

Структура и динамика ЭКОСИСТЕМ

*Вадим Михайлович Хайтов
к.б.н.
кафедра Зоологии
беспозвоночных
polydora@rambler.ru*

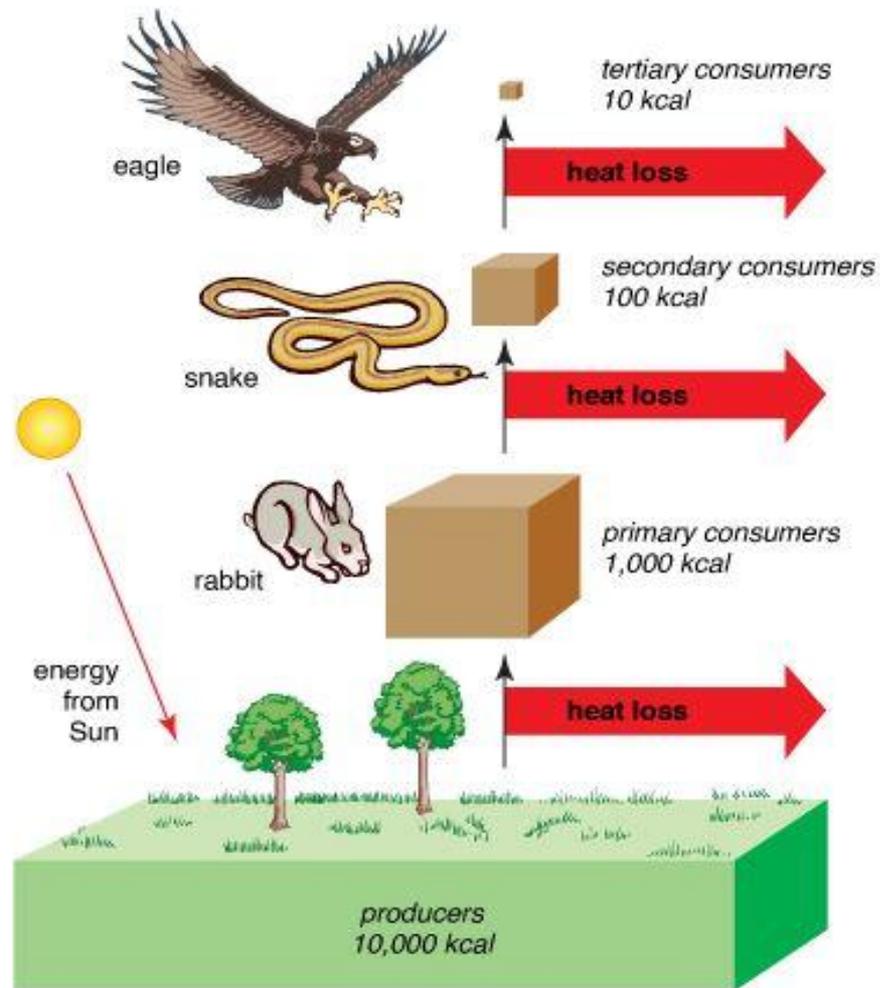
Роль трофических связей в
формировании структуры
сообществ

Трофические уровни

Трофический уровень — это совокупность организмов, занимающих определенное положение в общей цепи питания.

К одному трофическому уровню принадлежат организмы, получающие свою энергию от Солнца через одинаковое число ступеней.

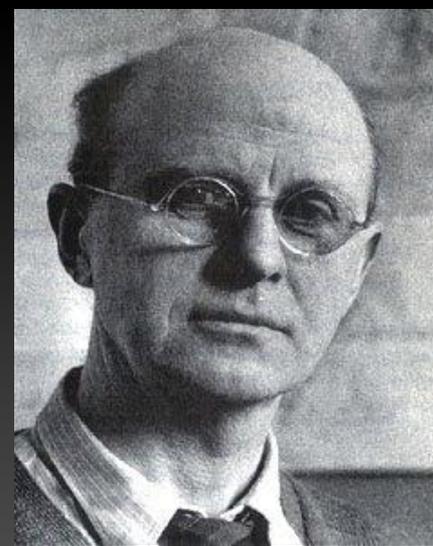
Energy flow and trophic levels



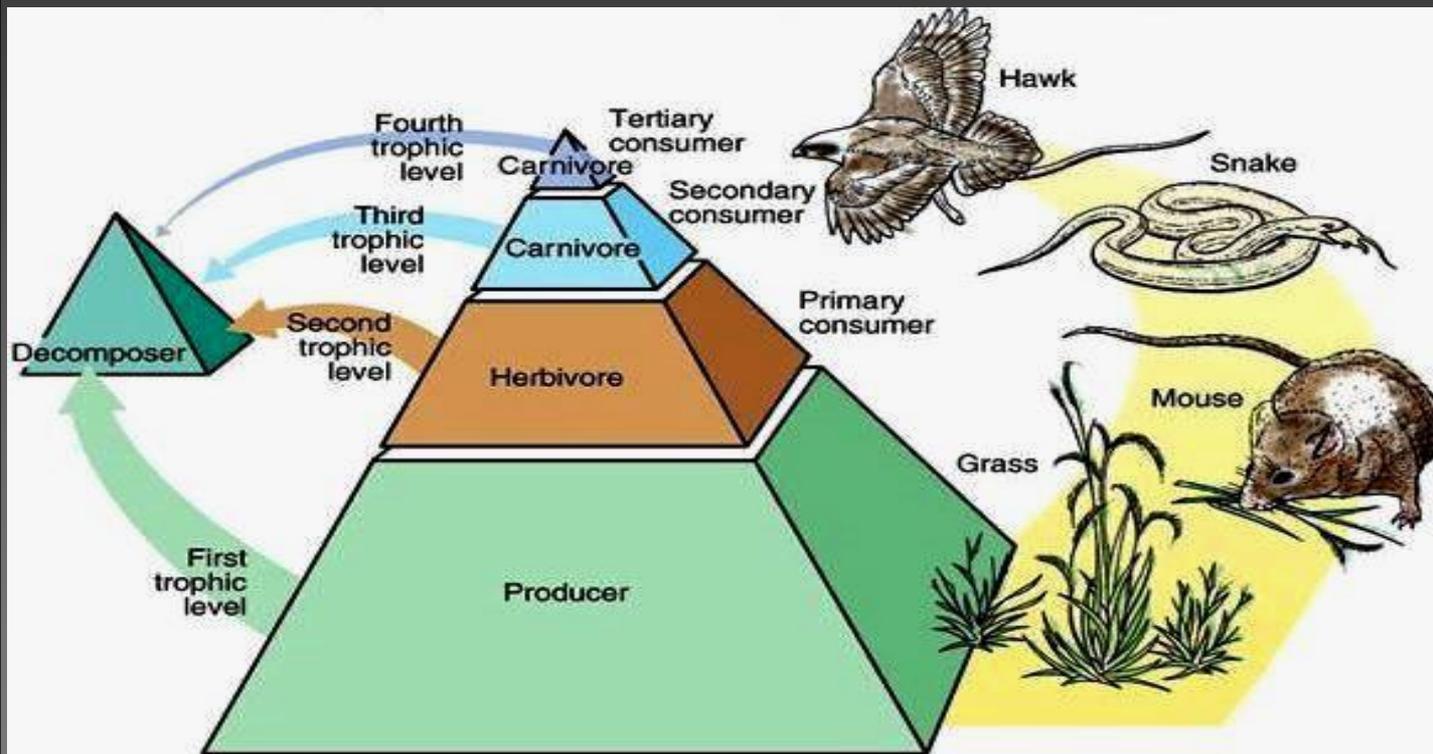
© Encyclopædia Britannica, Inc.

Трофическая пирамида

Трофическая пирамида - соотношение между продуцентами, консументами и редуцентами в естественных экосистемах, выраженное в виде графических моделей.



Charles Sutherland
Elton
(1900-1991)



Правило десяти процентов

THE TROPHIC-DYNAMIC ASPECT OF ECOLOGY

RAYMOND L. LINDEMAN

Osborn Zoological Laboratory, Yale University

Recent progress in the study of aquatic food-cycle relationships invites a re-appraisal of certain ecological tenets. Quantitative productivity data provide a basis for enunciating certain trophic principles, which, when applied to a series of successional stages, shed new light on the dynamics of ecological succession.

"COMMUNITY" CONCEPTS

A chronological review of the major viewpoints guiding synecological thought indicates the following stages: (1) the static species-distributional viewpoint; (2) the dynamic species-distributional viewpoint, with emphasis on successional phenomena; and (3) the trophic-dynamic viewpoint. From either species-distributional viewpoint, a lake, for example, might be considered by a botanist as containing several distinct plant aggre-

community. A more "bio-ecological" species-distributional approach would recognize both the plants and animals as co-constituents of restricted "biotic" communities, such as "plankton communities," "benthic communities," etc., in which members of the living community "co-act" with each other and "react" with the non-living environment (Clements and Shelford, '39; Carpenter, '39, '40; T. Park, '41). Coactions and reactions are considered by bio-ecologists to be the dynamic effectors of succession.

The trophic-dynamic viewpoint, as adopted in this paper, emphasizes the relationship of trophic or "energy-availing" relationships within the community-unit to the process of succession. From this viewpoint, which is closely allied to Vernadsky's "biogeochemical" approach (cf. Hutchinson and Wollack, '40) and to the "oekologische Sicht" of Friederichs ('30) a lake is considered as a primary



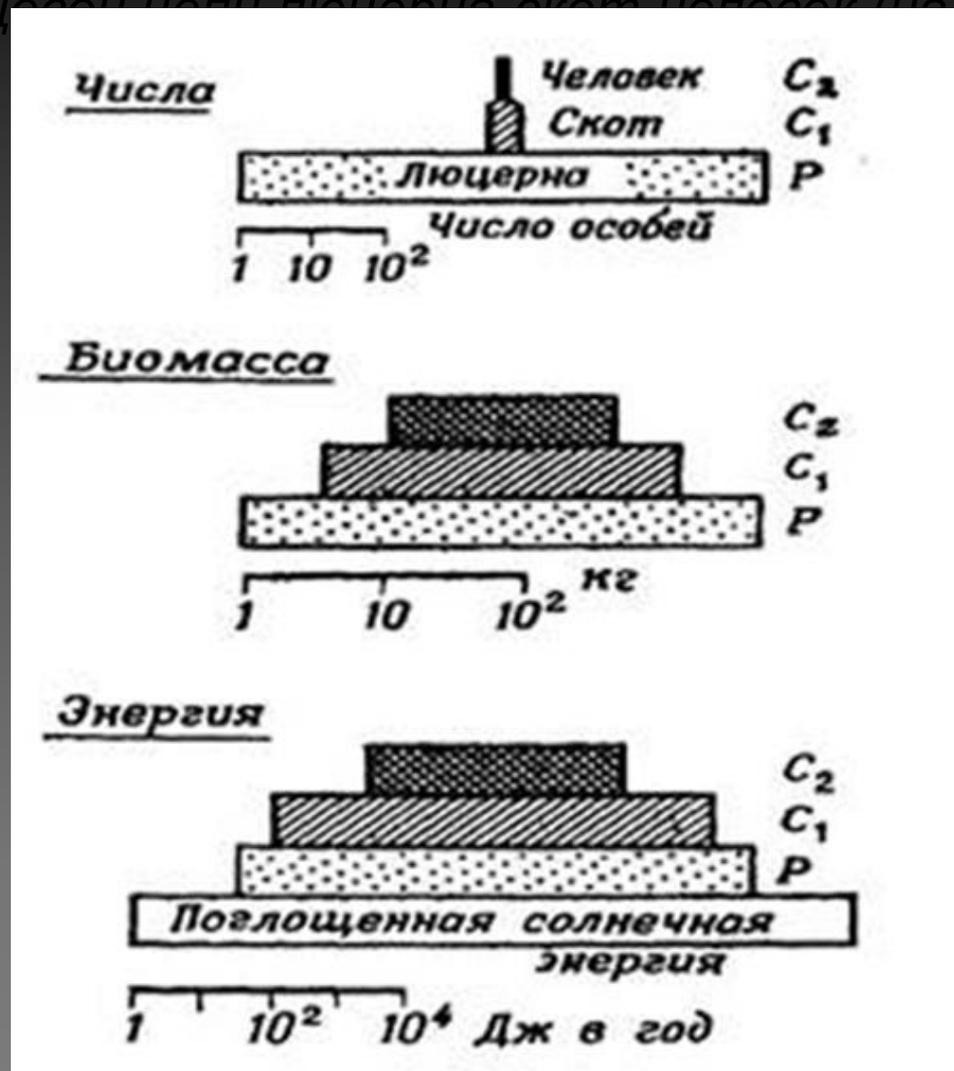
Раймонд Линдеман
(1915-1942)

При переходе с одного трофического уровня экологической пирамиды на другой в среднем сохраняется около 10 % энергии, поступающей на предыдущий уровень.

