

Круговорот веществ в биосфере

Как вещество движется между живой и неживой природой



Вещество в природе не исчезает

В биосфере элементы постоянно переходят из одной формы в другую, обеспечивая жизнь организмов. Особенно важны вода, углерод, азот, фосфор и сера: без их возвращения в среду экосистемы быстро теряли бы устойчивость.



Ключевые уровни биогеохимического круговорота

Одни круговороты завершаются за дни и месяцы, другие растягиваются на тысячи и миллионы лет. Поэтому устойчивость биосферы зависит не только от обмена, но и от его темпа.

Разная скорость циклов

Биологический этап

Вещества включаются в состав организмов, переходят по пищевым цепям и снова возвращаются в среду через дыхание, выделение и отмирание. Именно живые организмы задают направление обмена.



Литосферные резервуары

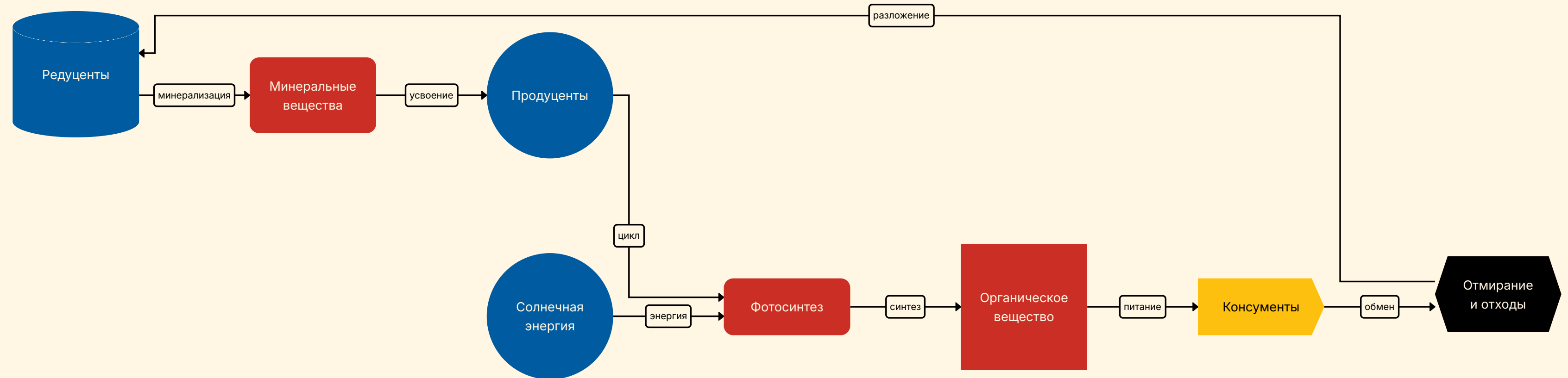
Почвы, горные породы и осадочные отложения служат долговременными хранилищами веществ. Здесь обмен идёт медленнее, чем в атмосфере или живых организмах, но именно он определяет запас элементов.

Гидросфера и атмосфера

Вода, углекислый газ, кислород и соединения азота постоянно перемещаются между воздухом, водоёмами и биотой. Эти потоки делают биосферу динамической и связанной в единое целое.

Общая схема движения вещества в биосфере

Показана последовательность перехода вещества от энергии Солнца к новым кругам обмена



Продуценты как входной канал вещества в биосферу

Создатели органики

Зелёные растения, водоросли и цианобактерии поглощают CO_2 , воду и минеральные соли, а затем в ходе фотосинтеза образуют органические вещества — основу питания всех остальных организмов.

Главные источники биомассы

На суше основную массу органического вещества создаёт наземная растительность, а в океане — фитопланктон. Эти группы определяют первичную продукцию и поддерживают пищевые сети.

