

Круговорот веществ в природе: общая картина и ключевые темы

Обмен элементами между организмами и средой обеспечивает жизнь и устойчивость экосистем.



История изучения круговоротов веществ

Начало исследований связано с Ламарком, который впервые связал обмен веществ с жизнью, а Вернадский развил учение о биосфере. Законы сохранения вещества и биогеохимические процессы лежат в основе понимания круговоротов, включая влияние человека на глобальные циклы.



Основы круговорота веществ

Круговороты характеризуются замкнутыми переходами элементов через живые организмы и окружающую среду, обеспечивая непрерывность процессов.

Биологическая ассимиляция включает включение элементов в ткани, минерализация отвечает за разложение органических соединений.

Миграция веществ происходит между атмосферой, гидросферой и литосферой, поддерживая баланс и стабильность экосистем.

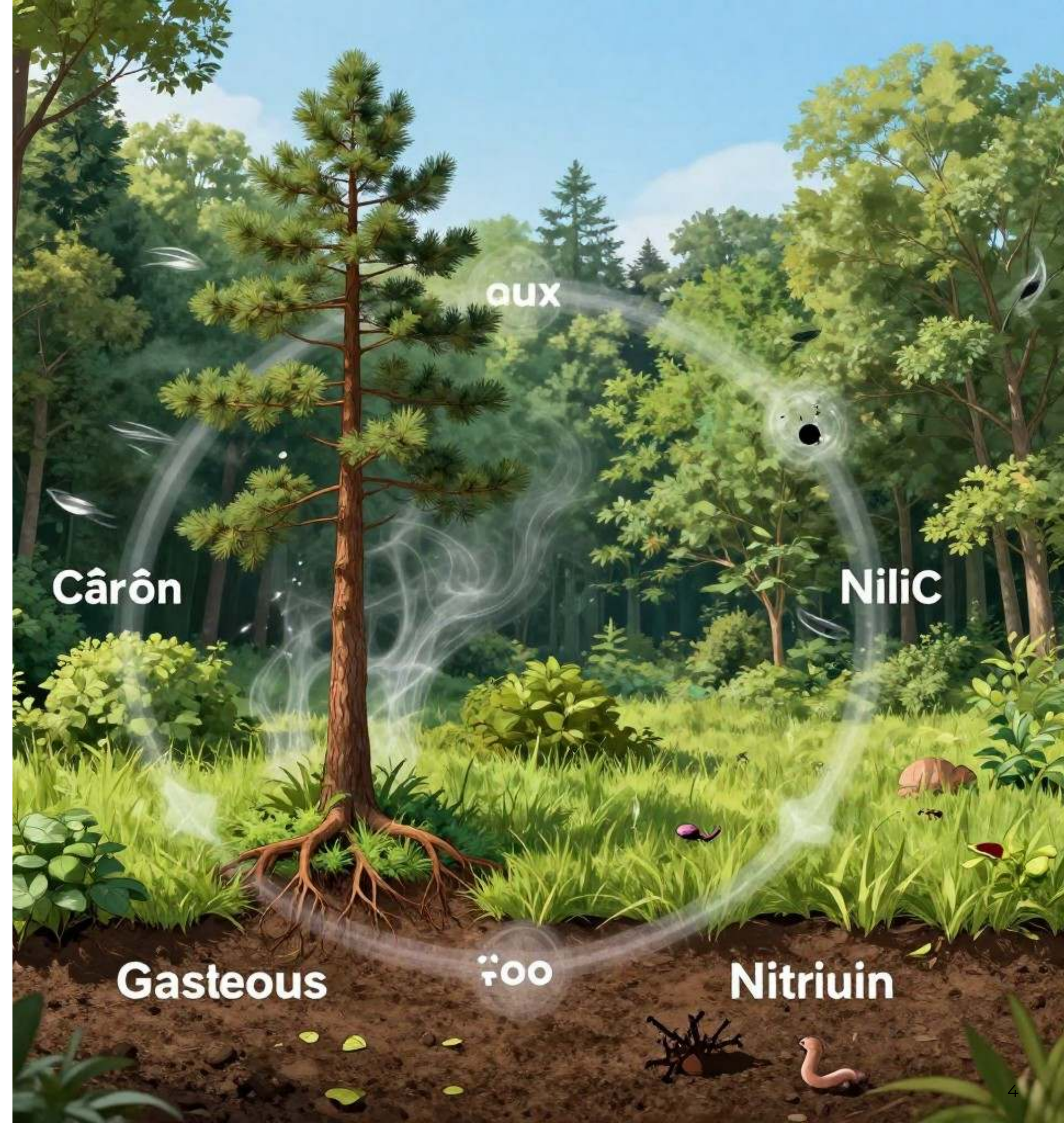
Типы биогеохимических циклов

Газообразные циклы

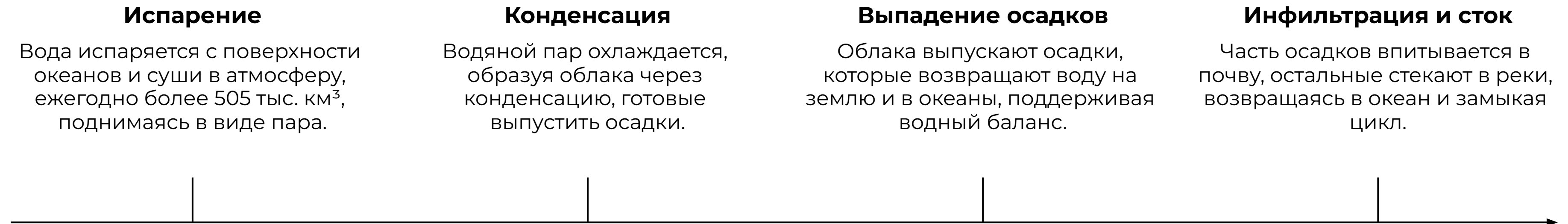
Циклы углерода, кислорода и азота охватывают атмосферу и происходят быстро, обеспечивая обмен элементами между живыми организмами и воздухом.

Седиментационные циклы

Циклы фосфора, кальция и серы связаны с осаднениями в литосфере, отличаются медленной миграцией и меньшей биологической доступностью.