Остальная энергия (около 90%) расходуется на процессы жизнедеятельности и переходит в тепловую энергию, которая рассеивается в окружающее пространство.

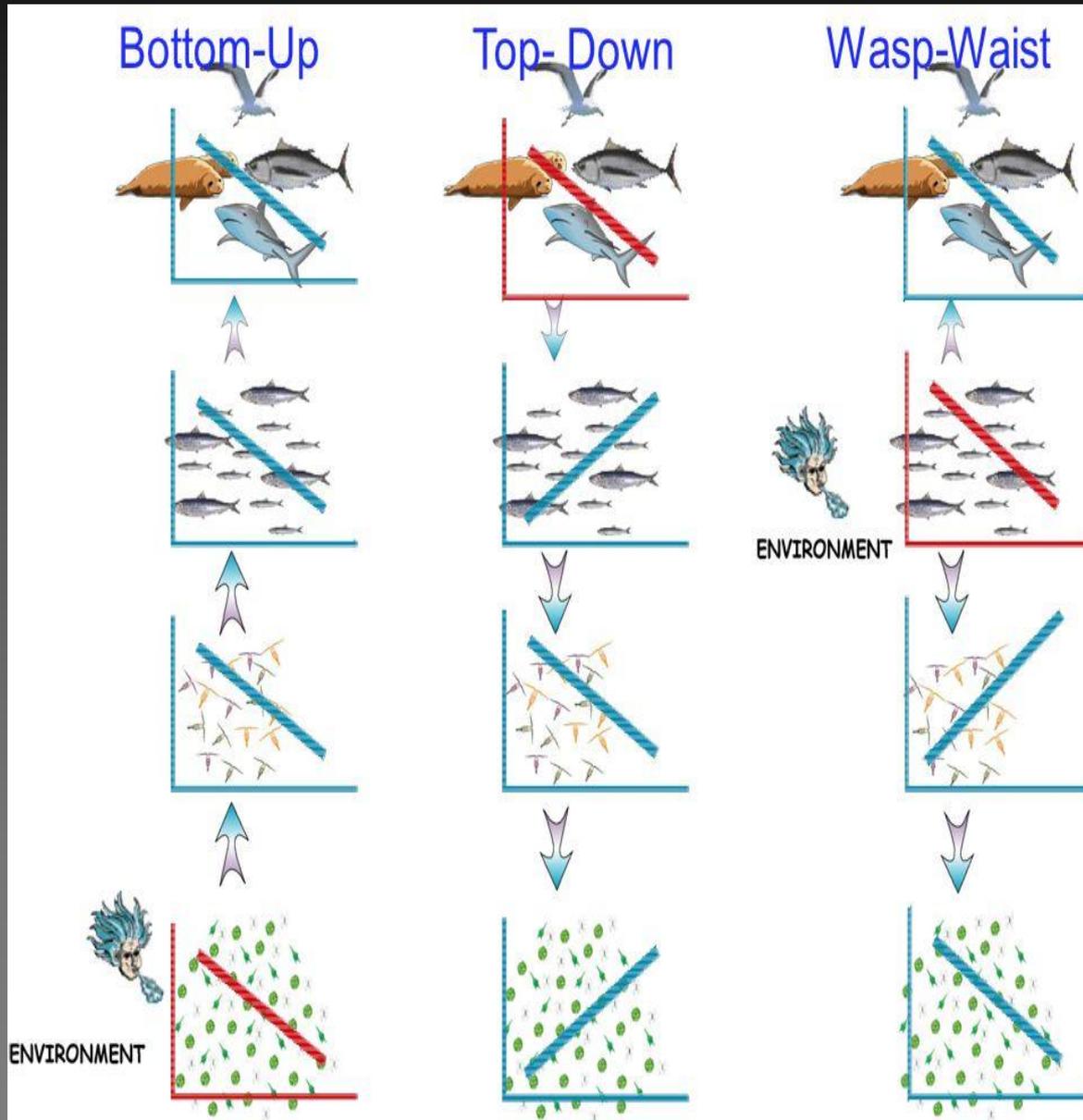
Экологические пирамиды

Сравнение пирамид чисел, биомассы и энергии для гипотетической пищевой цепи люцерны, скота и человека (на 4 га)



P - продуценты, C1 и C2 - консументы 1-го и 2-го порядков

Регуляция трофической структуры сообщества



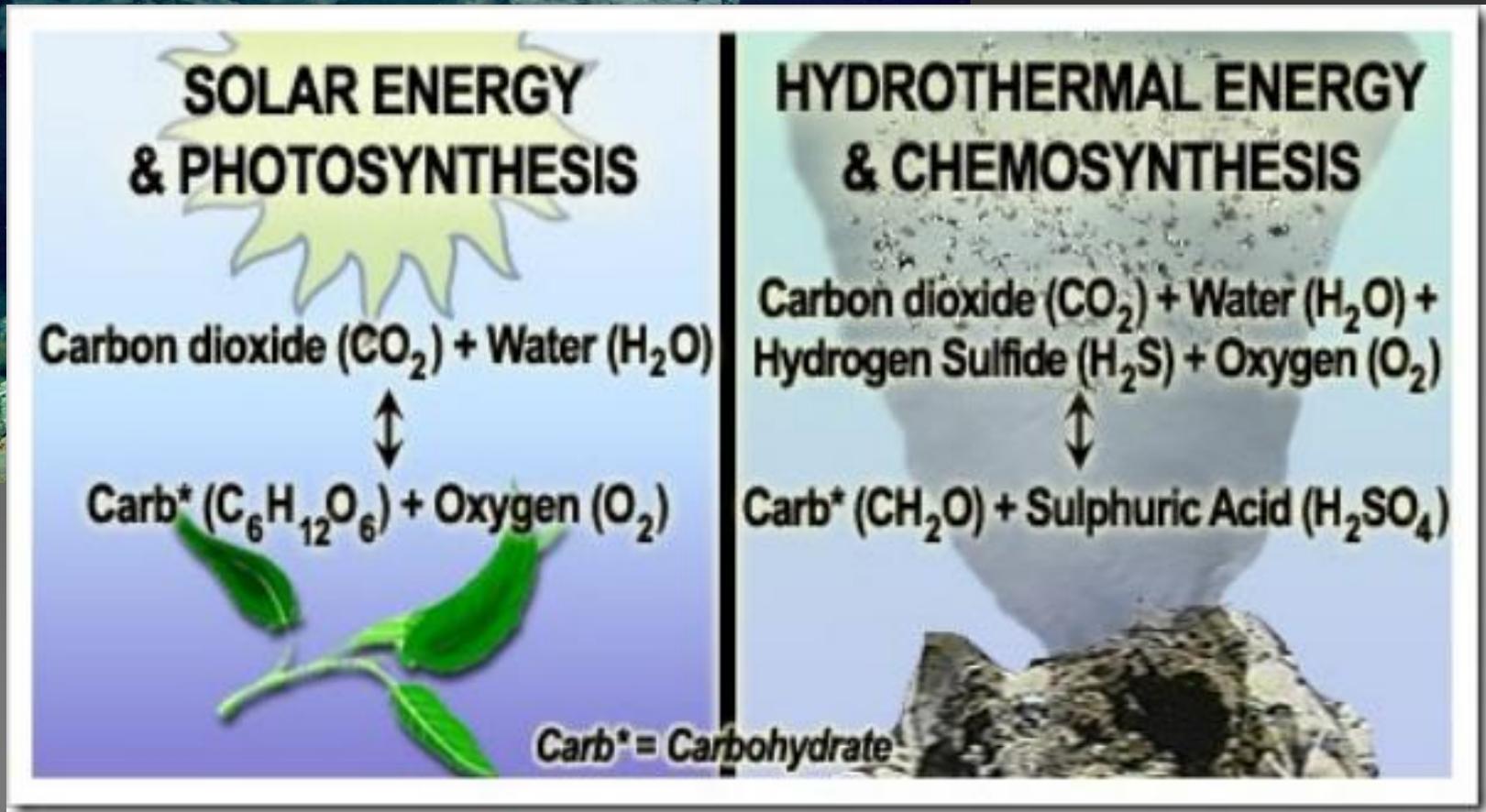
Три типа трофических цепей

Пастбищные цепи



https://privetstudent.com/uploads/posts/2013-03/1363607689_1f384935324b35-46353f38-38-42403e44384735413a3835-43403e323d38-1.png

Трофические цепи, основанные на хемосинтезе



Как существует богатая пещерная фауна?



- Наземные сообщества (первичная и вторичная продукция)

☞ Летучие мыши

- Экскременты



Детрит

☞ Копрофаги и детритофаги (мелкие насекомые)

- » Членистоногие-хищники
- » Змеи, грызуны (иногда птицы)

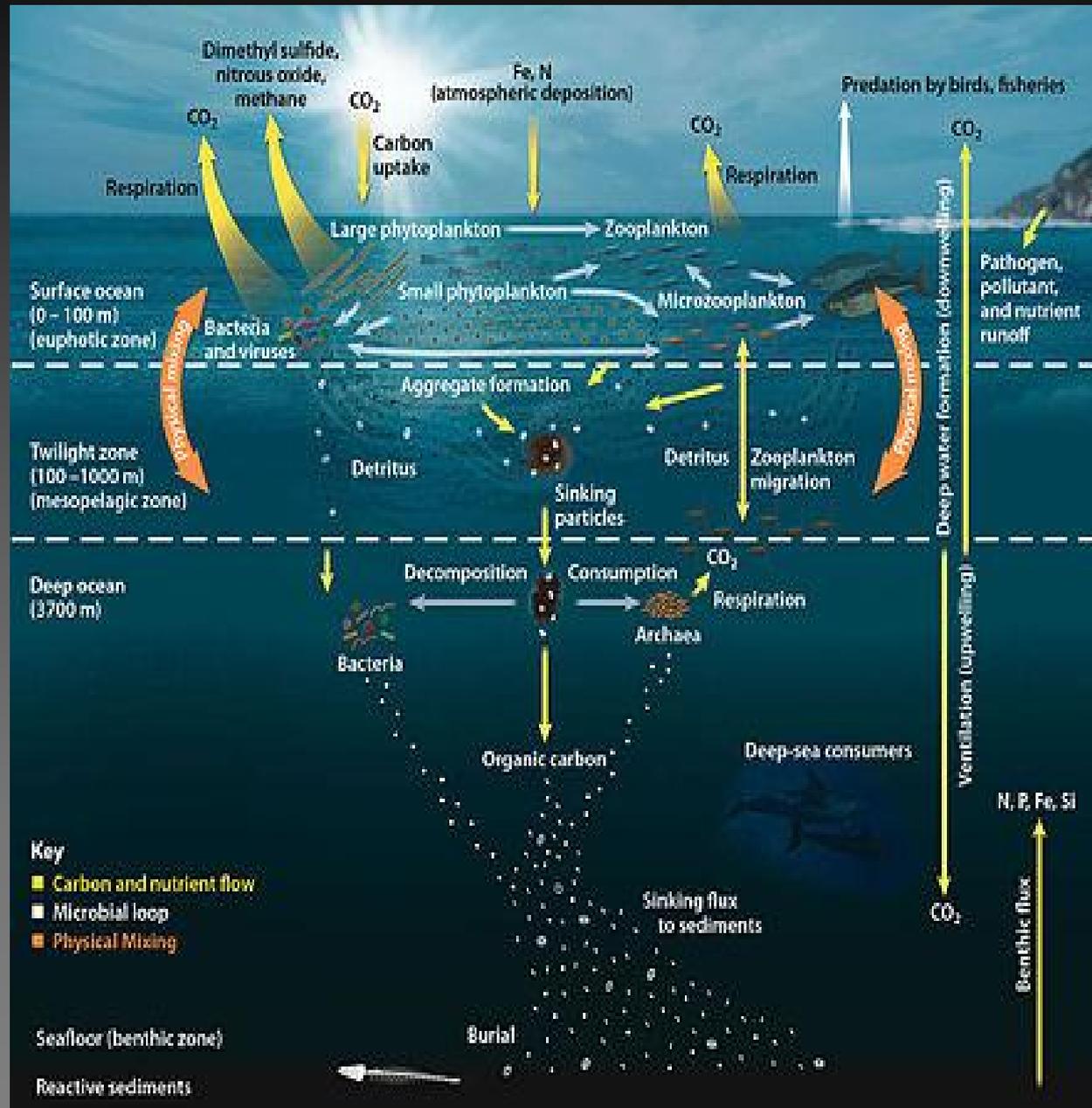
Глубоководные сообщества

Чем питается эта рыба?