Связь с изображением

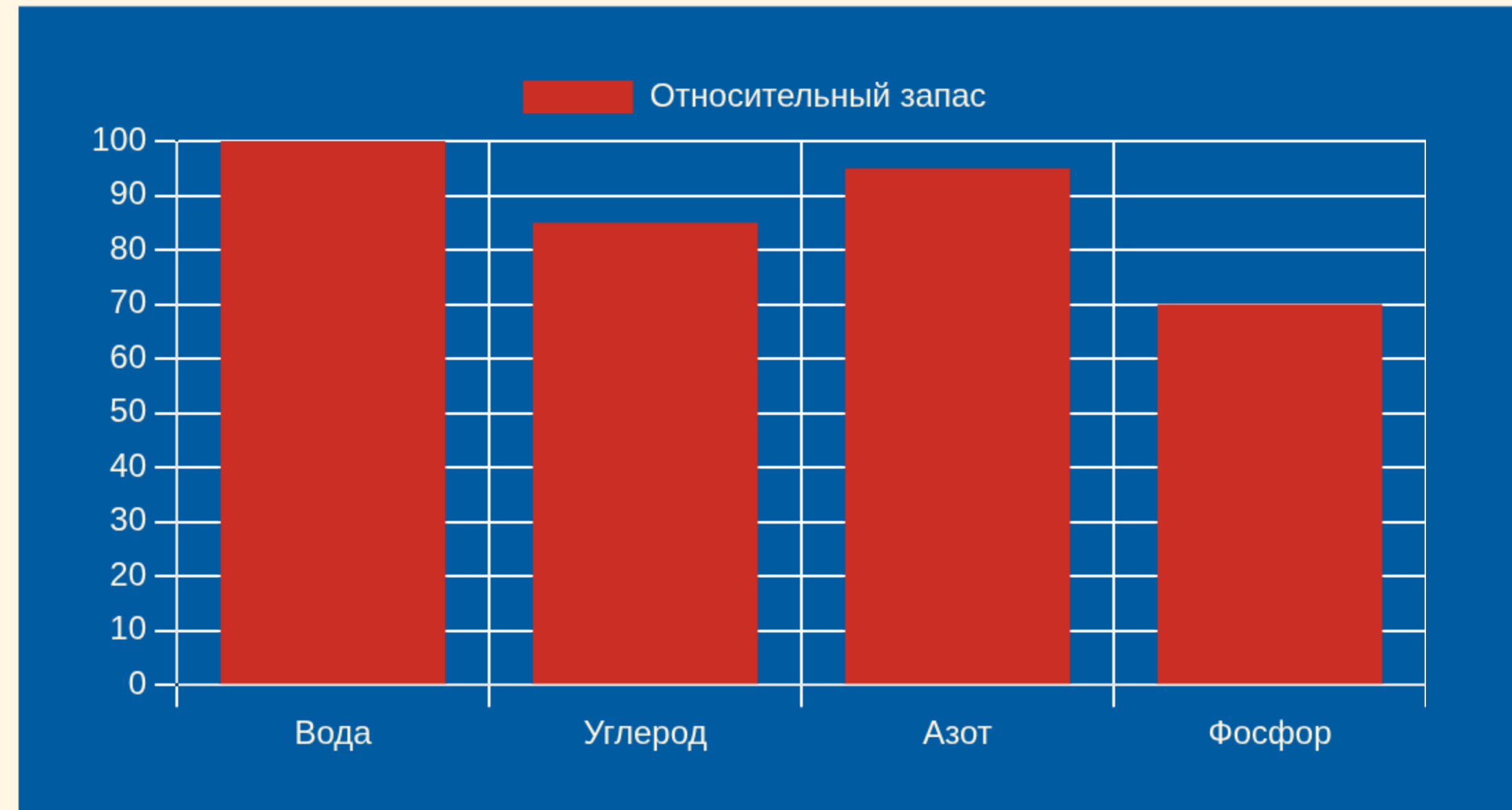
Лист, хлоропласт и морской фитопланктон наглядно показывают, где начинается накопление энергии и вещества. Через продуцентов биосфера получает новый органический материал.



