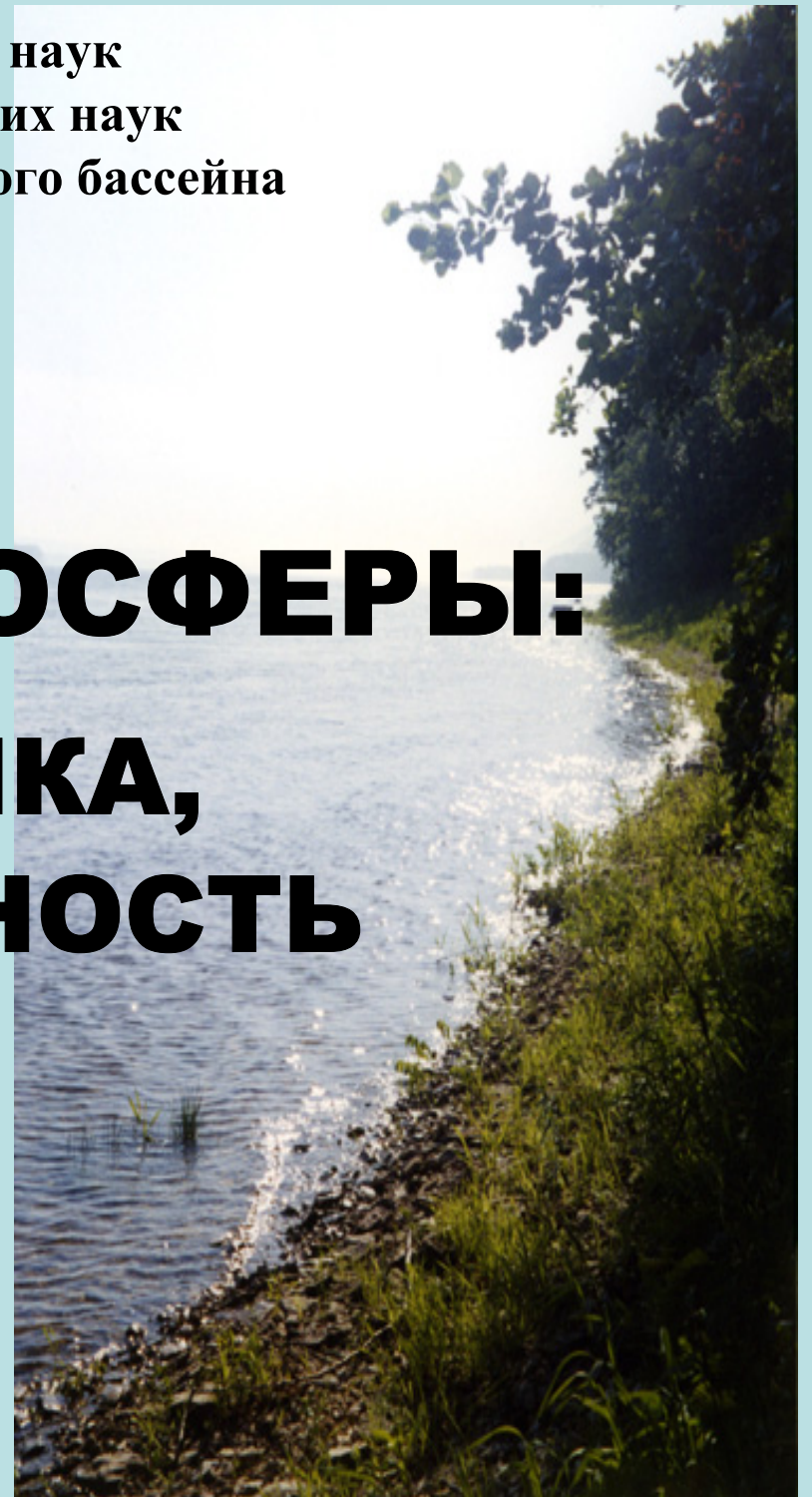


Российская академия наук
Отделение биологических наук
Институт экологии Волжского бассейна