<https://www.nhm.ac.uk/content/dam/nhmwww/discover/deep-sea-fish/deep-sea-angler-two-column.jpg.thumb.768.768.jpg>

Детритные трофические цепи



Экосистемы и Биогеоценозы

Артур Тэнсли

(1871-1955)

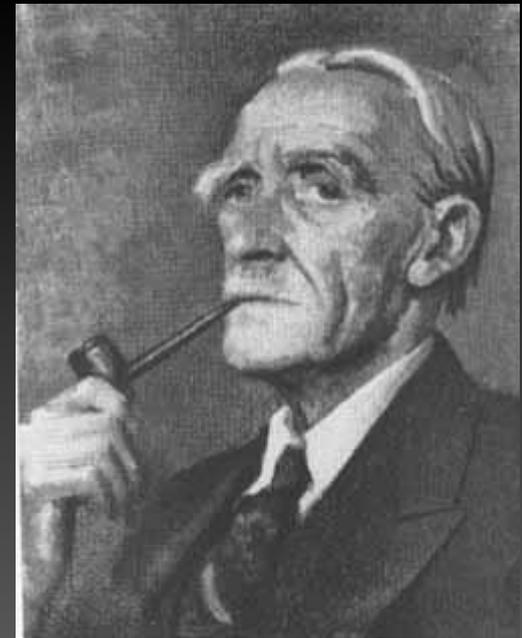
Английский геоботаник.

В 1935 г. ввел понятие «экосистема».

Экосистема – это любая совокупность организмов и неорганических компонентов, в которой может осуществляться круговорот веществ.

Схема интеграции: Биотоп + Биоценоз = Экосистема

Рассматривал экосистемы как основные единицы природы на поверхности Земли, хотя они и не имеют определенного объема и могут охватывать пространство любой протяженности.

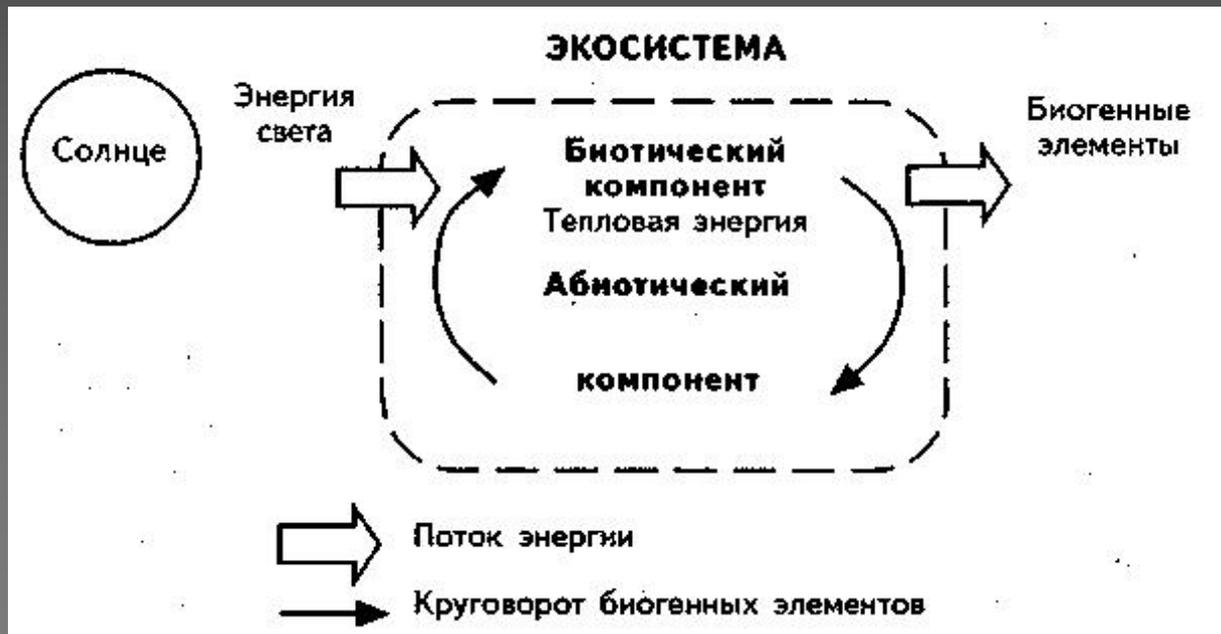


Экосистема

Экологическая система (экосистема) — совокупность живых организмов (сообществ) и среды их обитания, образующих благодаря круговороту веществ и потоку энергии, устойчивую систему жизни.

БАЗОВАЯ ЕДИНИЦА ЭКОЛОГИИ – ограниченный во времени и пространстве единый природный комплекс

Функциональная схема экосистемы

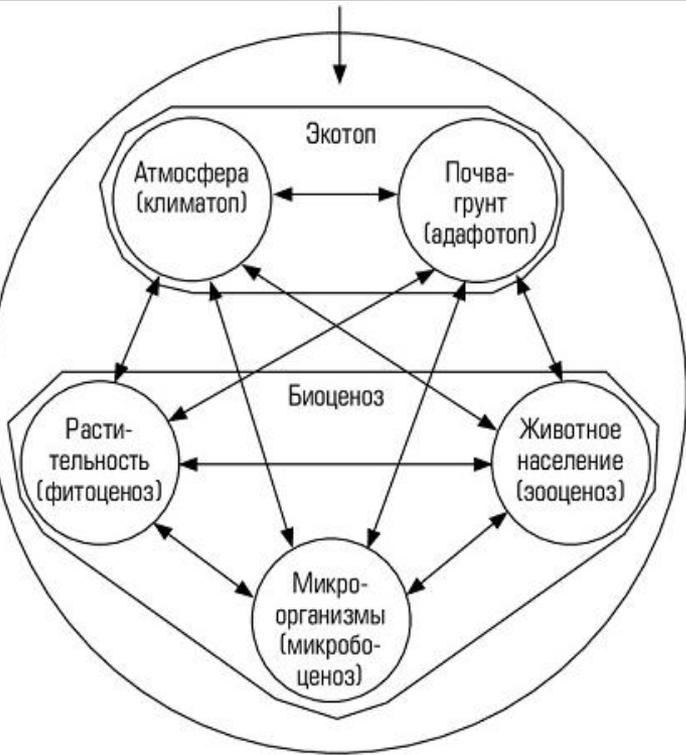


1935 г. – рождение ЭКОЛОГИИ как самостоятельной науки

Сукачѳв

Владимир Николаевич

(1880 -1967)



Биогеоценоз - естественный однородный участок земной поверхности с определенным составом организмов, которые населяют ее (бактерий, растений, животные, грибов), и комплексом абиотических компонентов (почвой, воздухом, солнечной энергией и другими), которые связаны обменом вещества и энергии в единую естественную систему.

Соотношение понятий «экосистема» и «биогеоценоз»



Каждый биогеоценоз — это экосистема, но не каждая экосистема — биогеоценоз.



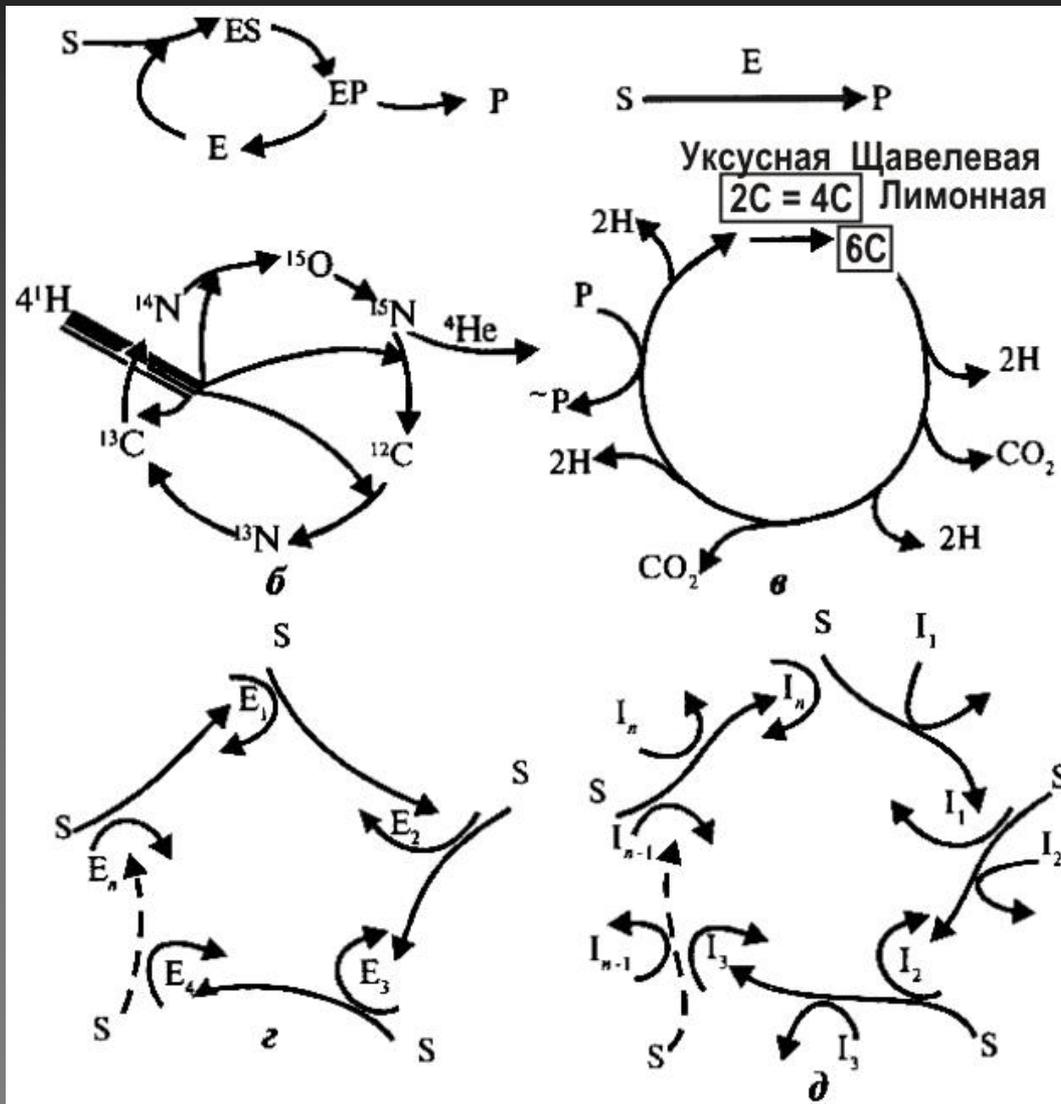
Общая черта всех экосистем - это
открытые системы, существующие
в потоке вещества и энергии

