клеточного дыхания, при котором глюкоза и другие сложные органические соединения расщепляются и углерод вновь входит в состав углекислого газа. Все живые организмы после смерти подвергаются разложению, органические вещества расщепляются на более простые фрагменты, в результате этих превращений углерод в виде углекислого газа снова поступает в круговорот.
- В водных экосистемах углерод, соединяясь с кислородом и кальцием, образует нерастворимый карбонат кальция, из которого состоят раковины моллюсков и минералы. Когда моллюски умирают, их раковины погружаются в слой донных осадков. Возврат углерода из осадочных отложений в активный круговорот происходит медленно на протяжении миллионов лет, путем растворения этих отложений в океанической воде и образования растворенного углекислого газа.



Круговорот углерода

Вмешательство человека в круговорот углерода, начиная с 1950-х годов, резко возросло из-за быстрого роста населения и использования ресурсов, и происходит оно в основном двумя способами.

- 1. Сведение лесов и другой растительности без достаточных лесовосстановительных работ, в связи с чем уменьшается общее количество растительности, способной поглощать углекислый газ.
- 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.
- 2. Сжигание углеродсодержащих ископаемых видов топлива и древесины. Образующийся при этом углекислый газ попадает в атмосферу.
- Ученые предсказывают, что этот углекислый газ вместе с другими выбросами может вызвать в ближайшие десятилетия потепление земной атмосферы.

Круговорот азота

- Организмы нуждаются в различных химических формах азота для образования белков и генетически важных нуклеиновых кислот. Атмосфера содержит 78% азота (N_2). При всей огромной значимости азота для жизнедеятельности живых организмов ни растения, ни животные, ни люди, ни большинство других организмов не могут непосредственно потреблять этот газ из атмосферы. Растения усваивают ионы аммония (NH_4^+) или нитрата (NO_3^-).
- Преобразование атмосферного газообразного азота в усваиваемые растениями химические формы называется фиксацией азота. Осуществляется она сине-зелеными водорослями (цианобактериями) родов *Anabaena*, *Nostoc*, свободноживущими бактериями родов *Azotobacter* и *Clostridium*, симбиотическими клубеньковыми бактериями рода *Rhizobium*. Биохимический механизм прямой фиксации атмосферного азота осуществляется при участии фермента нитрогеназы, катализирующего расщепление молекулы азота (N_2). Этот процесс требует значительных затрат энергии на разрыв тройной связи в молекуле азота. Реакция идет с участием молекулы воды, в результате чего образуется аммиак (NH_3). На фиксацию 1 г азота бактерии расходуют около 10 г глюкозы (около 40 ккал).



Круговорот азота (по Ю.Одуму, 1986 г.)

Вмешательство человека в круговорот азота состоит в следующем.

- 1. Сжигание древесины и ископаемого топлива, при котором в атмосферу выбрасываются большие количества оксида азота (NO). Оксид азота соединяется в атмосфере с кислородом и образует диоксид азота (NO₂), который при взаимодействии с водяным паром образует азотную кислоту (HNO₃). Эта кислота становится компонентом кислотных осадков.
- 2. Воздействие некоторых бактерий на удобрения и отходы животноводства приводит к выделению в атмосферу одного из «парниковых» газов – закиси азота (N₂O).
- 3. Добыча полезных ископаемых, содержащих нитрат-ионы и ионы аммония, для производства минеральных удобрений.
- 4. Вынос из почвы нитрат-ионов и ионов аммония при сборе урожая сельскохозяйственных культур.