ЭКОЛОГИЯ БИОСФЕРЫ: ЭНЕРГЕТИКА, ПРОДУКТИВНОСТЬ

Г.С. Розенберг



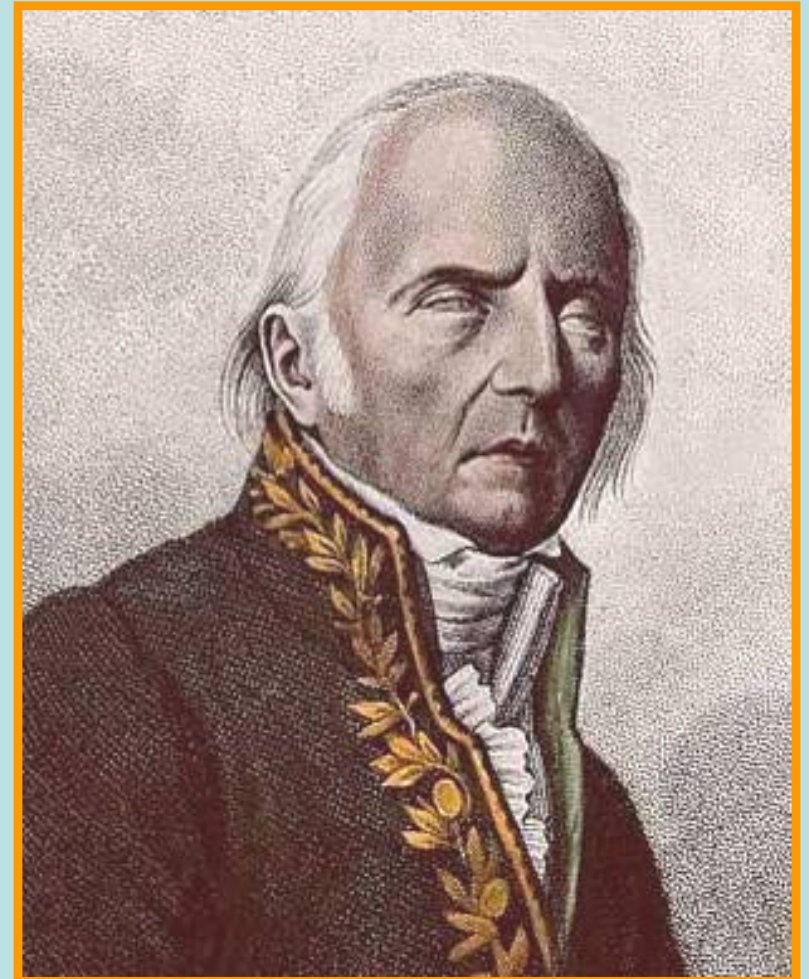


Биосфера – оболочка Земли, населенная живыми организмами, активно ими преобразуемая.

Жизнедеятельность организмов – это мощнейший фактор планетарного масштаба, обеспечивающий постоянный биогенный поток атомов из организмов в среду и обратно, который не прекращается ни на секунду.

Термин **«биосфера»** появился в науке в 1875 г., однако первые представления о биосфере складывались уже в начале XIX в.

Эти первые представления были, в частности, отражены в работе "Гидрология" **Ж.Б.Ламарка** (1802). Не пользуясь понятием «биосфера», он писал, что «все вещества, находящиеся на поверхности земного шара и образующие его кору, сформировались благодаря деятельности живых организмов».

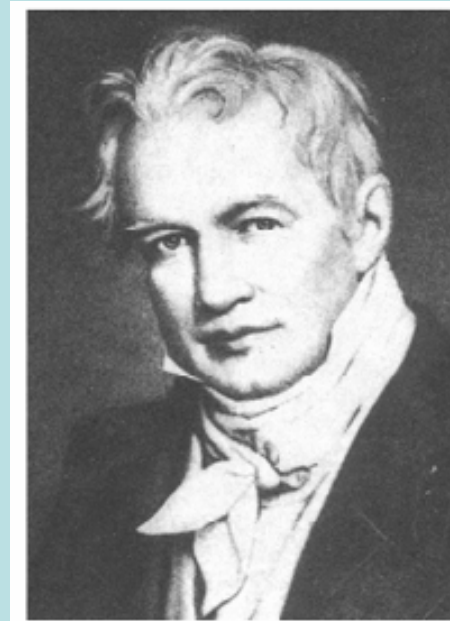


Жан Батист Пьер Антуан де Моне Ламарк
Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet Lamarck (1744–1829)

Александр Гумбольдт в 1845 г. в своем фундаментальном труде "Космос" одноразово использовал понятие **«жизнесфера»**.