Биогеоценозы - это экосистемы
с относительно замкнутыми
круговоротами вещества

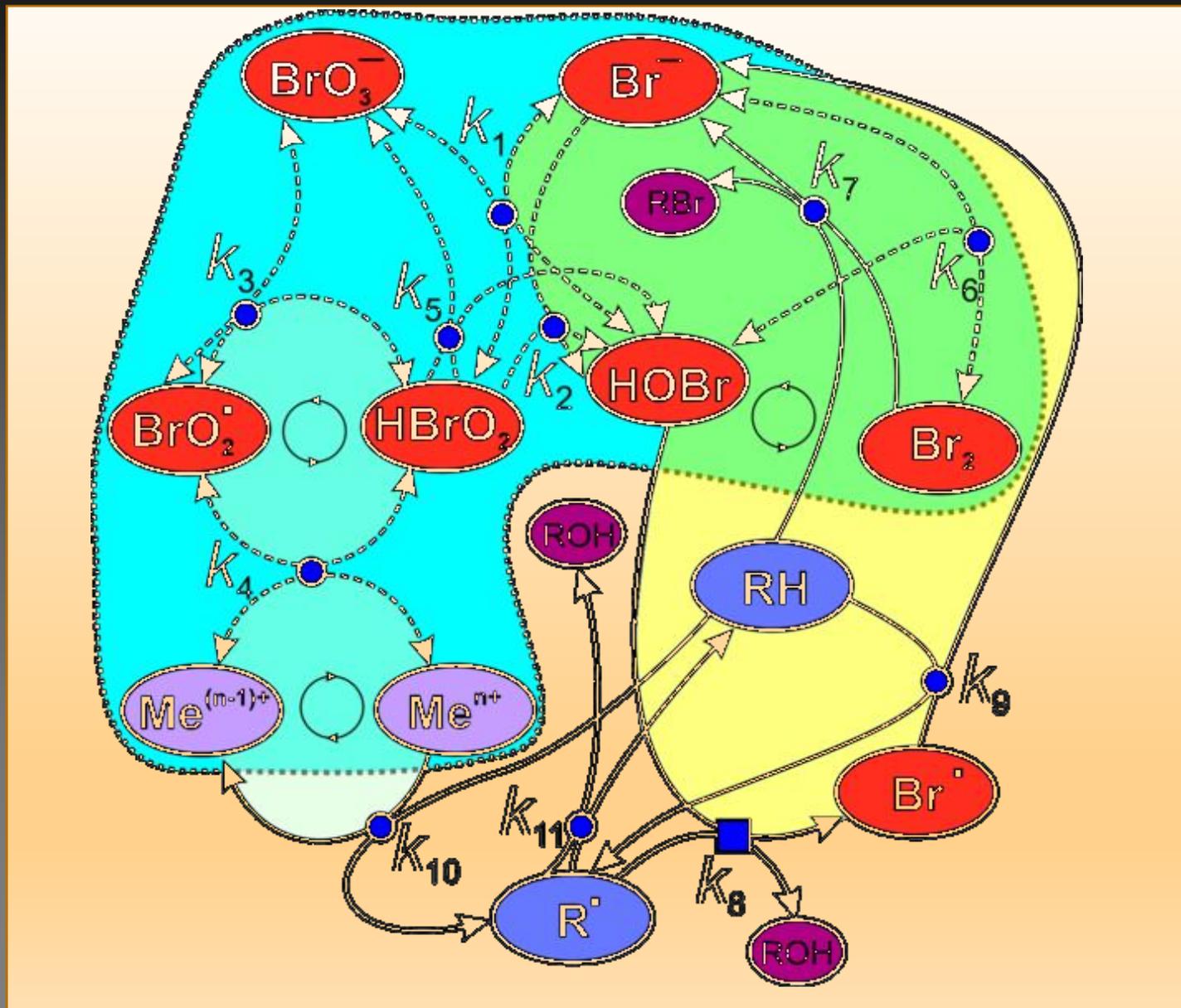
Биогеохимические циклы

Почему циклы?

Потоки и Циклы

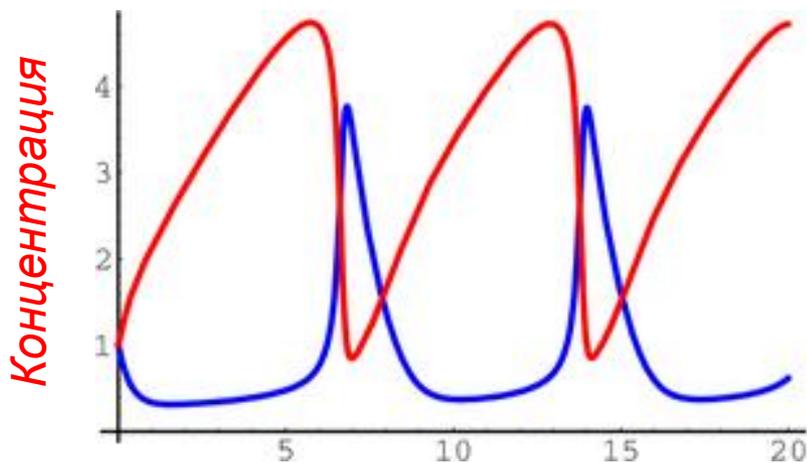


Реакция Белоусова-Жаботинского

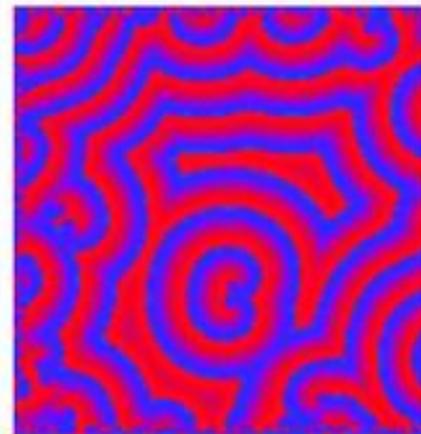


Модель «брюсселятора»

- Циклическая химическая реакция



Время



Диссипативные
структуры

Диссипативные структуры

- Диссипативная система - открытая система, существующая вдали от термодинамического равновесия. Это устойчивое состояние, возникающее в неравновесной среде при условии рассеивания энергии, поступающей извне.
- Диссипативные структуры могут неограниченно долго только в ОТКРЫТЫХ системах, через которые протекает непрерывный поток энергии или вещества, поддерживаемый за счет градиента температуры, концентрации, электрического потенциала и т.д.

Биоценотическая концепция абиогенеза

Автокаталитические циклы второго порядка, химическая эволюция
на основе принципа отбора