Основные элементы круговоротов и их резервуары

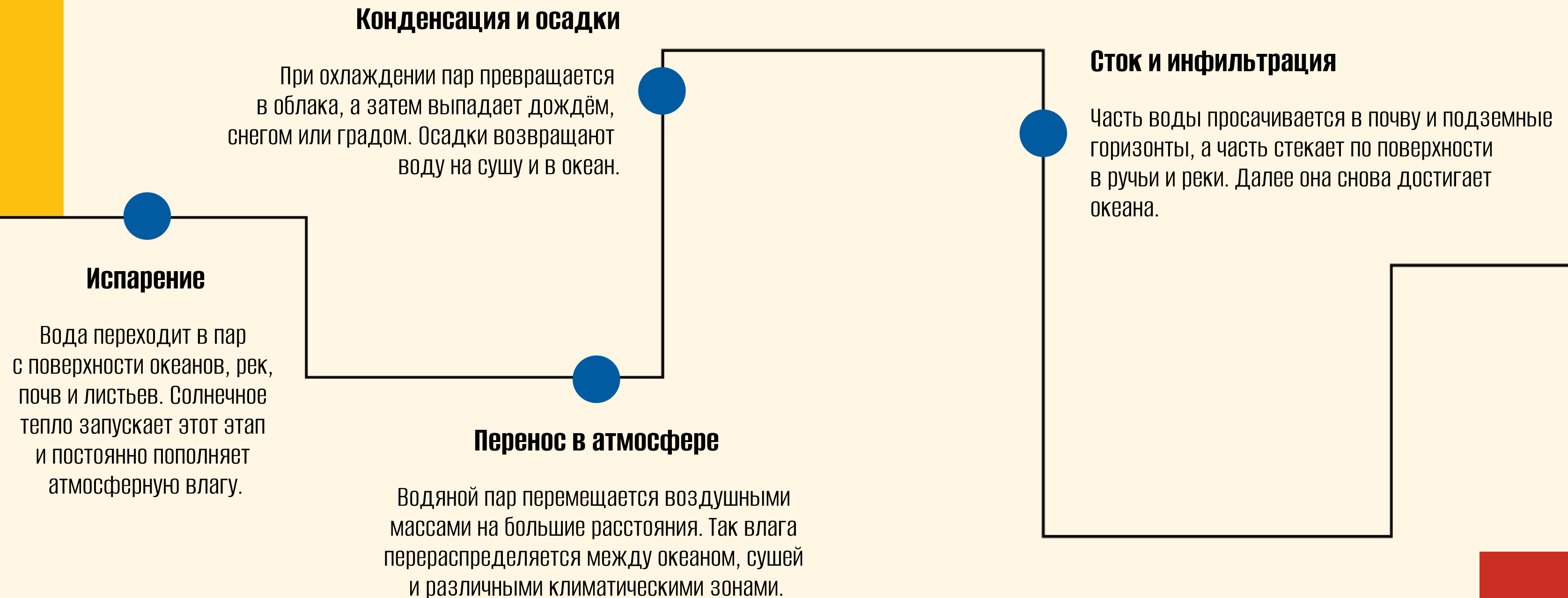
Диаграмма сопоставляет крупнейшие хранилища веществ и показывает, что основные запасы сосредоточены в разных оболочках Земли.

Чем сильнее запас связан с литосферой, тем медленнее цикл; поэтому фосфорный круговорот наиболее инерционный.



Схематическое обобщение по учебным представлениям о крупнейших резервуарах биогеохимических циклов.

Круговорот воды: быстрый и жизненно важный цикл



Круговорот углерода и его связь с климатом

1 Фиксация углерода

При фотосинтезе растения, водоросли и цианобактерии связывают углерод из CO_2 и включают его в состав органических молекул. Так начинается накопление биомассы и энергии в экосистеме.

2 Переход по цепям питания

Углерод перемещается от продуцентов к консументам вместе с пищей. На каждом уровне часть вещества используется для построения тканей, а часть возвращается в среду.

3 Возврат в атмосферу

Дыхание организмов, разложение органики и горение высвобождают углерод обратно в окружающую среду, главным образом в форме CO_2 . Это поддерживает непрерывность цикла.

4 Климатическое значение

Рост концентрации CO_2 усиливает парниковый эффект и влияет на температуру, режим осадков и длительность сезонов. Поэтому углеродный цикл напрямую связан с климатической устойчивостью.



Сравнение ключевых биогеохимических циклов

Таблица показывает, где сосредоточены основные запасы веществ, какие процессы поддерживают их движение и насколько цикл уязвим для вмешательства человека.

Водный, углеродный и азотный циклы быстрее и заметнее реагируют на вмешательство; фосфорный медленнее из-за связи с литосферой.

Вещество	Основной резервуар	Главные процессы	Уязвимость
Вода	океан, ледники	испарение, осадки	высокая
Углерод	океан, породы	фотосинтез, дыхание	высокая
Азот	атмосфера	фиксация, денитрификация	высокая
Фосфор	литосфера	выветривание, усвоение	средняя
Сера	породы, океан	выветривание, обмен газами	средняя

Круговорот азота: от атмосферного газа к белкам

Атмосферный запас

Большая часть азота находится в атмосфере в виде N_2 , но эта форма почти недоступна большинству организмов без предварительного превращения.