Вплотную к понятию **«биосфера»** подошел французский географ **Элизе Реклю**. Одна из основных его работ – 12-томная "Земля. Описание жизни земного шара" (1868-1872 гг.); в X томе этой работы, который называется "Жизнь на Земле", встречаем такие слова:

«Вся совокупность живых существ на поверхности планеты образует как бы своего рода тонкую оболочку или покров; ...мы должны признать, что жизнь на Земле едина. Как бы далеко растения, животные и люди не расходились друг от друга, как бы они не различались своим видом и строением, все они все-таки, прежде всего, дети Земли...».

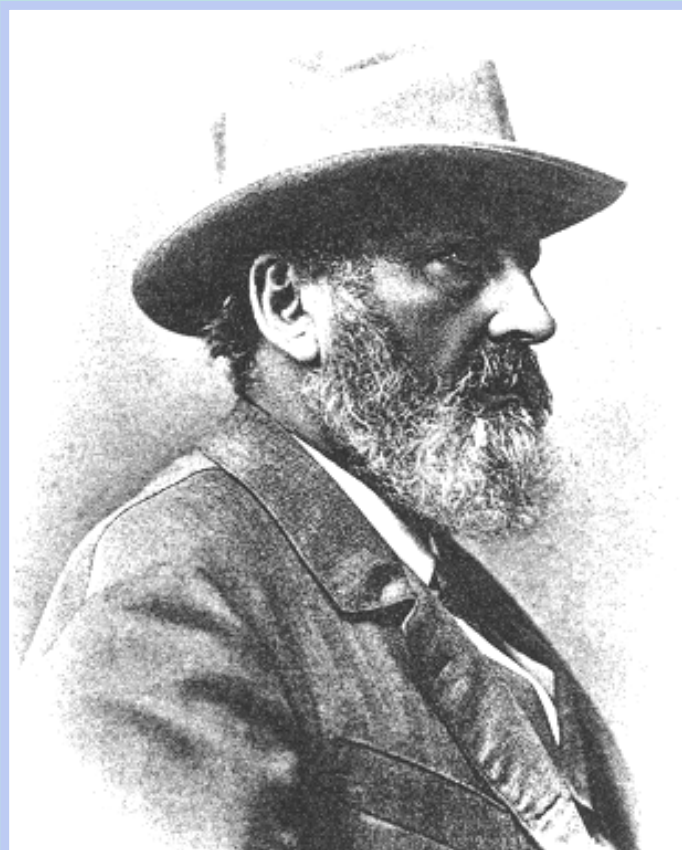


Александр Гумбольдт
Alexander Humboldt
(1769–1859)

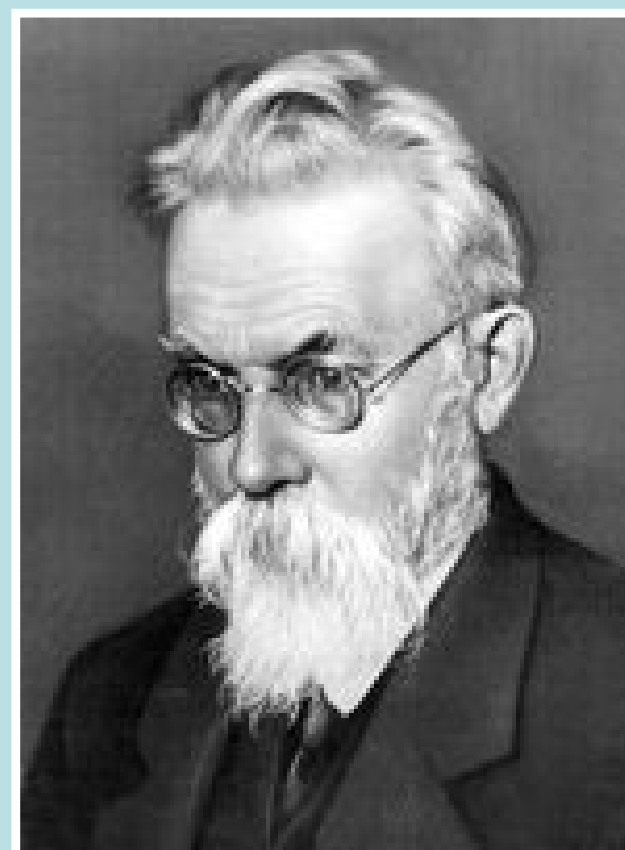


Элизе Реклю
Jean Jaques Elisée
Reclus (1830-1905)

Термин **«биосфера»** первым ввёл в 1875 г. австрийский геолог **Эдуард Зюсс**, а учение о биосфере было создано в 1926 г. **Владимиром Ивановичем Вернадским**.