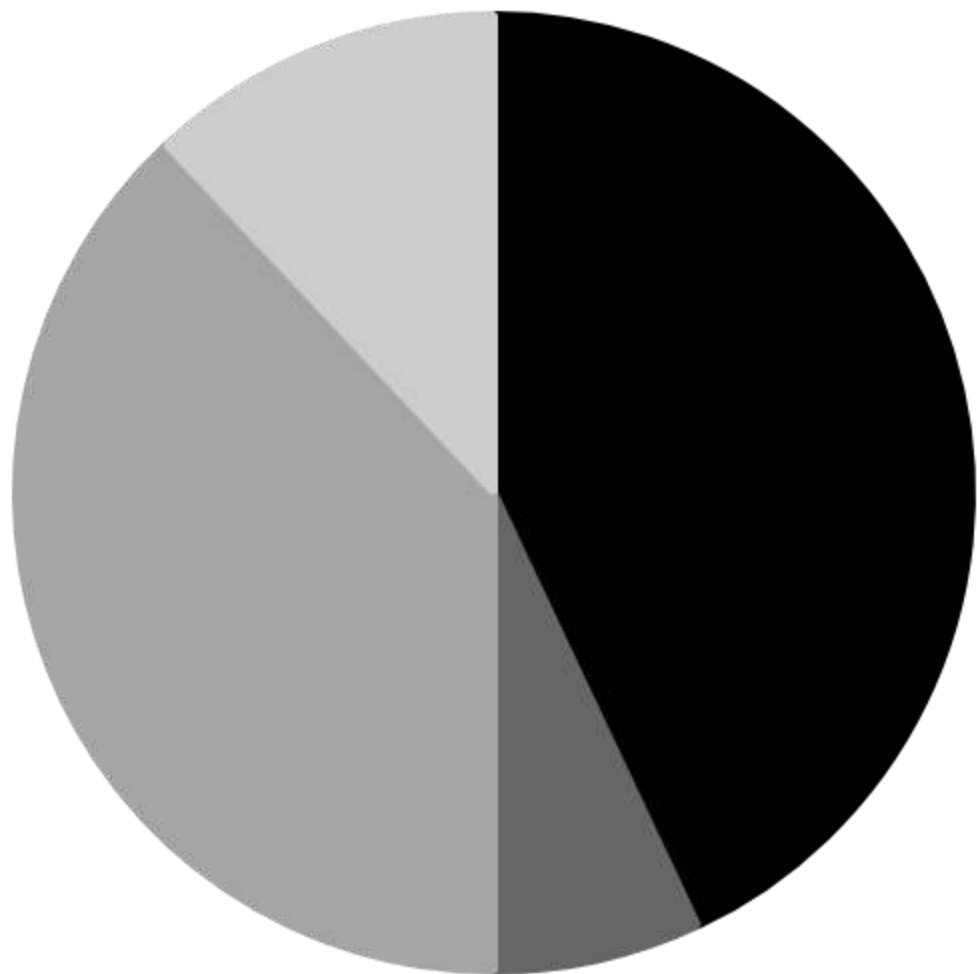


Основные этапы гидрологического цикла



Гидрологический цикл: количественные показатели

■ Испарение с океанов ■ Испарение с суши
■ Осадки на океан ■ Осадки на сушу



Водяной поток между сушей и океаном составляет около 40 тыс. км³ в год, влияя на климат и экосистемы.

Доминирование испарения и осадков над океанами поддерживает глобальное водное равновесие.