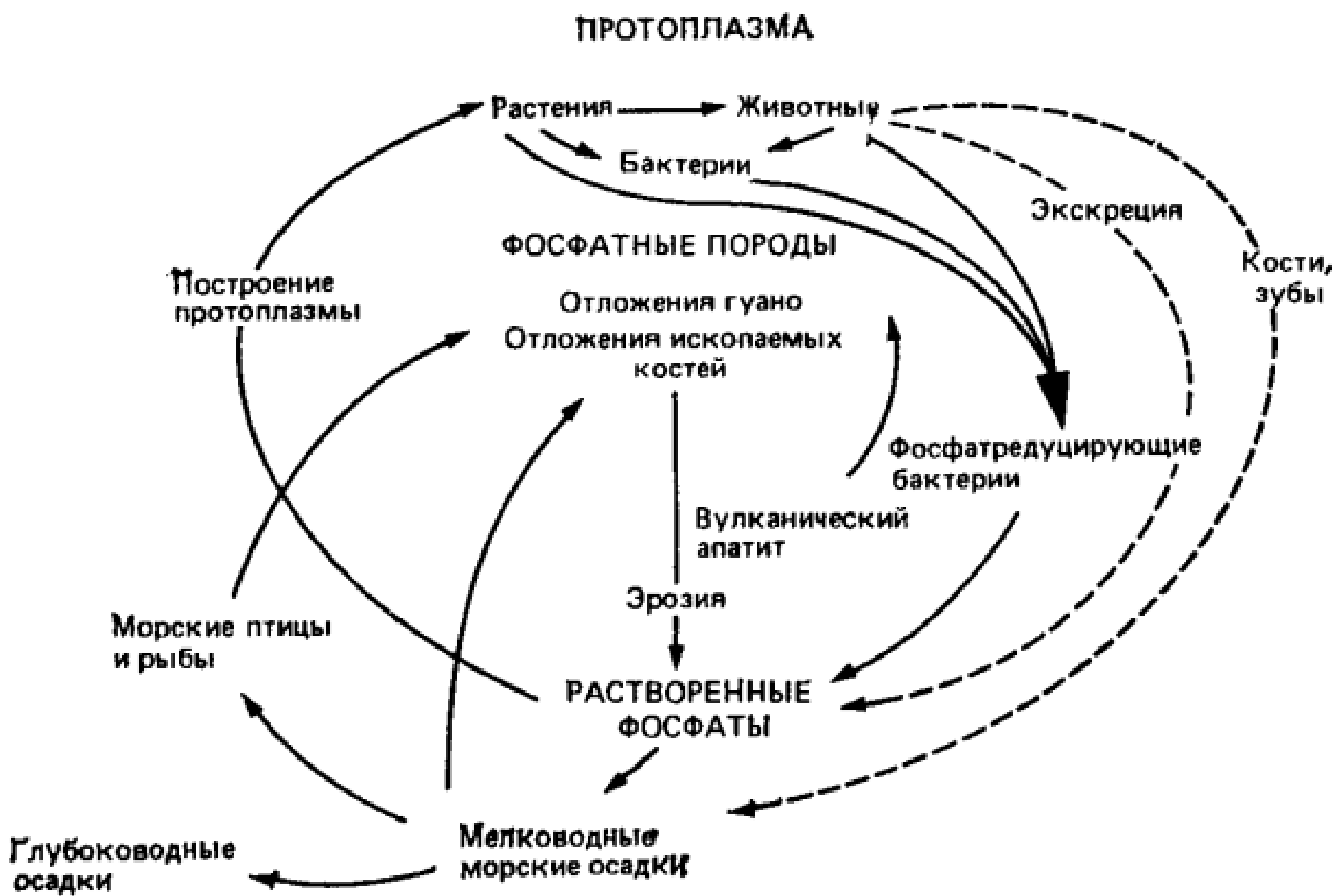
5. Увеличение количества нитрат-ионов и ионов аммония в водных экосистемах при попадании в них загрязненных стоков с животноводческих ферм, коммунально-бытовых канализационных стоков, смытых с полей минеральных азотных удобрений. Создаваемый таким образом избыток питательных веществ в водоемах способствует быстрому росту водорослей и других водных растений, для разложения остатков отмерших водорослей аэробными редуцентами используется растворенный в воде кислород, что приводит к массовым заморам рыбы.