Появление рибозимов открыло путь для возникновения
протометаболических циклов



Протобиоценозы, как системы
взаимодействующих круговоротов



«Вычленение» организмов, как
локальных диссипативных структур



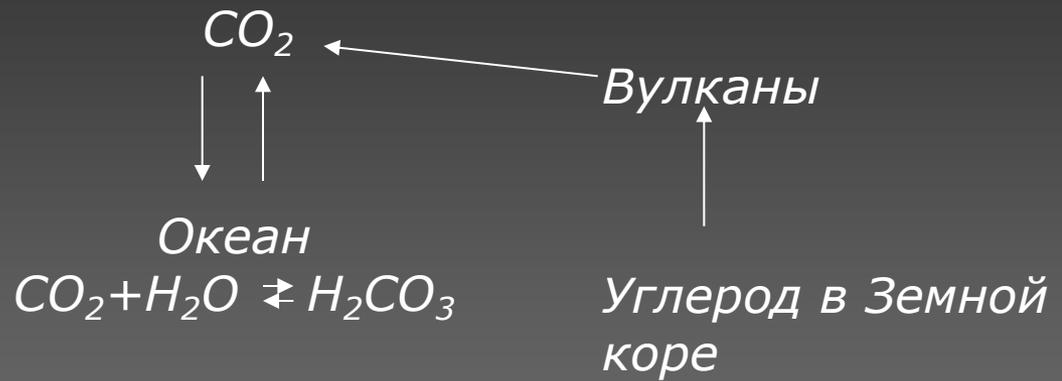
Формирование настоящих биоценозов

Строматолиты - одни из первых настоящих биоценозов

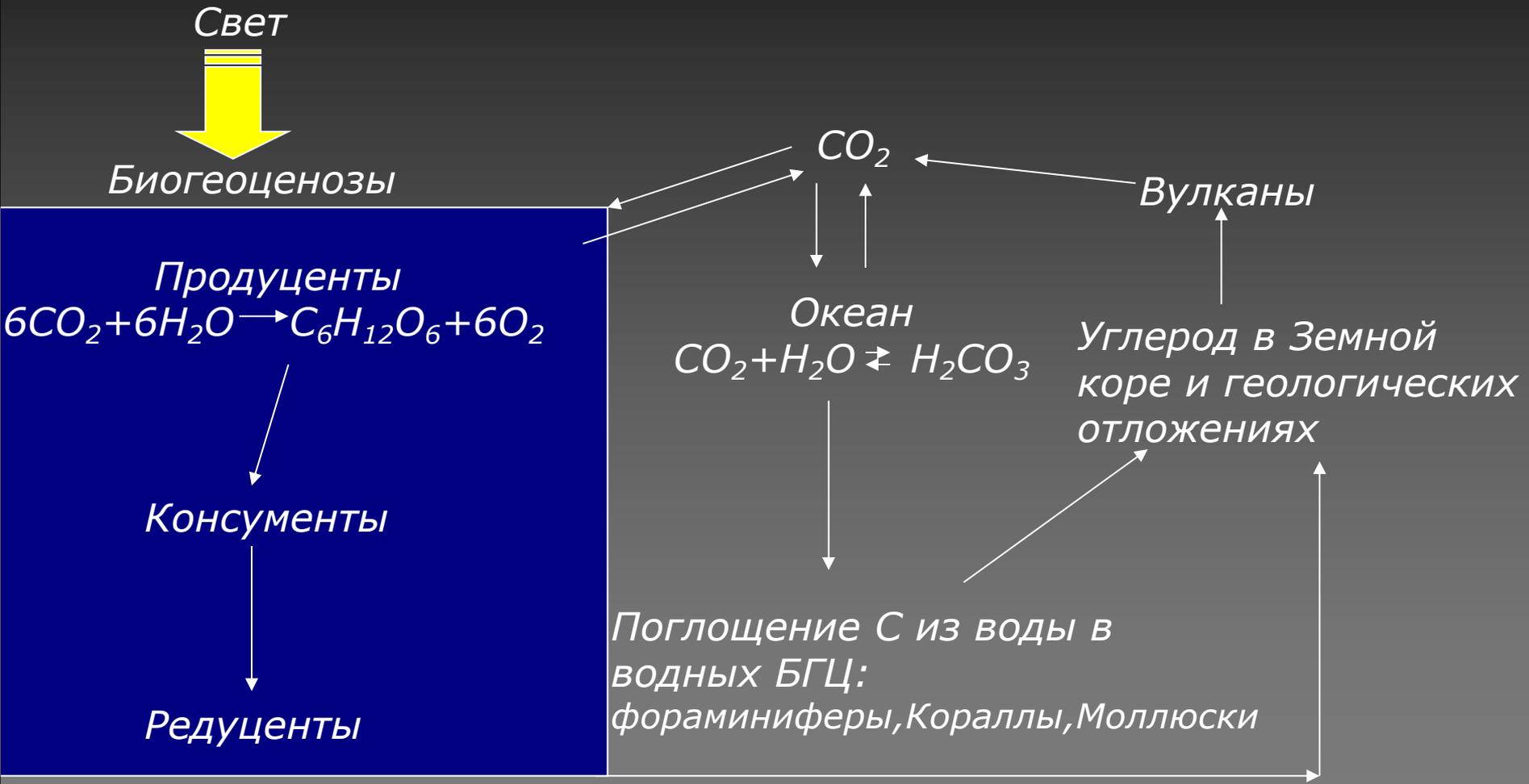


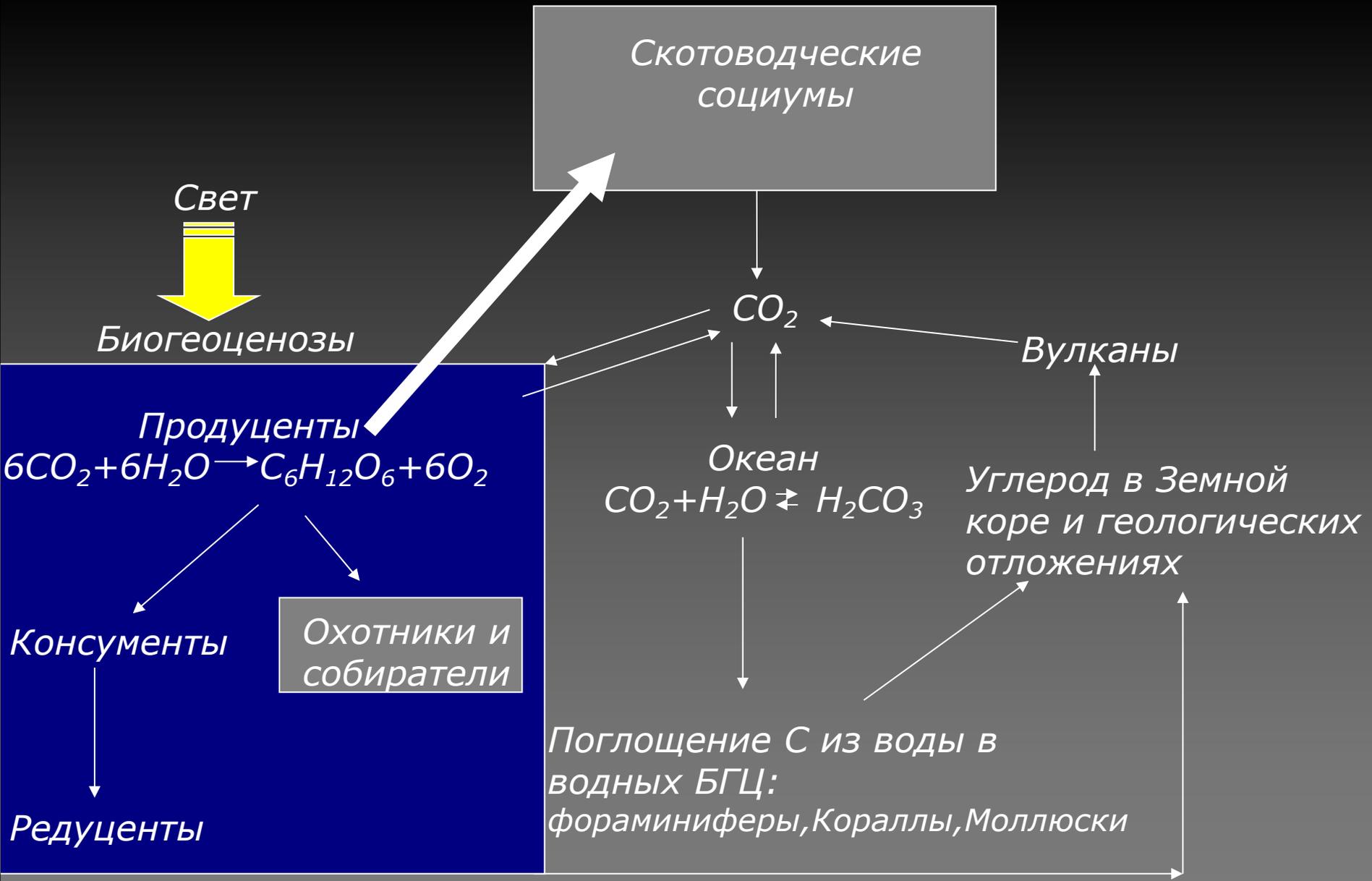
Почему биогеохимические?

Абиотический круговорот углерода (это фактически поток)



Круговорот углерода с участием «живого вещества»





Скотоводческие
социумы

Свет



Биогеоценозы

Продуценты



Консументы

Редуценты

CO₂

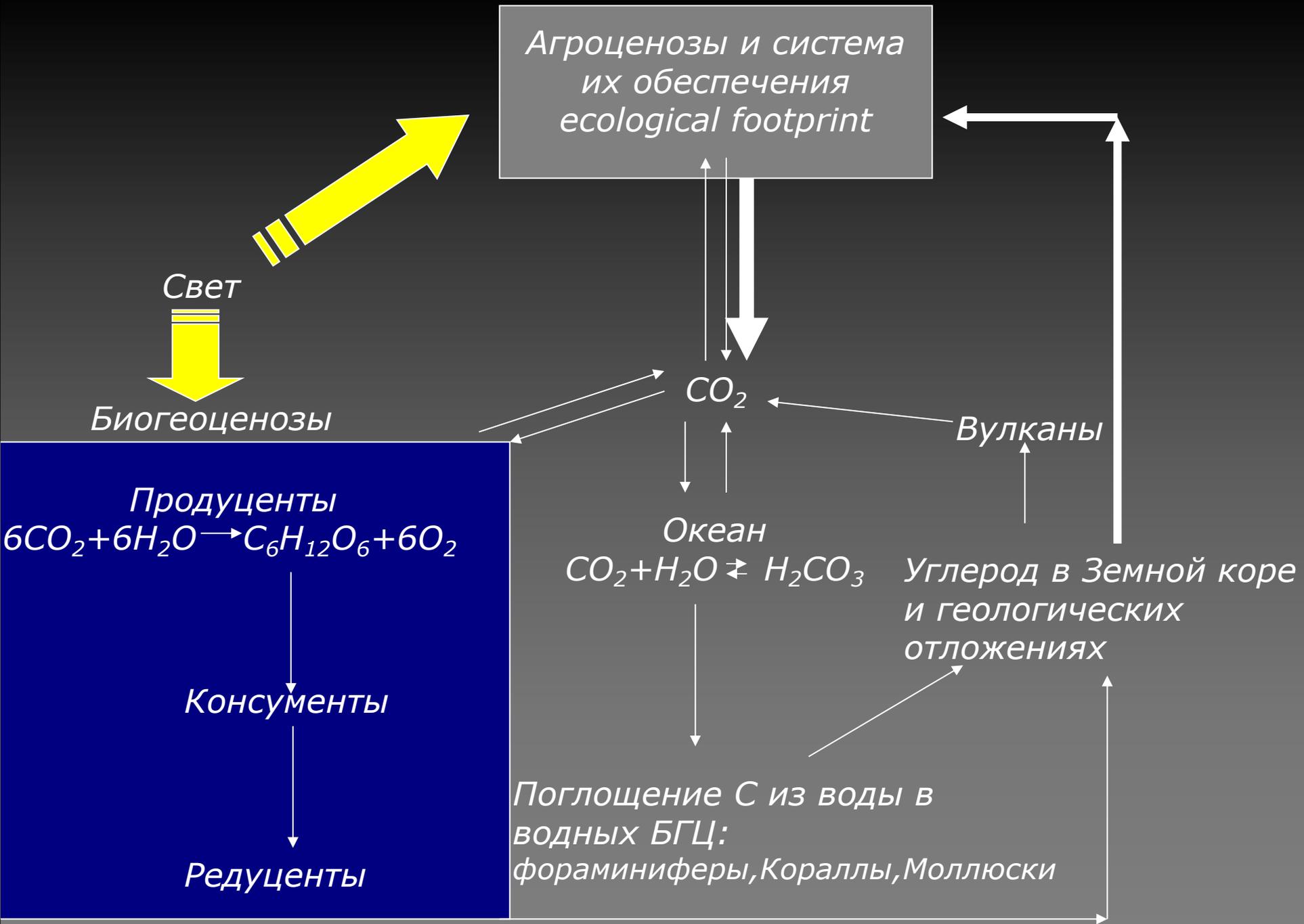
Вулканы

Океан



Углерод в Земной
коре и геологических
отложениях

Поглощение С из воды в
водных БГЦ:
фораминиферы, Кораллы, Моллюски



Динамика экосистем

Уровни динамики

Суточная циклическая динамика



Уровни динамики

Сезонная циклическая динамика



Уровни динамики

*Изменения в биоценозах в масштабах
эволюционного процесса*



Уровни динамики

*Долговременная направленная
динамика
(сукцессия)*

Сукцессия

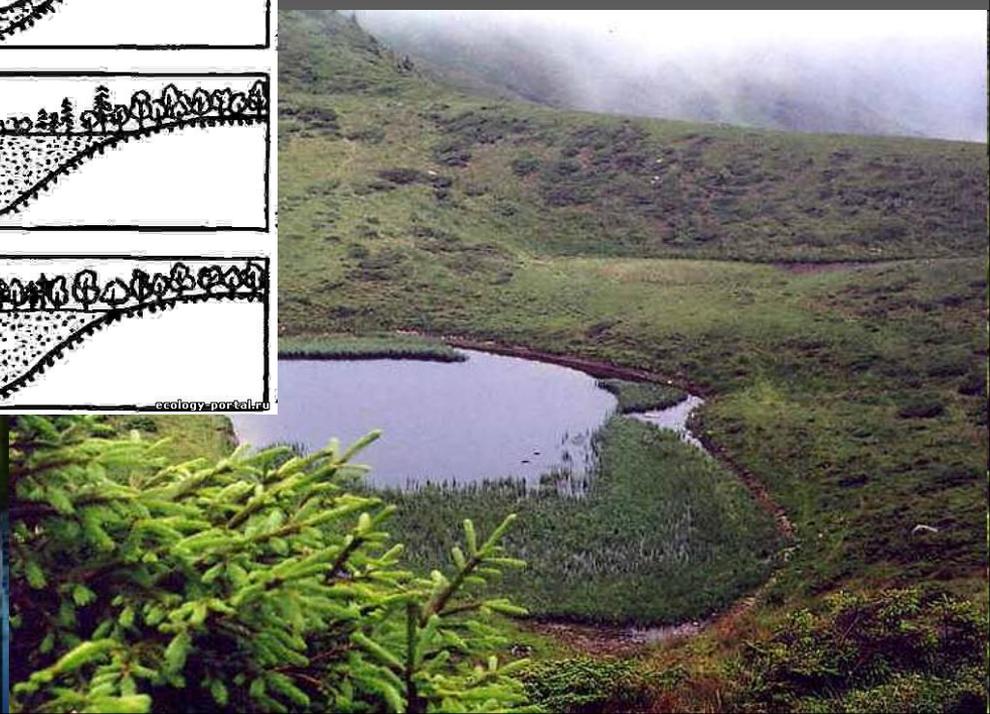
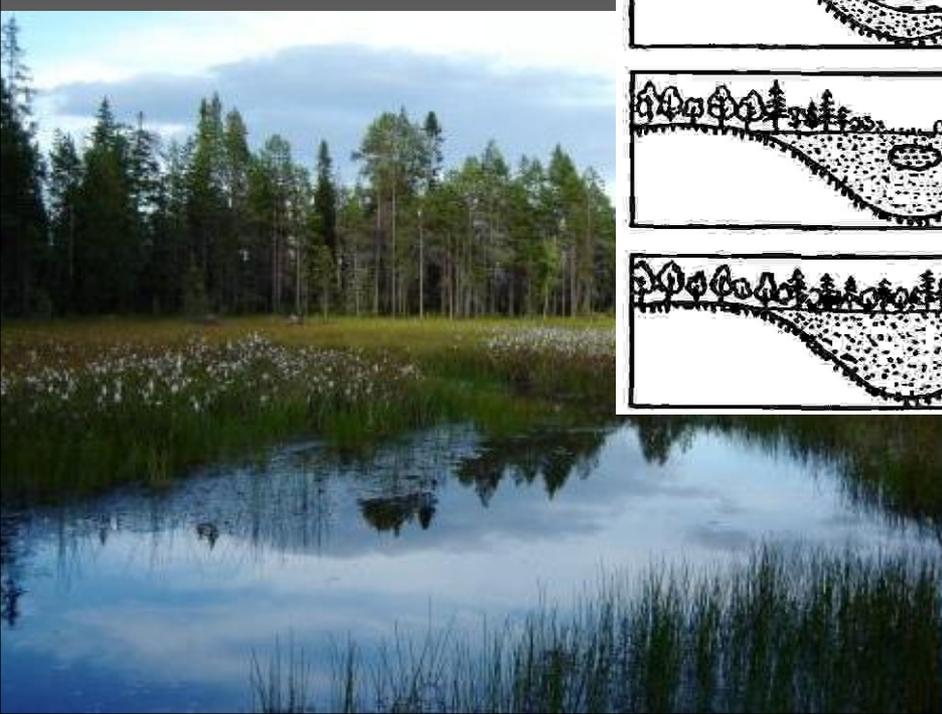
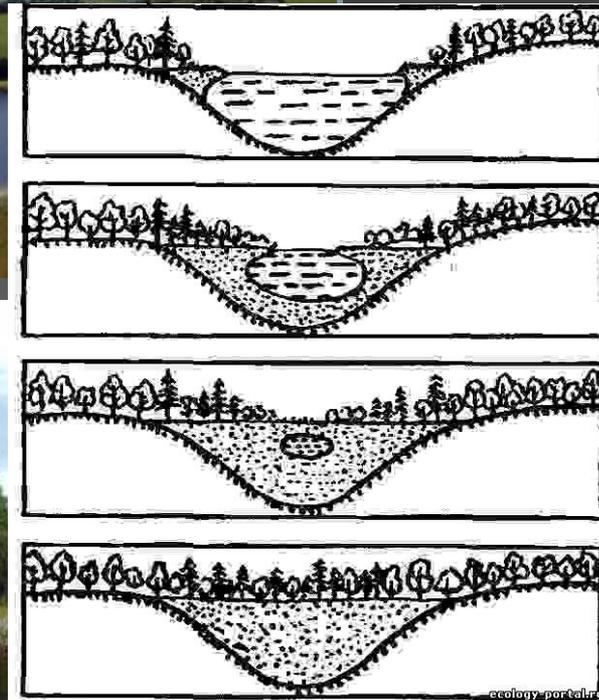
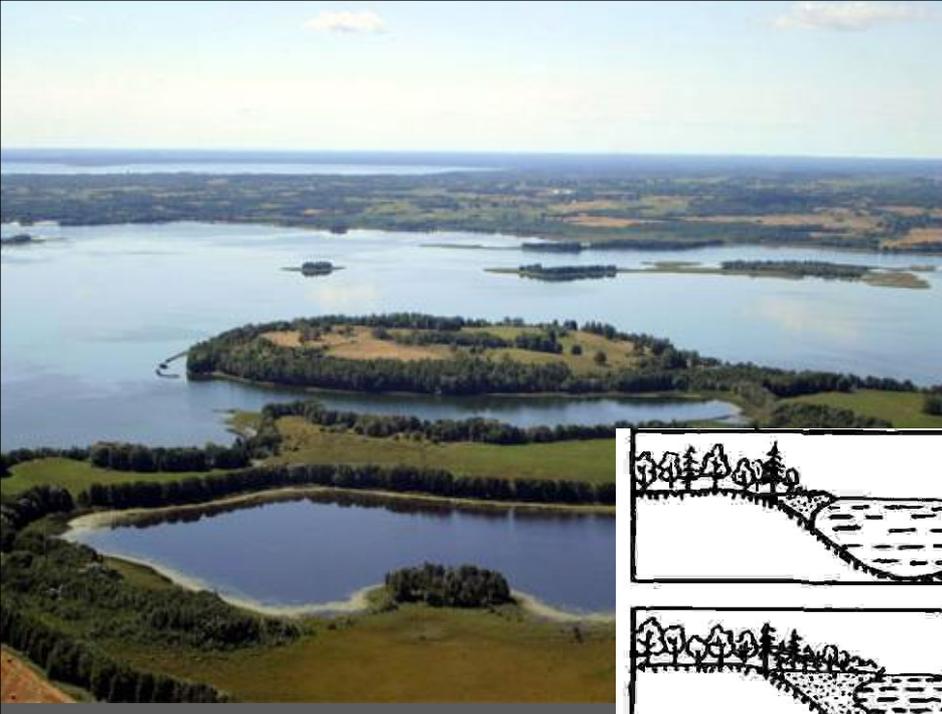
- Сукцессия — последовательная закономерная смена одного сообщества другим на некотором участке среды во времени.