Данные Всемирной метеорологической организации, 2023

Круговорот кислорода и его функции

Кислород образуется главным образом через фотосинтез зеленых растений, ежегодно выделяется около 150 млрд тонн.

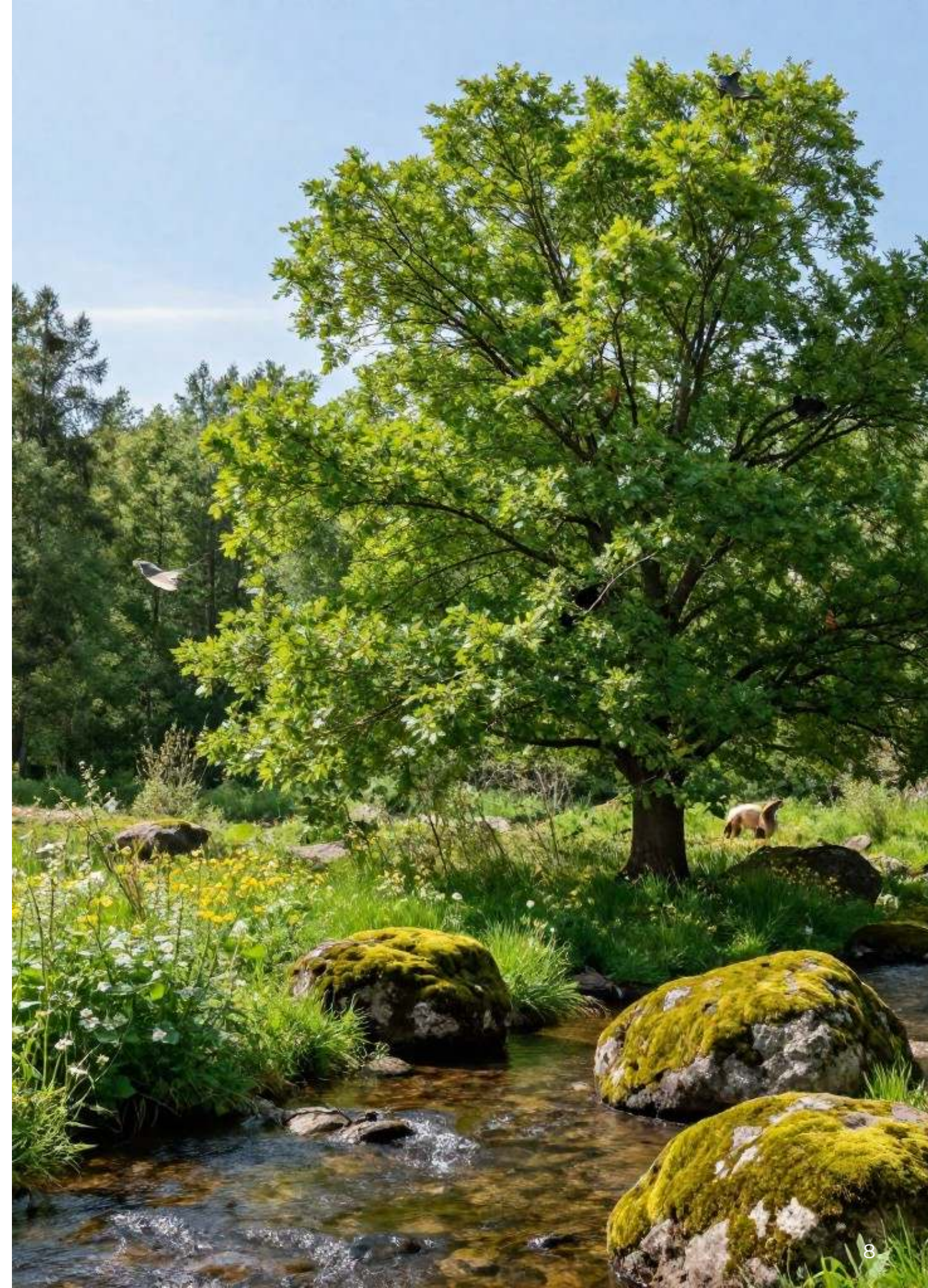
Потребление кислорода происходит в процессе дыхания животных и разложения органики микробами.