Окислы азота раздражают дыхательные пути животных и человека. Кроме того, химические реакции с другими загрязнителями обуславливают синергический эффект (общее воздействие продуктов реакции больше суммарного воздействия каждого из реагирующих веществ), увеличивающий опасность. Например, под действием ультрафиолетового излучения Солнца диоксид азота (NO_2) вступает в реакцию с продуктами неполного сгорания углеводородов, содержащихся в большом количестве в выхлопных газах, в результате возникают более ядовитые вещества, известные как фотохимический смог.

Круговорот фосфора

- Фосфор также является элементом, необходимым для питания живых организмов. Резервуаром фосфора, в отличие от азота, служит не атмосфера, а горные породы и другие отложения, образовавшиеся в прошлые геологические эпохи. Минеральный фосфор входит в состав многих горных пород. Он попадает в гидросферу и в почву в ходе их разрушения, отлагается в виде осадков на мелководьях, частично осаждаются в глубоководных илах.
- Растения потребляют фосфор в виде фосфатов (PO_4^{3-} и HPO_4^{2-}) и преобразуют его в органический фосфор. Животные, потребляя растения, используют запасенный в них органический фосфор. Фосфор входит в состав молекул ДНК, несущих генетическую информацию, молекул АДФ и АТФ, в которых запасается необходимая для организмов химическая энергия, используемая при клеточном дыхании, молекул жиров, образующих клеточные мембраны, а также в состав костей и зубов. В результате разложения мертвых организмов и минерализации органических соединений фосфор в виде фосфатов вновь используется растениями и тем самым снова вовлекается в круговорот.

- Значительная часть фосфора из почвы вымывается в реки и попадает на дно океана в виде нерастворимых фосфатных осадочных пород. Часть фосфора возвращается на поверхность суши в виде гуано – обогащенной фосфором органической массы экскрементов питающихся рыбой птиц (пеликанов, олуш, бакланов). Вследствие длящихся миллионы лет геологических процессов могут подниматься и осушаться участки океанического дна, образуя острова и материки. Последующее выветривание обнажившихся горных пород приводит к высвобождению новых количеств фосфора и продолжению круговорота



Круговорот фосфора (по Ю.Одуму, 1986 г.)