Азотфиксация

Азотфиксирующие бактерии и цианобактерии переводят молекулярный азот в аммонийные соединения, которые уже могут включаться в биологический обмен.

Нитрификация

Нитрифицирующие бактерии превращают аммоний сначала в нитриты, затем в нитраты. Эти соединения хорошо усваиваются корнями растений.

Синтез органики

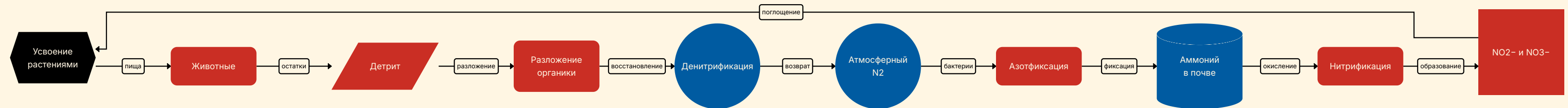
Растения используют соединения азота для образования аминокислот, белков и нуклеиновых кислот, а затем передают его животным по пищевым цепям.

Денитрификация

Часть соединений азота разлагается денитрифицирующими бактериями, и азот снова возвращается в атмосферу в виде N_2 , замыкая цикл.

Преобразования азота в экосистеме

Схема отражает последовательные превращения азота в биосфере: от атмосферного N_2 до возврата в атмосферу.



Редуценты и разложение органики



Невидимые санитары экосистемы

Бактерии и грибы начинают работу там, где жизнь уже завершилась: в опавших листьях, старой древесине и остатках животных. Они расщепляют сложные вещества до простых соединений, превращая отмершую массу в источник питания для почвы и новых поколений растений.



Лесная подстилка под микроскопом

Под слоем листового опада идёт непрерывная тихая переработка органики. Мицелий грибов пронизывает подстилку, а почвенные бактерии завершают распад тканей, высвобождая минеральные вещества. Именно поэтому лесная почва остаётся живой и плодородной даже без внешних «внесений».