Эдуард Зюсс
Eduard Suess (1831-1914)



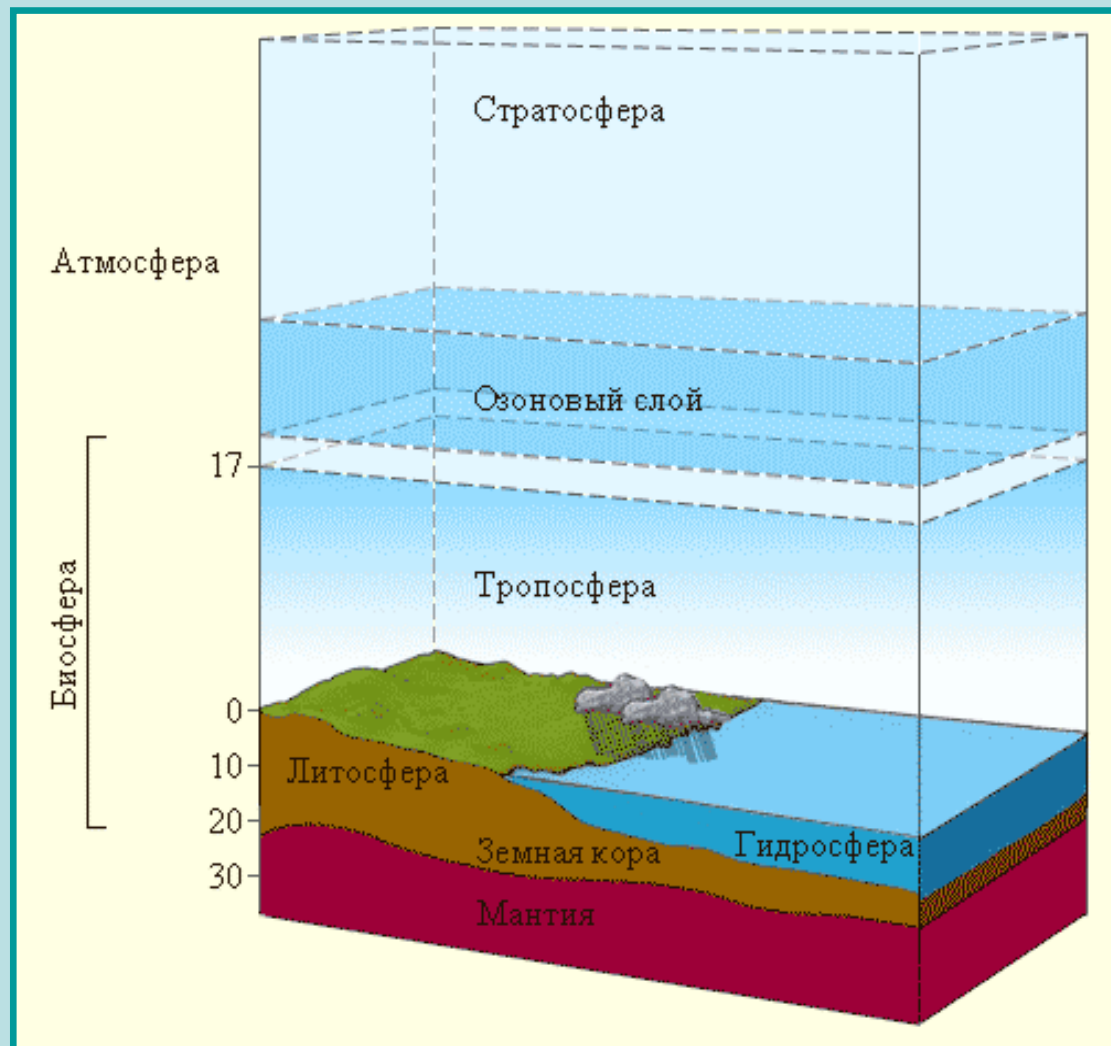
Владимир Иванович
Вернадский (1863-1945)

Биосфера является одной из геологических оболочек Земли или геосфер. На Земле также различают:

❑ **литосферу** – твёрдую наружную оболочку Земли, состоящую из осадочных пород и расположенных под ними гранитов и базальтов;

❑ **гидросферу**, включающую в себя все океаны, моря, реки;

❑ **атмосферу** – газовая оболочка Земли.