Примеры сукцессионных изменений

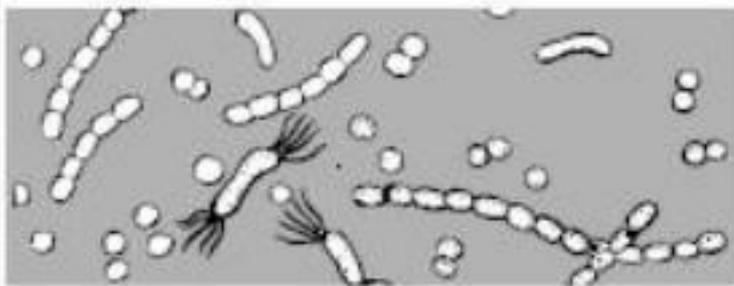
Растительность дюн



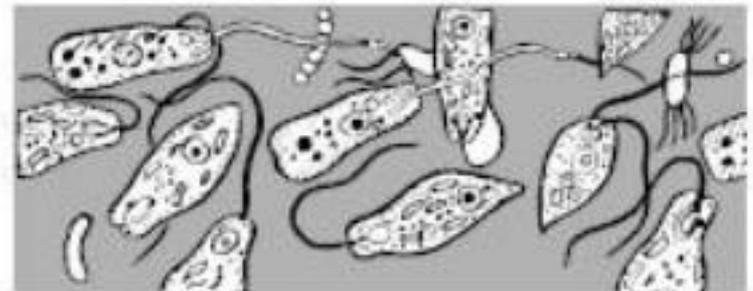
Озеро - болото - лес



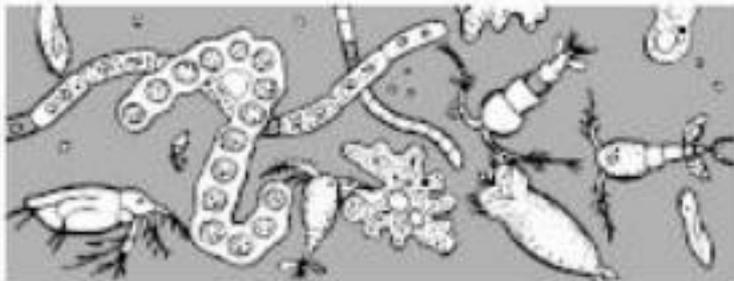
Сукцессия в сенном настое



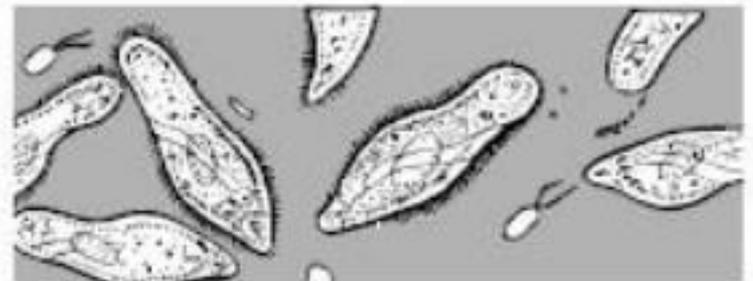
Начальная стадия



Стадия жгутиковых



Устойчивое сообщество



Стадия инфузорий

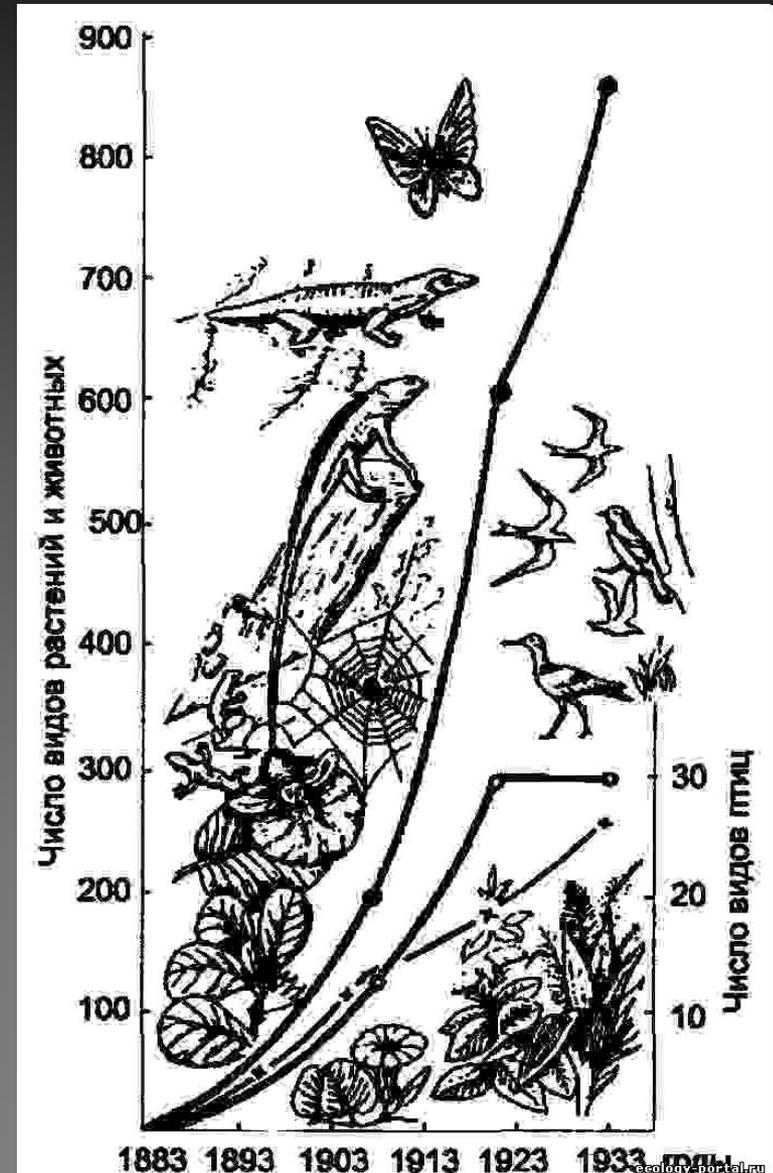
Деградационная сукцессия



Методы описания сукцессионных изменений

- Прямое наблюдение (мониторинг).

Динамика видового разнообразия на о. Кракатау после полного уничтожения флоры и фауны вулканическим взрывом в 1893 г.