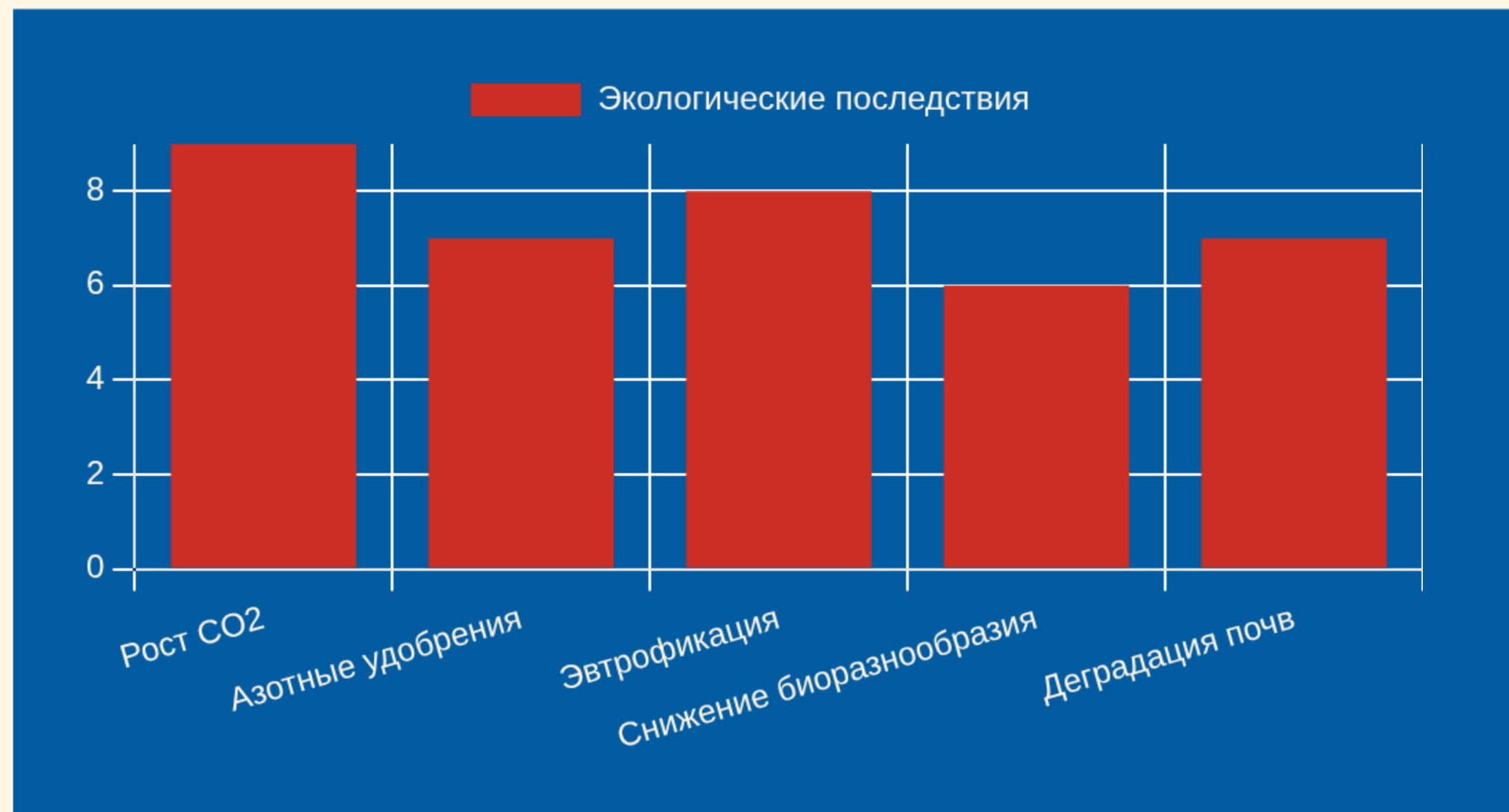
Замкнутый цикл возвращения

Редуценты возвращают в среду азот, фосфор, серу, воду и углекислый газ, замыкая круговорот веществ. Без их работы органические остатки накапливались бы слоями, а доступные растениям элементы быстро оказались бы заблокированы в мёртвой биомассе.

Что происходит при нарушении круговоротов

Проблемы редко остаются локальными: изменение одного звена быстро затрагивает воду, почву и живые сообщества.

Наибольший риск создают рост CO₂ и избыток удобрений: они запускают каскадные изменения в экосистемах и усиливают взаимные нарушения циклов.

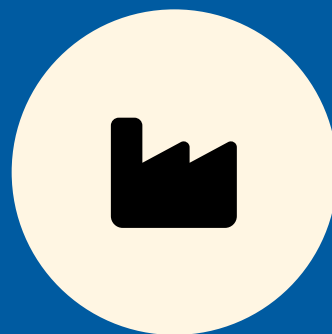


Антропогенное воздействие на природные циклы



Сельское хозяйство

Чрезмерная распашка, полив и удобрения ускоряют вынос питательных веществ из почвы. Это нарушает азотный и водный циклы, а также повышает риск загрязнения рек и озёр.



Промышленность

Выбросы предприятий добавляют в атмосферу углекислый газ, оксиды азота и серы. В результате меняется химический состав воздуха и усиливается нагрузка на природные механизмы саморегуляции.



Транспорт

Сжигание топлива в двигателях повышает концентрацию парниковых газов и загрязняющих примесей. Это ускоряет климатические изменения и косвенно влияет на водный режим, почвы и растительность.



Вырубка лесов

Сокращение лесных площадей уменьшает поглощение CO₂, ослабляет удержание влаги и разрушает местообитания. Одновременно снижается способность экосистем восстанавливать естественный баланс веществ.

Примеры человеческого влияния и его последствий

Таблица показывает, как отдельные виды деятельности изменяют круговороты веществ и вызывают долговременные экологические эффекты.

Во всех примерах антропогенная нагрузка разрушает природное равновесие, а последствия проявляются не сразу, а через накопление изменений в атмосфере, почве и водоёмах.

Воздействие	Нарушенный цикл	Результат
Вырубка лесов	углеродный	меньше поглощение CO ₂
Удобрения	азотный	нитраты и эвтрофикация
Сжигание топлива	углеродный	рост парниковых газов
Осушение болот	водный	потеря запасов углерода

Почва как узел круговорота веществ

1 Хранилище ресурсов

Почва удерживает воду, минеральные соли и органические остатки, поэтому служит промежуточным звеном между живой и неживой природой. От её состава зависит питание растений и устойчивость наземных экосистем.