Баланс между его образованием и потреблением обеспечивает стабильность концентрации кислорода в атмосфере.

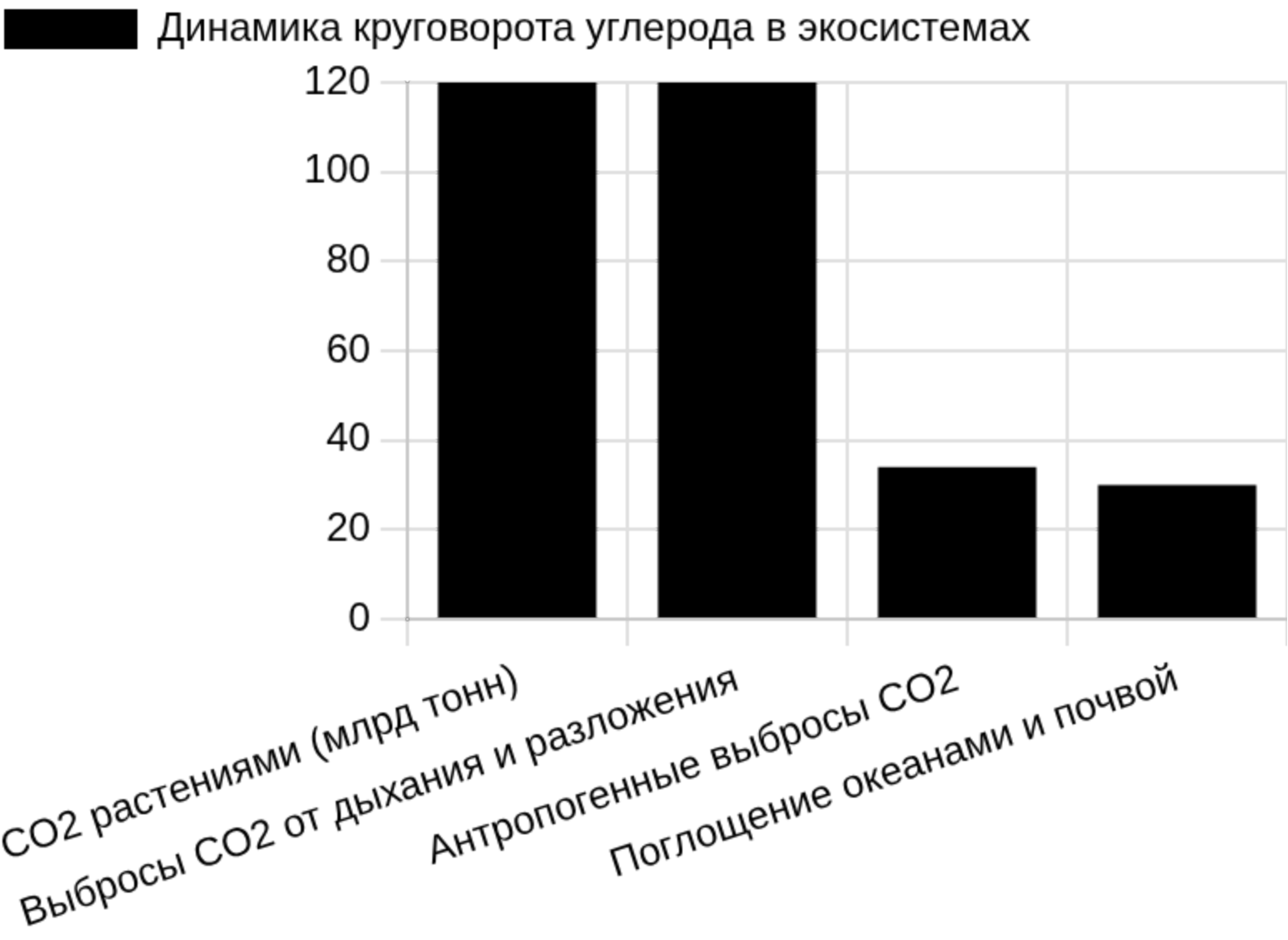
Кислород поддерживает аэробные экосистемы и участвует в химических процессах на планете.