В состав биосферы входят верхние слои **литосферы**, нижний слой **атмосферы** (**тропосфера**) и вся **гидросфера**, связанные между собой сложными круговоротами веществ и энергии.

Нижний предел жизни на Земле (до глубины 3 км) ограничен высокой температурой земных недр, верхний предел (20 км) – жёстким излучением ультрафиолетовых лучей.

Живые организмы распределены в пределах биосферы неравномерно. Жизнь сосредоточена главным образом на границе соприкосновения литосферы, гидросферы и атмосферы, т. е. на **поверхности суши и океана**.

Совокупная **биомасса Земли** составляет примерно $2,4 \cdot 10^{12}$ т;

97% из этого количества занимают растения, 3% – животные.

Биомасса океана составляет примерно 0,13% биомассы суши. Это связано с меньшей эффективностью фотосинтеза в растениях

Мирового океана: **использование лучистой энергии Солнца** на площади Мирового океана равно **0,04%**, на суше – **0,1%**.

Вернадский выделил в биосфере несколько типов веществ:

- **живое вещество** – биомасса всех живых организмов,
- **биогенное вещество** – вещество, созданное живыми организмами (нефть, газ),
- **косное вещество** – вещество, образованное без участия живых организмов (вода, песок и т.д.), и
- **биокосное вещество** – вещество, созданное одновременно живыми организмами и неживой природой (почва).

Главную роль в биосфере играет **живое вещество** или биомасса живых существ.

Еще в книге "Химическое строение биосферы Земли и ее окружения", вышедшей в 1922 г., **В.И. Вернадский** выделил 7 типов земного вещества, из которых складывается биосфера; с учетом некоторых поправок эти типы представлены в таблице.

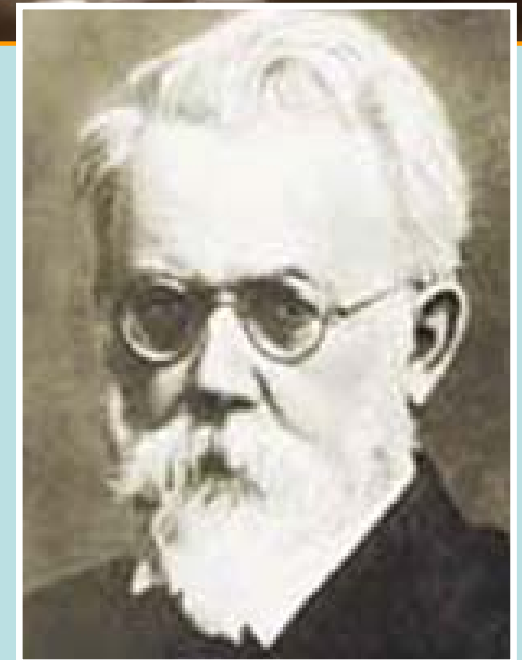
Характер вещества	Градации по исходному веществу	Типы вещества	
		земного происхождения	внеземного происхождения
Живое	биогенное	живое вещество (синонимы: биос, биота)	неизвестно
	абиогенное	неизвестно	неизвестно
Неживое	биогенное	биогенное вещество <i>а) небиогенное</i> <i>б) палеобιοгенное</i> (синоним: органогенное вещество)	?
	абиогенное	абиогенное вещество земного происхождения (синоним: косное вещество)	абиогенное вещество внеземного происхождения (синоним: вещество космического происхождения)

Функции живого вещества:

- **газовая** – поддержание постоянного газового состава атмосферы (кислород пополняется за счет фотосинтеза в растениях, углекислый газ – за счет дыхания организмов);
- **концентрационная** – способность живого вещества активно поглощать из внешней среды и накапливать определенные элементы, приводящая к образованию полезных ископаемых (уголь – концентрированный углерод, мел – кальций и др.);
- **окислительно-восстановительная способность**, благодаря которой осуществляется круговорот веществ в биосфере (бактерии-хемосиликаты).