Вмешательство человека в круговорот фосфора

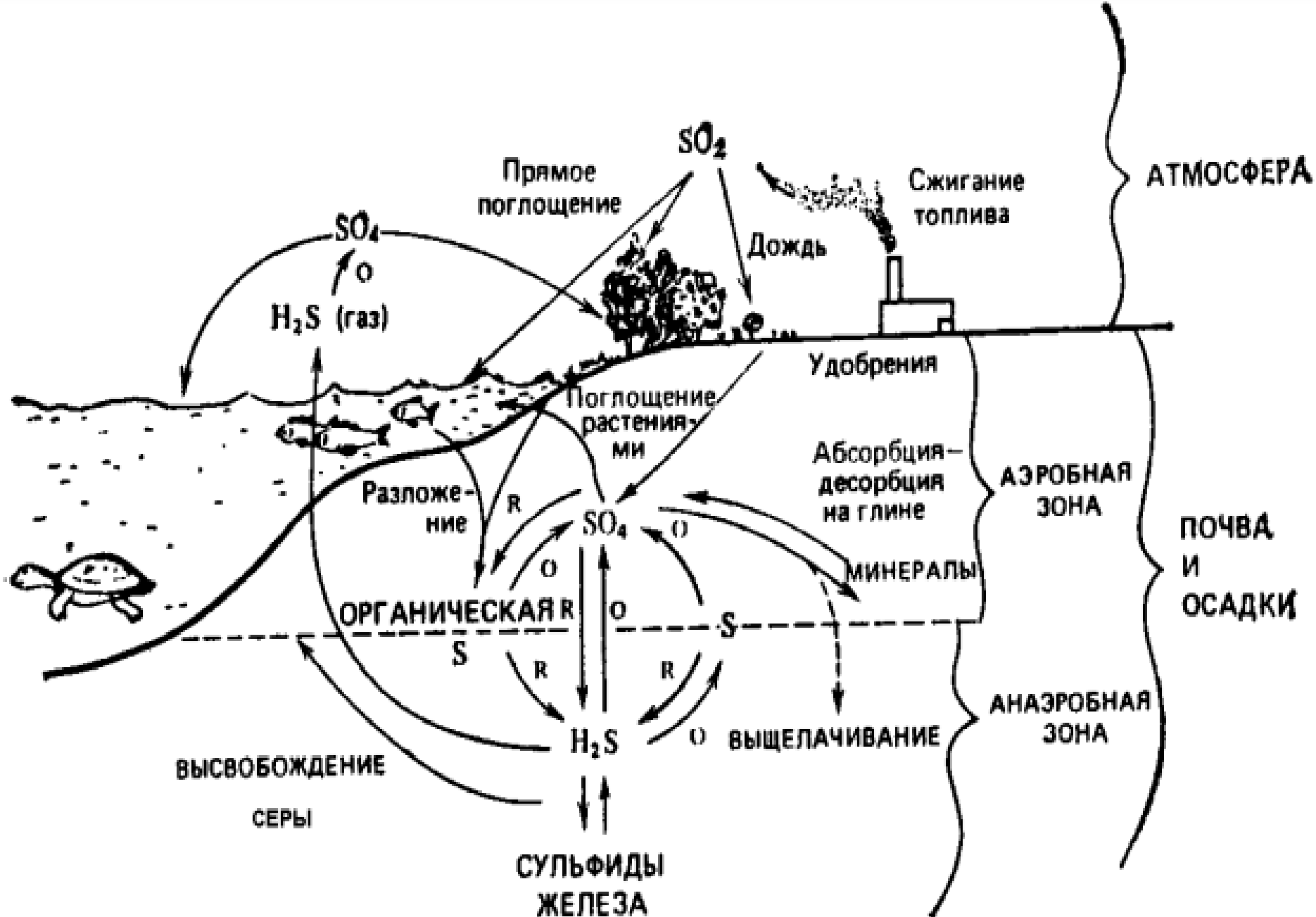
сводится в основном к двум вариантам.

- 1. Добыча больших количеств фосфатных руд для производства минеральных удобрений и моющих средств.
- 2. Увеличение избытка фосфат-ионов в водных экосистемах при попадании в них загрязненных стоков с животноводческих ферм, коммунально-бытовых стоков, смытых с полей фосфатных удобрений. Как и в случае с нитрат-ионами и ионами аммония, избыток этих питательных элементов способствует «взрывному» росту сине-зеленых водорослей и других водных растений, что нарушает равновесие в водных экосистемах, приводит к их интенсивному зарастанию, деградации и в конечном итоге к их гибели.

Круговорот серы

- Минеральная сера попадает в почву в результате естественного разложения серного и медного колчеданов в горных породах. Из природных источников в атмосферу сера попадает в виде сероводорода (H_2S) – бесцветного ядовитого газа с запахом тухлых яиц, который образуется при извержении вулканов, при разложении органических веществ в болотах и затапливаемых приливами низинах; в виде диоксида серы (SO_2) – бесцветного удушливого газа, образующегося при извержении вулканов, и частиц сульфатных солей, например, сульфата аммония, из мельчайших брызг океанической воды. Она переносится с атмосферными осадками и попадает в наземные и водные экосистемы. Для круговорота серы характерны обширный резервный фонд в почве и отложениях и меньший фонд – в атмосфере.

- В быстро обмениваемом фонде серы ключевую роль играют специализированные группы микроорганизмов (сульфатокисляющие и сульфат-редуцирующие бактерии). Бесцветные, зеленые и пурпурные серобактерии превращают сероводород (H_2S) в серу (S) и в сульфат-ион (SO_4^{2-}), восстанавливают сульфат-ионы до сероводорода бактерии рода *Desulfovibrio*, а тиобациллы вновь окисляют сероводород в сульфат-ионы.
- Сульфат-ион, аналогично нитрату и фосфату, – основная доступная форма серы, которая восстанавливается автотрофами и включается в белки (сера входит в состав ряда аминокислот – цистина, цистеина, метионина). Сульфатредуцирующие микроорганизмы, разрушающие органические соединения в почве, восстанавливают серу в сероводород или в минеральную серу. Сульфатокисляющие микроорганизмы окисляют серу, превращая ее в сульфаты. Сульфаты поглощаются растениями и вновь попадают в круговорот



Круговорот серы (по Ю.Одуму, 1986 г.)