Взаимосвязь углеродного и кислородного циклов

- В ходе фотосинтеза растения связывают углекислый газ и выделяют кислород, обеспечивая основу для жизни в биосфере.
- Животные при дыхании потребляют кислород и выделяют углекислый газ, образуя замкнутую цепочку обмена веществ.



Круговорот углерода: компоненты и антропогенный вклад



Антропогенные выбросы существенно увеличивают углекислый газ в атмосфере, нарушая естественный баланс.

Превышение антропогенных выбросов ведет к усилению парникового эффекта и климатическим изменениям.

Отчёт IPCC, 2023

Влияние человека на углеродный цикл

Сжигание ископаемого топлива значительно увеличивает концентрацию CO₂ в атмосфере, ускоряя глобальное потепление.

Массовая вырубка лесов снижает способность биосферы поглощать углерод, ухудшая климатические условия.

Изменение землепользования приводит к нарушению естественного круговорота и увеличению экологических рисков.

Этапы и особенности круговорота азота в природе

Роль атмосферного азота в экосистемах

Азот составляет 78% атмосферы, однако молекулярный N_2 недоступен большинству живых организмов без специальной переработки. Только некоторые микроорганизмы способны фиксировать атмосферный азот, превращая его в биологически активные соединения.



Фазы биологической фиксации и усвоения азота

Микроорганизмы трансформируют атмосферный азот в аммоний и нитраты, которые растения поглощают и используют для синтеза белков и нуклеиновых кислот. Этот процесс обеспечивает жизненно важный элемент азота для пищевых цепей.



Возвращение азота в атмосферу

Процессы аммонификации и денитрификации приводят к выделению азота обратно в атмосферу, завершая цикл. Денитрифицирующие бактерии восстанавливают нитраты в молекулярный азот, обеспечивая баланс между биосферой и атмосферой.



Сравнительная характеристика биогеохимических циклов углерода, кислорода и азота

В таблице представлены основные компоненты, ключевые процессы и особенности обмена углерода, кислорода и азота в биосфере, подчёркивая различия в биологической доступности и скорости круговорота.

Азот отличается отсутствием биологического резерва и сложностью усвоения, что влияет на темпы его круговорота и биологическую доступность.