В основе учения Вернадского лежат представления о **планетарной геохимической роли живого вещества** и о самоорганизованности биосферы. **В.И. Вернадский** писал:

«... на земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому более могущественной, чем сила живых организмов».



По своей массе живое вещество составляет очень малую часть биосферы – равномерно распределенное по всей поверхности она покрывает Землю слоем всего в **2 см**.

Обновление всего живого вещества

биосферы Земли осуществляется

в среднем за 8 лет;

вещество наземных растений

(фитомасса суши) обновляется за 14 лет;

в океане вся масса живого вещества

обновляется за 33 дня;

фитомасса океана каждый день;

полная смена вод в гидросфере

осуществляется за 2800 лет;

в атмосфере смена кислорода

происходит за несколько тысяч лет;

углекислого газа за 6,3 года.

В зависимости от занимаемой площади **В.И. Вернадский** различал (см. таблицу) **жизненные пленки** (прослеживаются на огромных расстояниях – планктонные сообщества поверхности океана) и **сгущения жизни** (более локальные скопления – например, Саргассово море, впервые описанное **Христофором Колумбом** 21 октября 1492 г.).

Формы концентрации жизни	Суша (включая континентальные водоемы)	Океан
Жизненные пленки	Наземная Почвенная	Планктонная Донная
Сгущения жизни	Береговые Пойменные Влажных дождевых лесов тропиков и отчасти субтропиков Стоячие водоемы	Прибрежные Саргассовые Рифовые Апвеллинговые Абиссальные рифтовые
Зона разряжения живого вещества	Пустыни Область подземного разряжения жизни	Водные пустыни (например, в районе Гавайских островов)

В учении о биосфере выделяют следующие основные подходы:

- **энергетический** (связь биосферных явлений с космическим излучением [прежде всего, излучением Солнца] и радиоактивными процессами в недрах Земли);
- **биогеохимический** (роль живого в распределении атомов в биосфере);
- **информационный** (принципы организации и управления в живой природе);
- **пространственно-временной** (формирование и эволюция различных структур биосферы);
- **ноосферный** (глобальные аспекты воздействия человека на окружающую среду).

КОНЦЕПЦИЯ БИОСФЕРЫ

Представление о самой крупной экосистеме как взаимосвязанном единстве живого, биогенного, биокосного и косного веществ.

Самая существенная особенность биосферы – биогенная миграция атомов химических элементов

Таблица. Биомасса, продукция и продуктивность экосистем Земли

Экосистемы	Площадь, 10 ⁶ км ²	Биомасса ГтС* растений	Биомасса МтС** животных	Первичная продукция, ГтС/год	Первичная продуктивность, тС/га•год	Время оборота, год
Леса, болота	51	750	600	40	8	19
Травостой, кустарник	33	50	300	13	4	4
Пашня	14	5	6	5	3	1
Озера, реки	2	0,1	10	0,5	2	0,2
Пустыня, тундра	50	2	8	1	0,2	2
Суша	150	800	924	60	4	1,3
Открытый океан	330	0,5	800	32	1	0,01
Континентальный шельф	30	1,5	160	8	3	0,2
Мировой океан	360	2	960	40	1	0,05
Вся Земля	510	802	1884	100	2	8

* ГтС - гигатонны углерода (10⁹), ** МтС - мегатонны углерода (10⁶).