Вмешательство человека в круговорот серы

Около трети всех соединений серы и 99% диоксида серы, попадающих в атмосферу, имеют антропогенное происхождение.

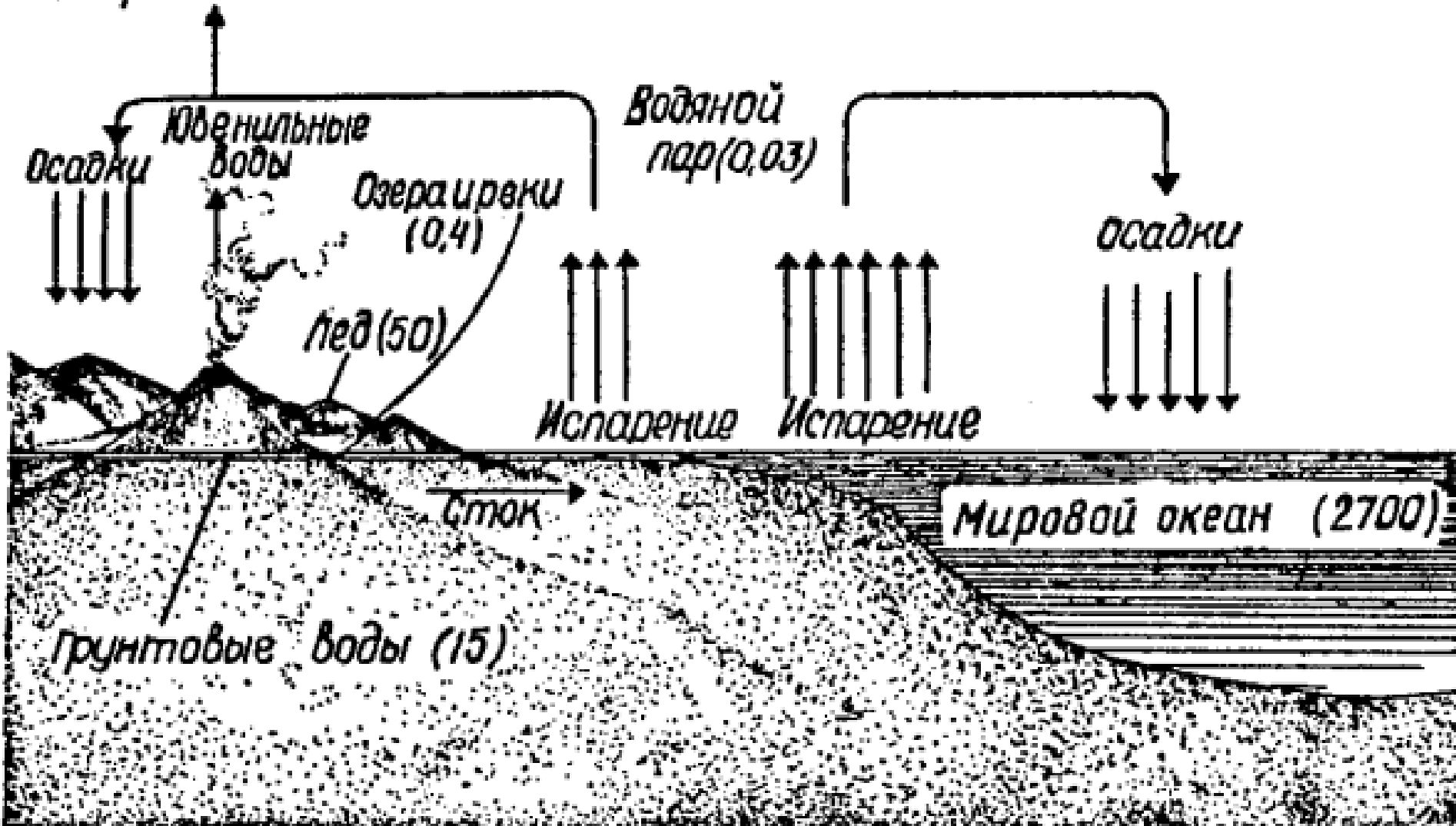
Сжигание серосодержащих углей, нефти, выплавка металлов из серосодержащих руд приводит к выбросам в атмосферу диоксида серы (SO_2). В атмосфере диоксид серы окисляется кислородом до газообразного триоксида серы (SO_3) – сернистого ангидрида.