Элемент	Основной носитель	Источники	Ключевые процессы	Скорость обмена
Углерод	CO ₂	Фотосинтез, дыхание	Ассимиляция, минерализация	Высокая
Кислород	O ₂	Фотосинтез	Дыхание, гниение	Высокая
Азот	N ₂	Фиксация микроорганизмами	Фиксация, аммонификация, денитрификация	Средняя

Значение фосфора и его круговорот в экосистемах

Фосфор входит в состав молекул ДНК, РНК, АТФ и клеточных мембран, являясь критически важным элементом для жизнедеятельности и роста организмов.

В отличие от других элементов, фосфор не образует газовой фазы, что делает его круговорот медленным и зависящим от процессов вымывания и осаждения.

Избыточное внесение фосфорных удобрений приводит к накоплению фосфора в водных и наземных экосистемах, вызывая эвтрофикацию и снижение биоразнообразия.

Влияние человеческой деятельности на круговорот фосфора

Интенсивное применение фосфатных удобрений увеличивает концентрацию фосфора в почвах, нарушая естественные балансы и свойства почвенного покрова.

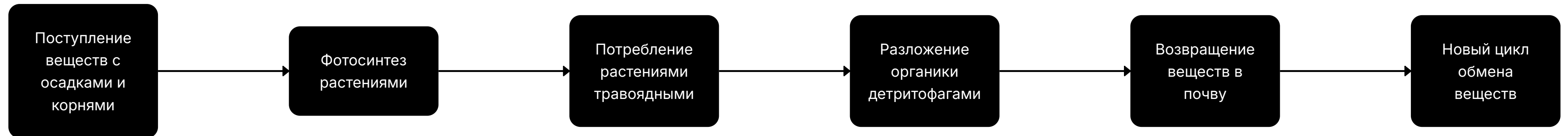
Избыточный фосфор легко вымывается в водоёмы, способствуя бурному росту водорослей и развитию эвтрофикации.

Эвтрофикация водоёмов снижает прозрачность воды и ухудшает условия жизни водных организмов, вызывая гибель рыб и других обитателей.

В регионах центральной России наблюдается массовое цветение водоёмов, свидетельствующее о значительном антропогенном воздействии на водные экосистемы.

Основные этапы круговорота веществ в лесной экосистеме

Последовательность обмена элементами между компонентами леса



Микроорганизмы в биогеохимических циклах: ключевые функции

Разложение органических веществ и освобождение питательных элементов

Микроорганизмы разлагают мёртвую органику, высвобождая углерод, азот, серу и фосфор в доступные формы. Этот процесс обеспечивает непрерывное пополнение питательных веществ в экосистемах.



Фиксация атмосферного азота и ускорение минерализации

Клубеньковые бактерии фиксируют атмосферный азот, делая его доступным для растений. Грибы и другие микроорганизмы стимулируют минерализацию, поддерживая обмен веществ и устойчивость почвенного биоценоза.