3 Работа почвенных организмов

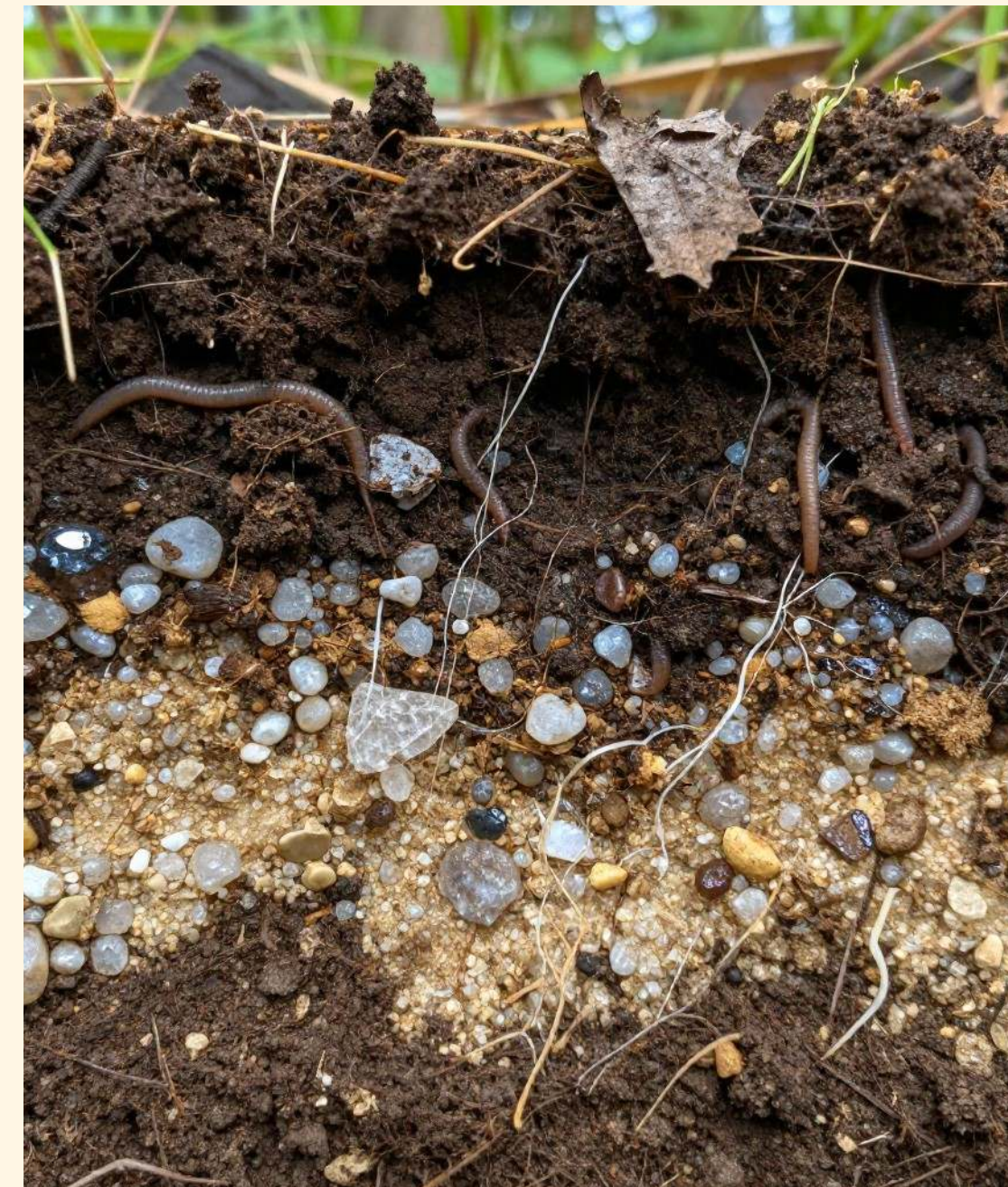
Черви, бактерии и грибы ускоряют разложение опада, перемешивают почвенные слои и переводят органические остатки в формы, пригодные для повторного усвоения растениями. Без них круговорот резко замедлился бы.

2 Роль гумуса

Гумус улучшает структуру почвы, повышает её влагоёмкость и делает питательные вещества доступнее корням. Чем больше гумуса, тем выше плодородие и тем стабильнее урожайность на длительном промежутке времени.

4 Последствия деградации

При эрозии и истощении почвы теряют способность удерживать влагу и питательные вещества. Это снижает урожайность, ослабляет растительный покров и уменьшает способность экосистем к восстановлению после нарушений.