Сернистый ангидрид, взаимодействуя с атмосферной влагой, превращается в капельки серной кислоты (H_2SO_4), которые затем вместе с атмосферными осадками выпадает на поверхность земли.

Круговорот воды (гидрологический цикл)

- Вода является необходимой частью биосферы. Она входит в состав всех живых организмов и составляет до 90% их веса. Вода присутствует на Земле в Мировом океане и в виде воды континентов: льда, воды рек, озер, водохранилищ. Солнечная энергия и земное притяжение непрерывно перемещают воду между океанами, атмосферой, сушей и живыми организмами. Важнейшими процессами этого круговорота являются испарение (превращение воды в водяной пар), конденсация (превращение водяного пара в капли жидкой воды), осадки (дождь, изморось, град, снег) и сток воды назад в море для возобновления цикла.
- Под воздействием поступающей солнечной энергии вода испаряется с поверхности океанов, рек, озер, почв и растений и поступает в атмосферу. Ветры и воздушные массы переносят водяной пар в различные районы Земли. Понижение температуры в отдельных частях атмосферы приводит к конденсации водяного пара и образованию массы мельчайших капелек воды в виде облаков или тумана. В конце концов, капли воды сливаются вместе и становятся настолько тяжелыми, что выпадают на поверхность суши или водоема в виде атмосферных осадков. В среднем молекула воды находится в воздухе около 10 дней, прежде чем попадает с осадками на землю.

Диссипация атомов
водорода в космосе



Круговорот воды в биосфере
(по В.А. Радкевичу, 1983 г.)

- Примерно половина всех осадков на планете выпадает в зоне тропических лесов. Часть пресной воды, возвращающейся на поверхность земли в виде осадков, замерзает в ледниках.
- Однако в основном вода, достигая почвы, просачивается в нее и образует поверхностный сток, заполняет понижения и ложбины и стекает в ближайшие озера, ручьи и реки, которые несут ее обратно в океан, тем самым, замыкая кольцо круговорота. Если вода атмосферных осадков достигает грунтовых вод, она включается в их состав.
- Почвенная влага используется растениями, а часть ее путем испарения растениями (транспирации) вновь попадает в атмосферу. Транспирация растениями вносит существенный вклад в круговорот воды. В некоторых районах транспирация даже превышает испарение воды со свободной поверхности водных объектов.
- Вода, особенно пресная, имеет значение как «транспортное средство» – переносит растворенные, в том числе загрязняющие, вещества.

Человек вмешивается в круговорот воды двумя способами:

- 1) забор больших количеств пресной воды из рек, озер и водоносных горизонтов. В густозаселенных или интенсивно орошаемых районах водозабор привел к истощению запасов грунтовых вод или к вторжению океанической соленой воды в подземные водоносные горизонты;
- 2) сведение растительного покрова суши в интересах развития сельского хозяйства, при добыче полезных ископаемых, строительстве дорог, автостоянок и других видов деятельности. Это приводит к уменьшению просачивания поверхностных вод под землю, что сокращает пополнение запасов грунтовых вод, увеличивает риск наводнений и повышает интенсивность поверхностного стока, тем самым, усиливая эрозию почв.