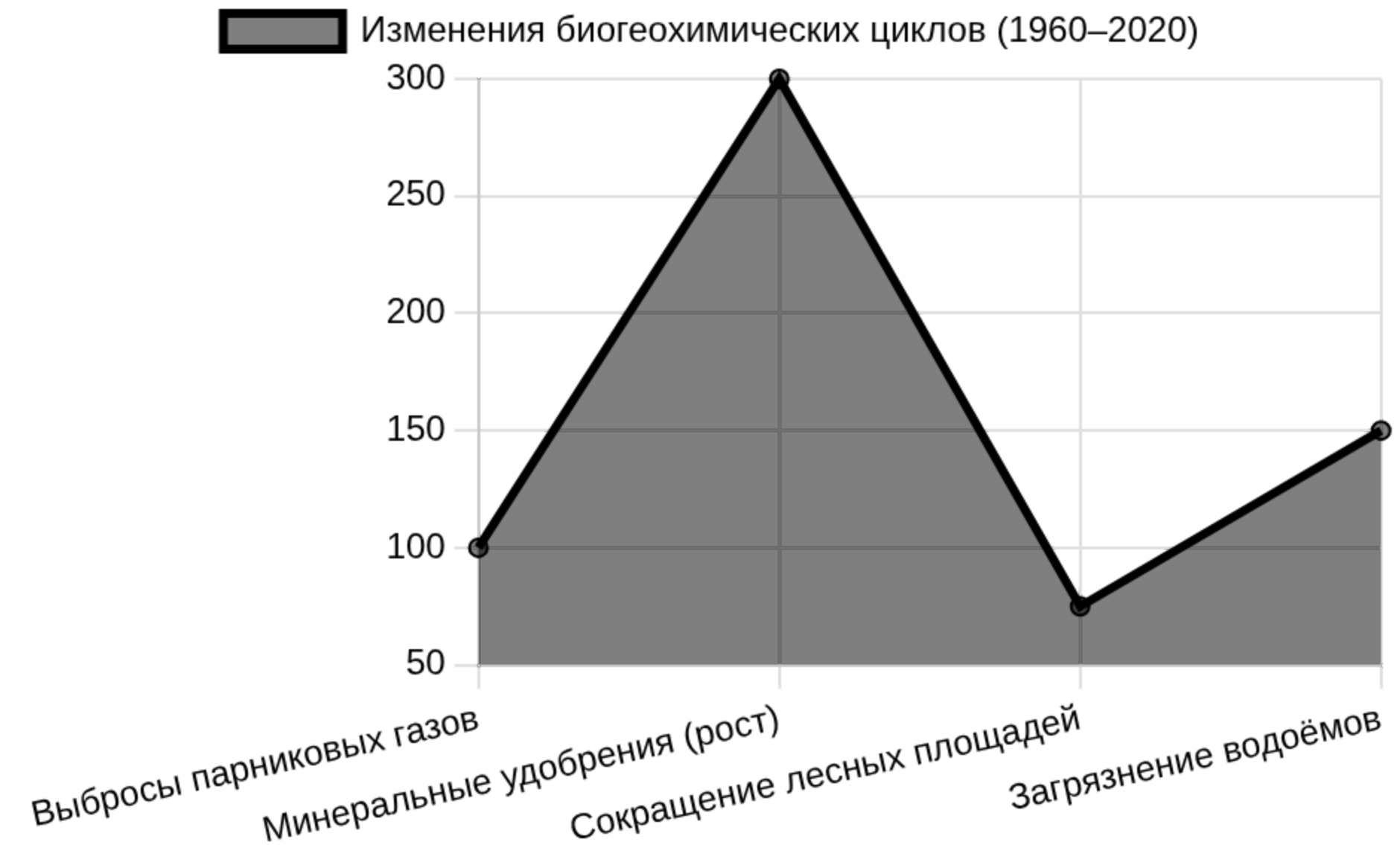
Круговорот серы: пути и экологические последствия

Сера входит в состав аминокислот и витаминов, играя важную роль в обменных процессах живых организмов.

Природные источники серы включают вулканические извержения и разложение органики; промышленные выбросы существенно увеличивают концентрацию сернистых соединений в атмосфере.

Загрязнение сернистыми соединениями ведёт к кислотным дождям, оказывающим разрушительное воздействие на почвы, водоёмы и растительность.

Динамика изменений круговоротов элементов за 60 лет



Значительный рост использования удобрений и антропогенного воздействия усилил дисбаланс биогеохимических циклов, ускоряя климатические и экологические изменения.

Нарастание антропогенных нагрузок свидетельствует о влиянии человеческой деятельности на устойчивость экологических систем.

Международный экологический отчет, 2023

Экологические последствия нарушения круговорота веществ

Дисбаланс в циклах приводит к сокращению численности и исчезновению многих видов, нарушая устойчивость биологических сообществ.

Почвы теряют плодородие, снижается биопродуктивность систем, что негативно отражается на сельском хозяйстве и природных экосистемах.

Увеличение кислородного дефицита формирует «мёртвые зоны» в водоёмах, где жизнь становится невозможной для большинства организмов.

Для сохранения природы необходимы рациональное природопользование и внедрение биотехнологий для восстановления естественных процессов.

Круговорот веществ — фундамент жизни и устойчивого будущего

Сохранение баланса элементов требует объединения науки, образования и общества, направленного на бережное отношение к природе и внедрение инноваций для стабильности биосферы.