Океан и леса как крупнейшие регуляторы обмена



Океан как климатический буфер

Океан поглощает огромные объёмы углекислого газа и тепла, сглаживая резкие колебания климата. В поверхностных слоях морская жизнь, особенно фитопланктон, связывает углерод в органическом веществе и запускает его дальнейшее перераспределение по пищевым цепям.



Лес как наземный аккумулятор

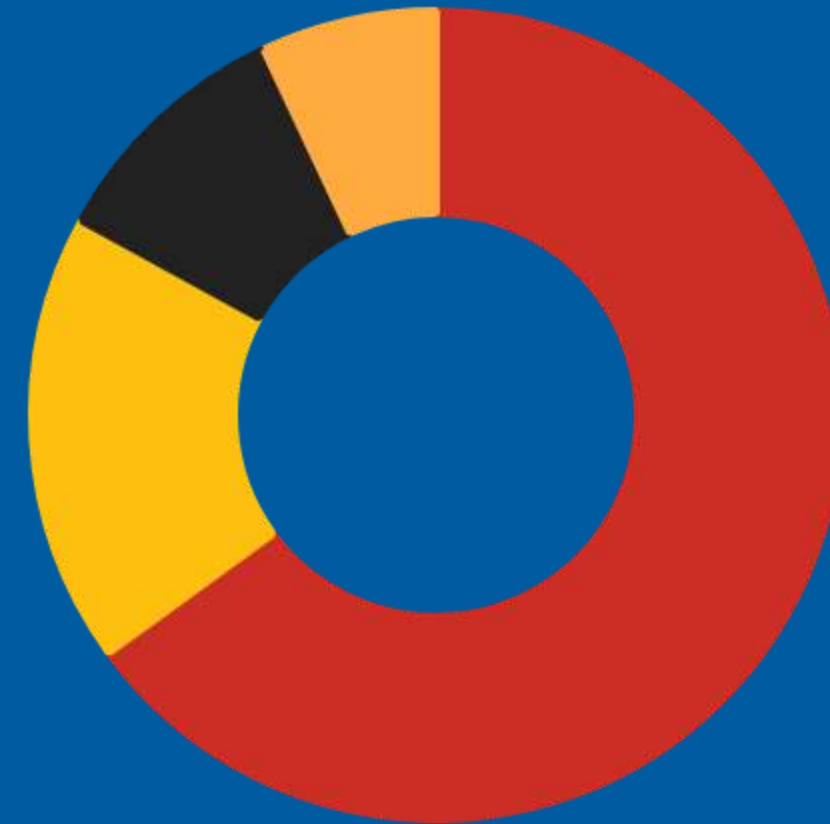
Леса накапливают углерод в древесине, корнях и почве, одновременно испаряя влагу и поддерживая местный водный режим. Лесной полог работает как живая оболочка, которая влияет и на атмосферу, и на состояние почвы под собой.

Баланс природных и антропогенных потоков

Природные круговороты идут постоянно, но человеческая деятельность вводит в систему дополнительные потоки вещества, которые не успевают включаться в естественный обмен.

Чем выше доля техногенных потоков, тем слабее устойчивость биосферы: избыток веществ накапливается в воздухе, воде и почве.

■ Природный обмен ■ Выбросы в атмосферу
■ Стоки удобрений ■ Изменение землепользования



Экологические меры для сохранения круговоротов

Сохранение лесов

- Леса удерживают углерод, регулируют влажность и поддерживают жизнь многих видов. Их охрана помогает стабилизировать климат и уменьшает скорость разрушения природных круговоротов.

Рациональные удобрения

- Точное внесение удобрений снижает потери азота и риск попадания нитратов в воду. Такой подход сохраняет плодородие почв и уменьшает вероятность эвтрофикации водоёмов.

Очистка и экономия воды

- Очистка сточных вод и бережное водопользование уменьшают загрязнение рек и озёр. Это помогает поддерживать водный цикл, качество среды и устойчивость водных экосистем.

Восстановление болот

- Болота накапливают воду и углерод, поэтому их восстановление особенно важно для климата и гидрологического режима. Оно также поддерживает биоразнообразие и природную саморегуляцию территорий.

Круговорот веществ — основа устойчивости биосферы

Круговорот веществ соединяет атмосферу, воду, почву и живые организмы в единую систему. Когда природные потоки сохраняются, биосфера остаётся продуктивной, устойчивой и способной к самовосстановлению.