Методы описания сукцессионных изменений

▶ *Реконструкция сукцессии по пространственной структуре сообщества.*



Методы описания сукцессионных изменений



▶ *Реконструкция на основе следов и останков организмов.*

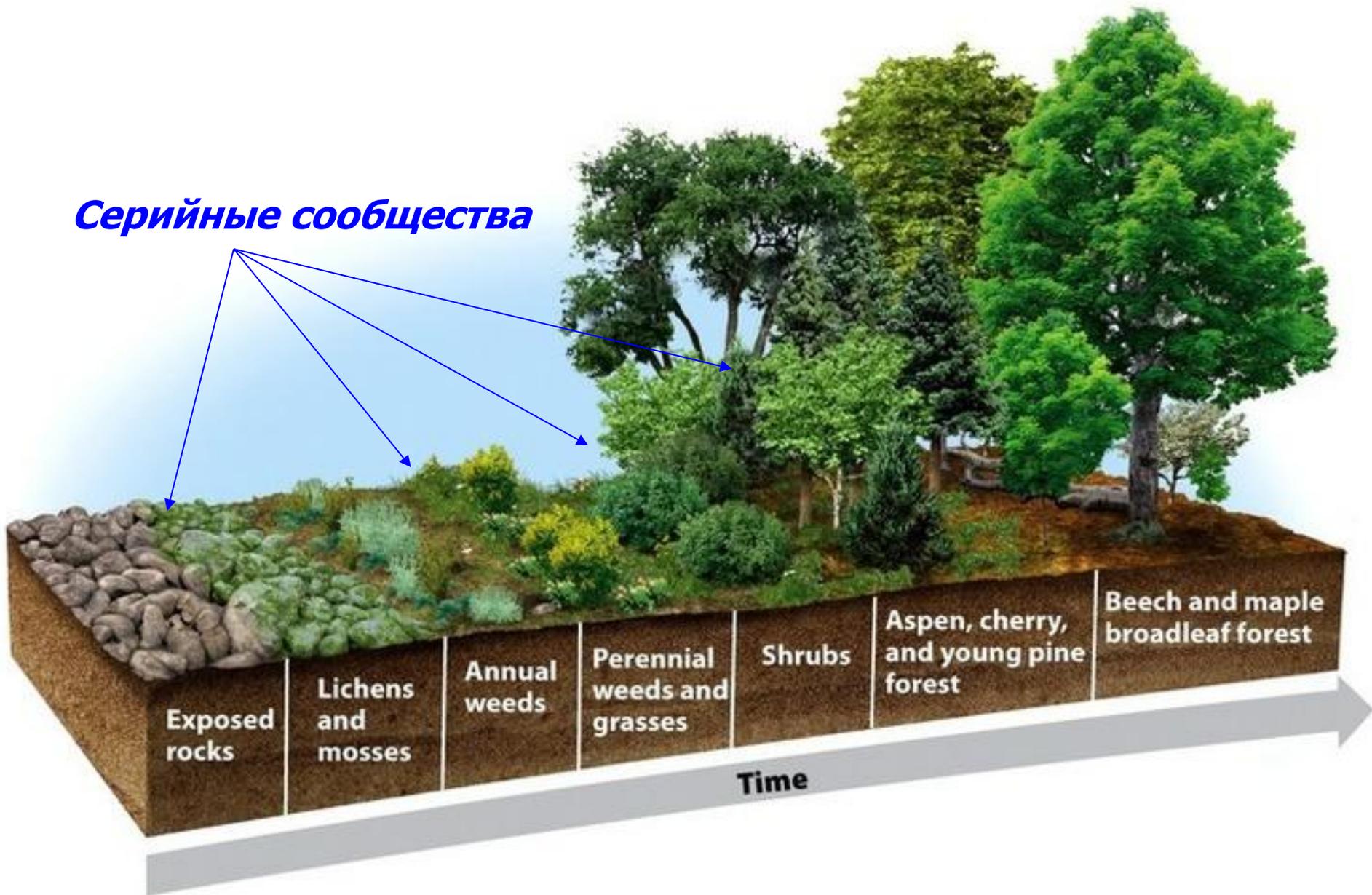


Классификация сукцессий

- Аллогенные (экзогенные) и эндогенные сукцессии
- Естественные и антропогенные сукцессии
- Первичные и вторичные сукцессии

Первичные сукцессии

Серийные сообщества



Вторичные сукцессии

Нарушения

Disturbance

Примеры нарушений



Сила воздействия

*Падение
астероидов*

Вулканы

Оледенения

Оползни

Ураганы

Трупы животных

Пожары

Ветровалы

Частота

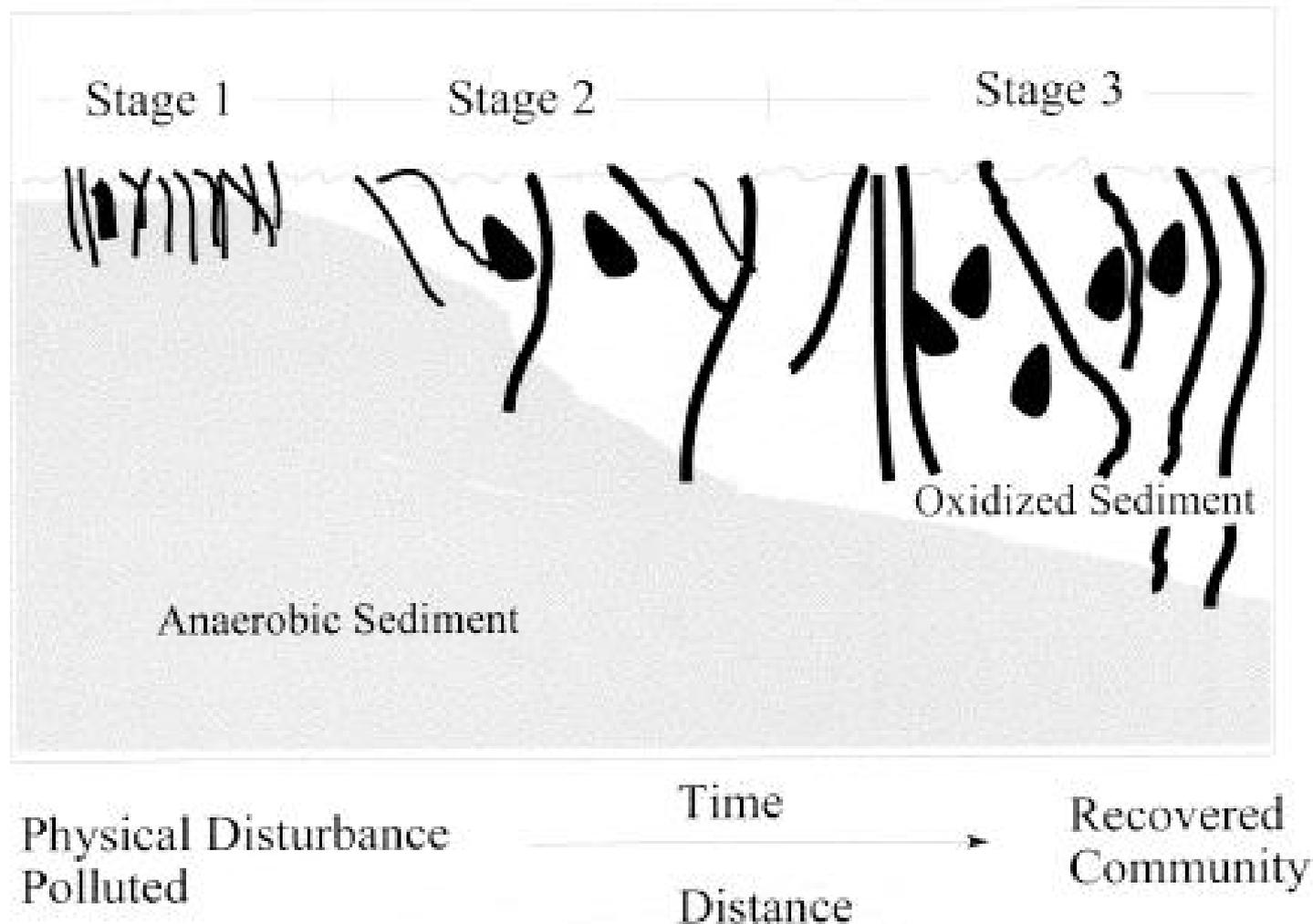
Пример начальных фаз демутационной серии



Механизмы сукцессии

- **Механизмы «облегчения».** Пионерные виды облегчают вселение позднесукцессионных организмов.
- **Механизмы «толерантности».** Все виды организмов способны заселять ту или иную территорию более или менее одновременно, но их «расцвет» происходит по мере изменения среды, в которой формируется сообщество и по мере изменения условий конкурентных взаимоотношений между членами сообщества.
- **Механизмы «ингибирования».** Организмы сообщества, сформировавшегося на той или иной стадии сукцессии, могут предотвращать формирование сообщества следующей стадии.

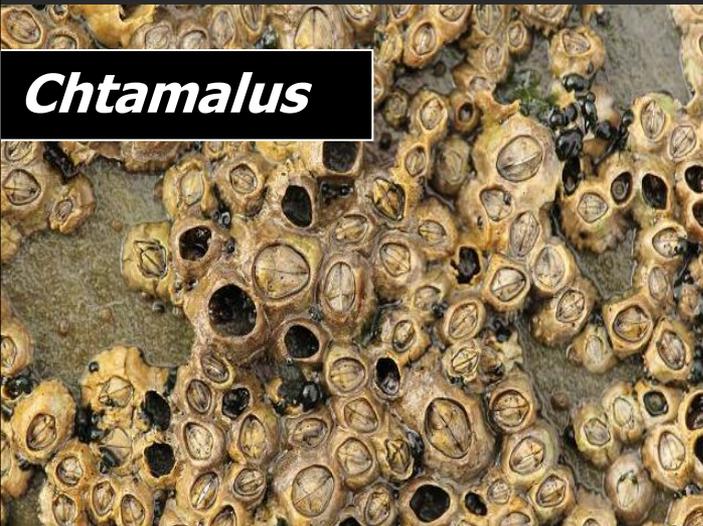
Пример действия модели облегчения



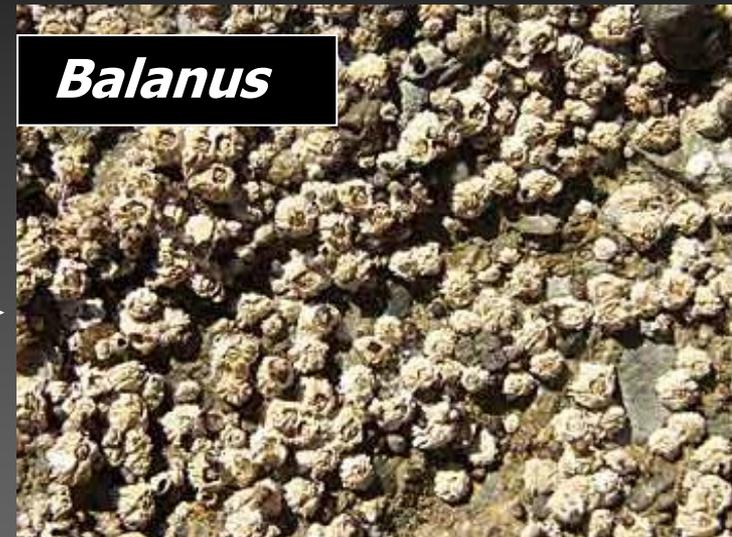
Пример действия механизма ингибирования



Пример действия модели толерантности



Поселение
Chtamalus
замещается
Balanus



Более конкурентоспособный вид вытесняет более слабого конкурента - смена доминанта в сообществе происходит за счет механизмов «толерантности»

Климаксное сообщество

- Климакс - заключительное, относительно устойчивое состояние сменяющихся друг друга экосистем

Почему формируется
климаксное сообщество?

Где лучше организовывать сельское хозяйство?

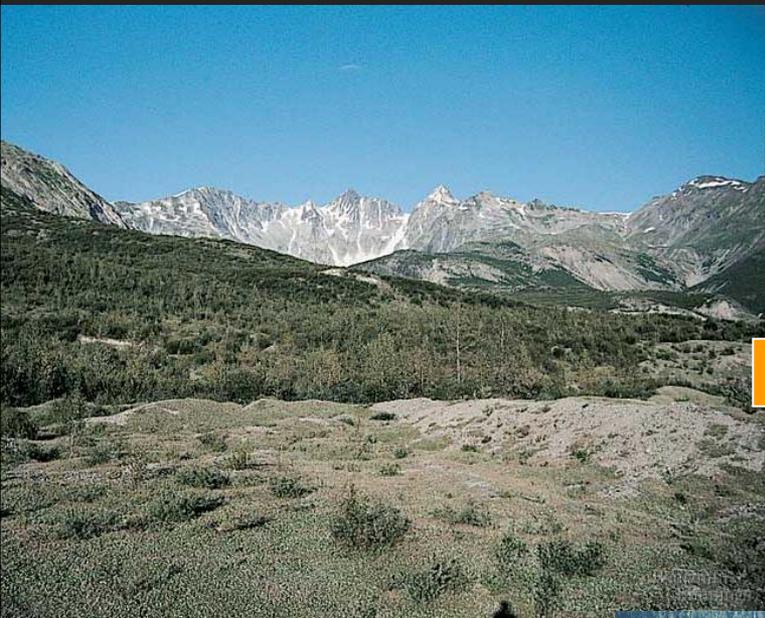
Тропический лес



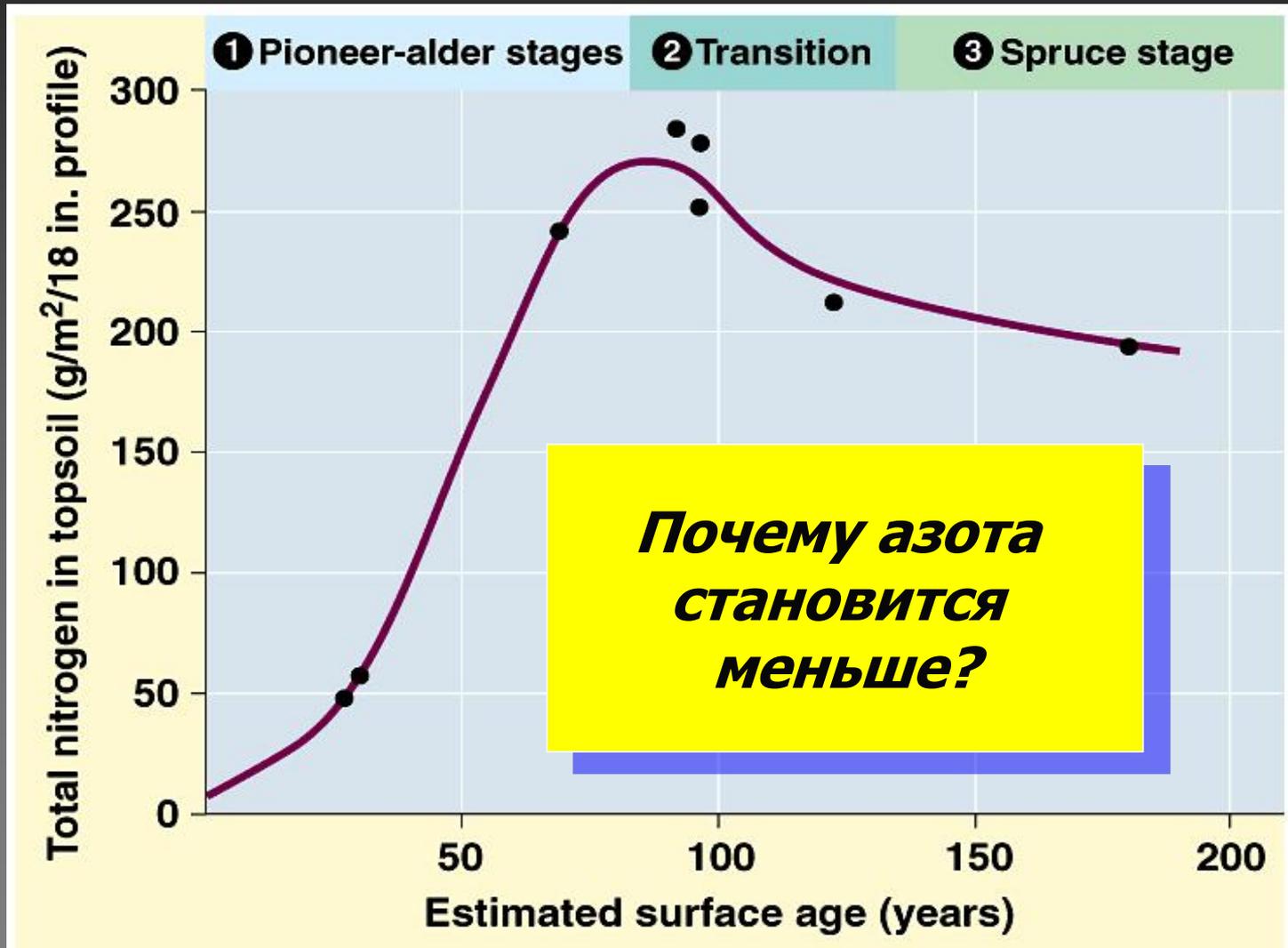
Степь



Постгляциальная сукцессия на Аляске



Изменение концентрации азота в почве



Энергетический баланс

- E – Поступающая в биоценоз энергия
- P – Производимое в биоценозе органическое вещество
- R – Затраты на дыхание
- D – Рассеянная энергия

$$E = R + P + D$$

Пусть $E' = E - D$, тогда

$$E' = R + P$$

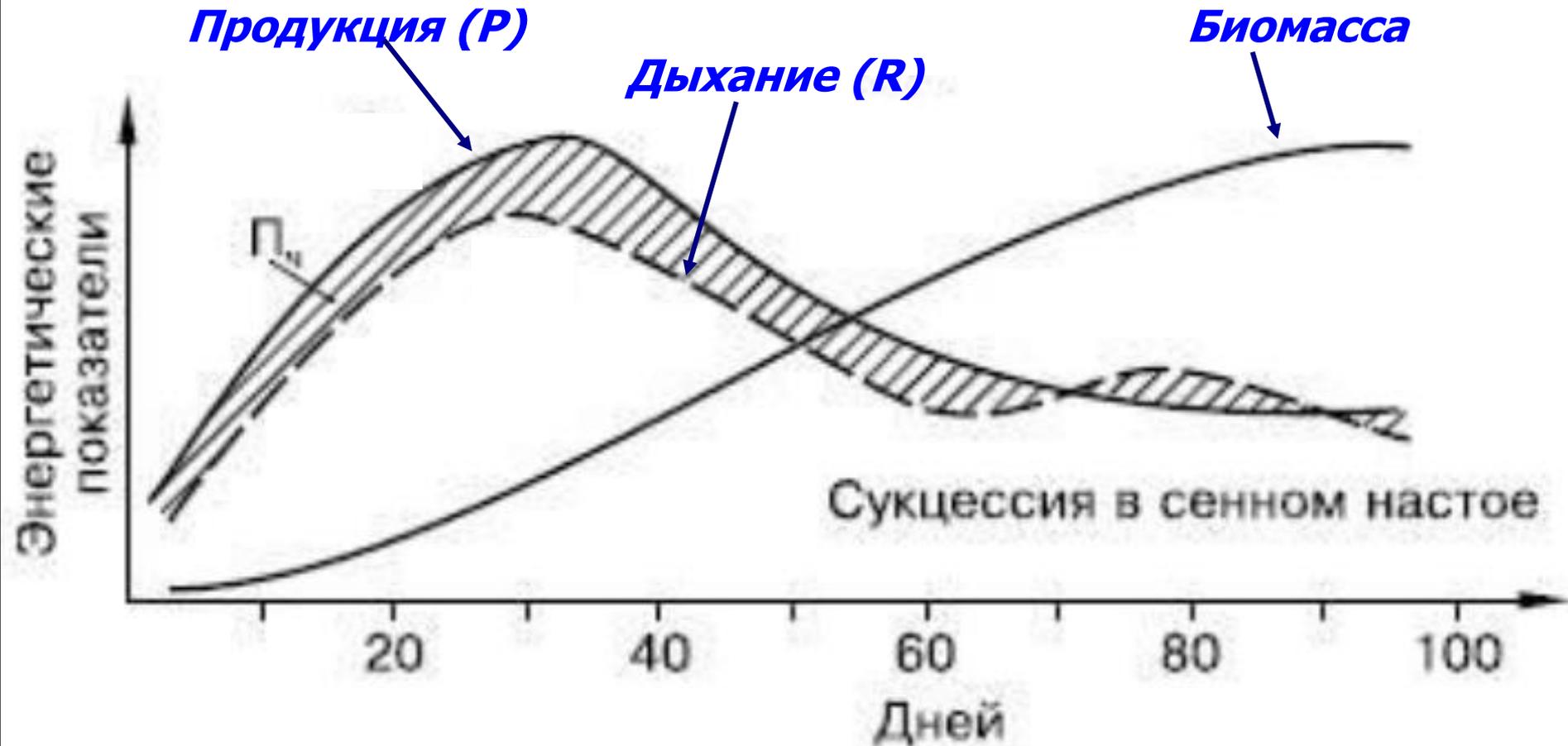
Как зависит R и P от длины трофических цепей?

- С удлинением цепей питания увеличивается эффективность использования поступающей энергии (повышается КПД всей системы), так как одна и та же порция энергии идет на поддержание большого количества биомассы.

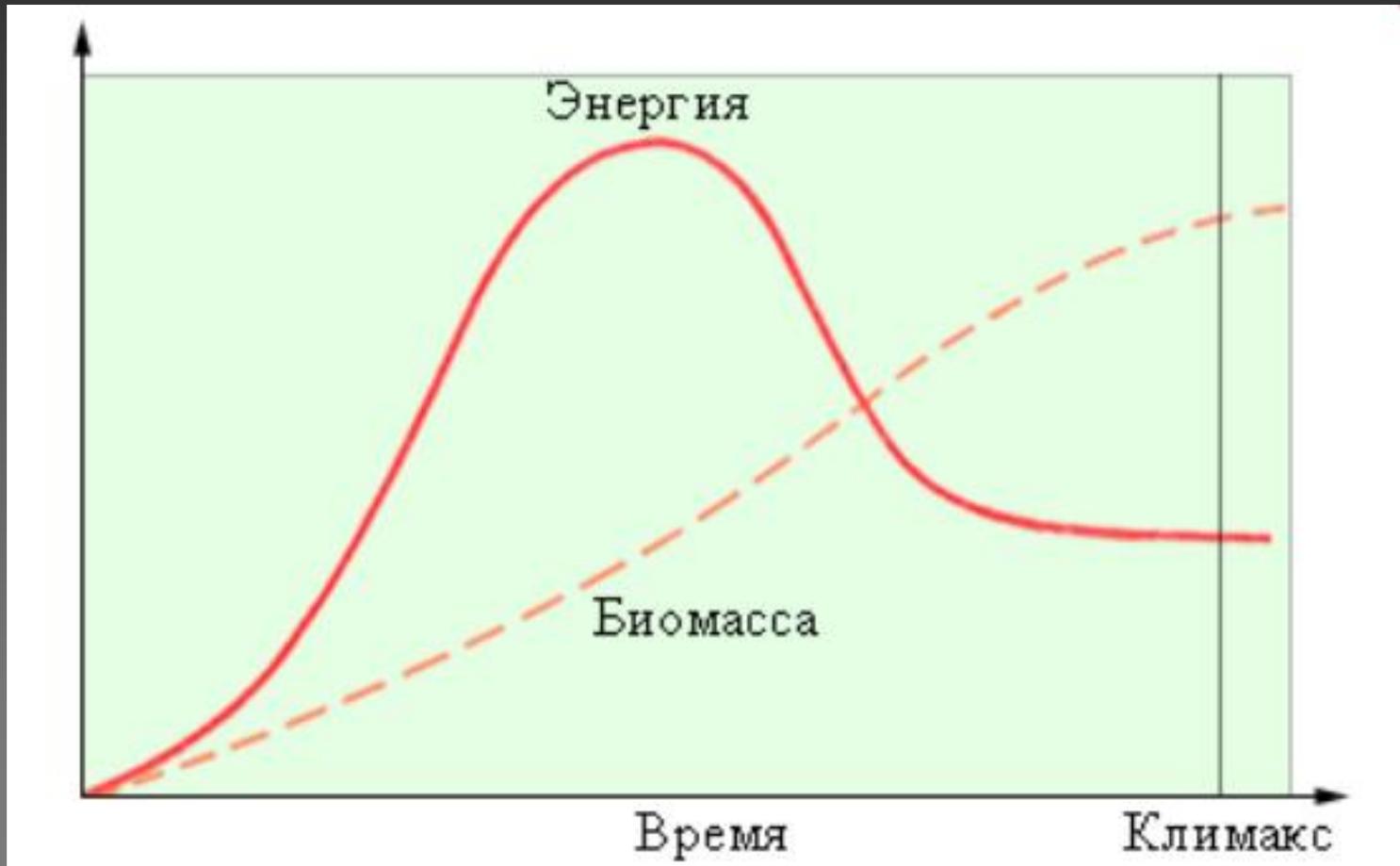
Как изменяется соотношение R и P в ходе сукцессии?

- Сукцессия характеризуется неравенством двух показателей: общей продуктивности (P) и энергетических трат всей системы на поддержание обмена веществ, дыхание (R).
- При климаксе $R=P$
- По мере смен серийных сообществ $R \longrightarrow P$

Пример сукцессионного ряда и изменения энергетических характеристик системы



Биомасса, продукция и сукцессия



Литература

- Smith, R. L., Smith, T. M. Elements of ecology. - 2012.