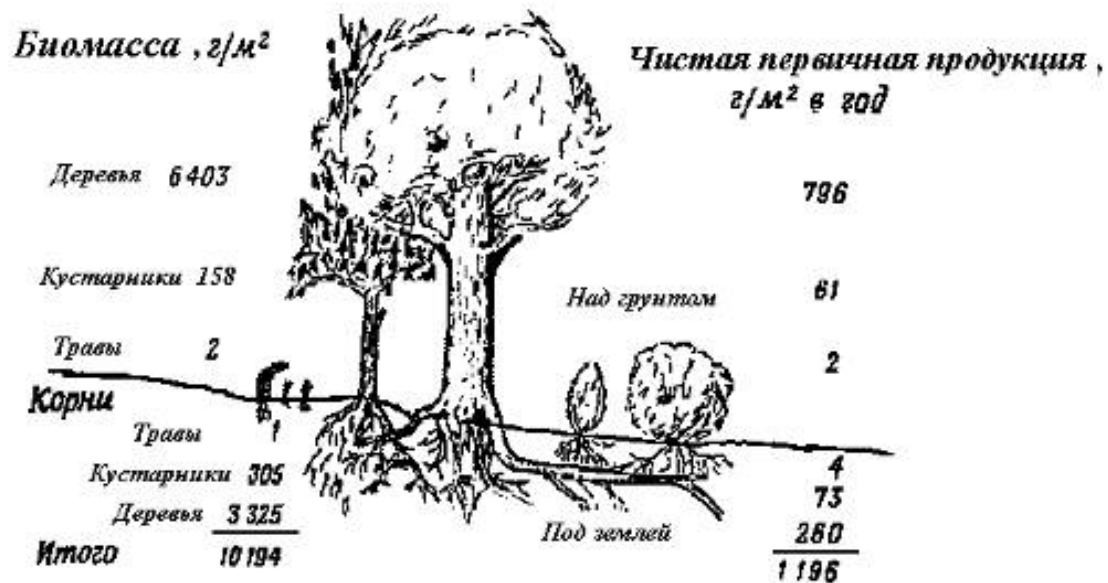
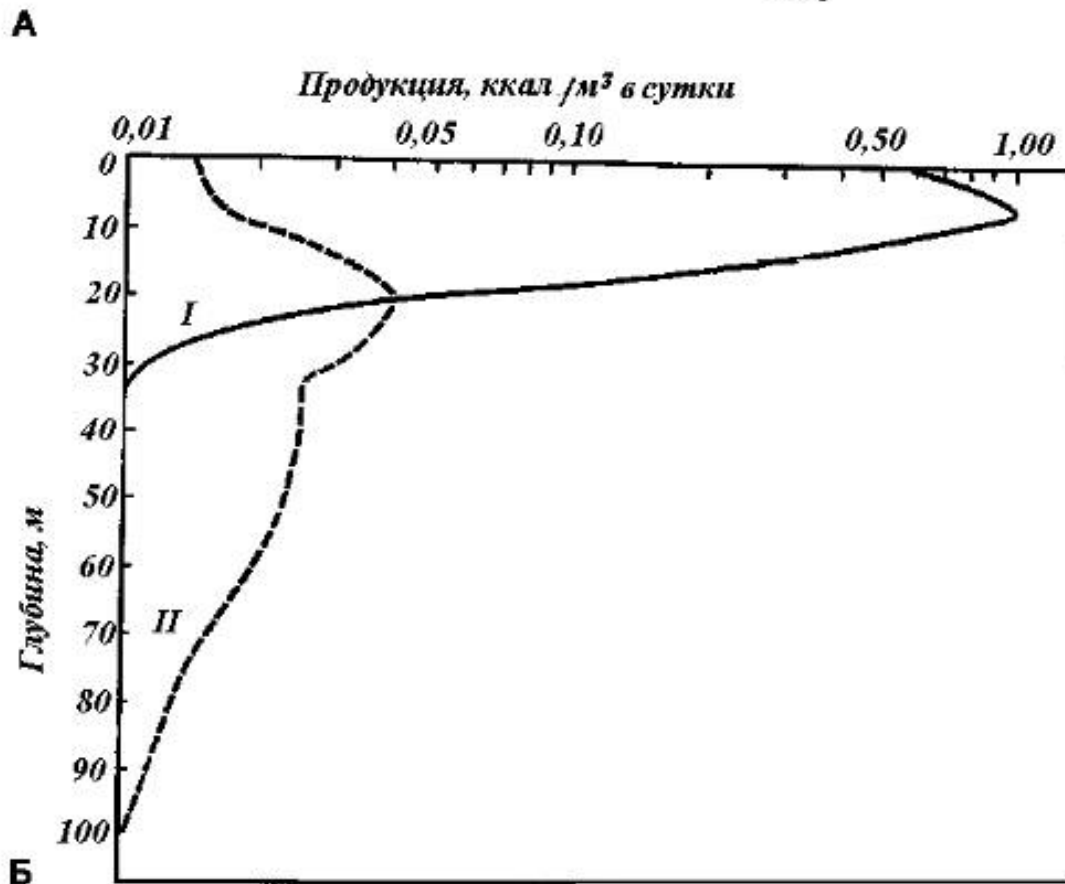


Рис. Сравнение вертикального распределения первичной продуктивности и биомассы в лесу (для молодого дубово-соснового леса)



и в море (для северо-западной Атлантики; Одум, 1975).

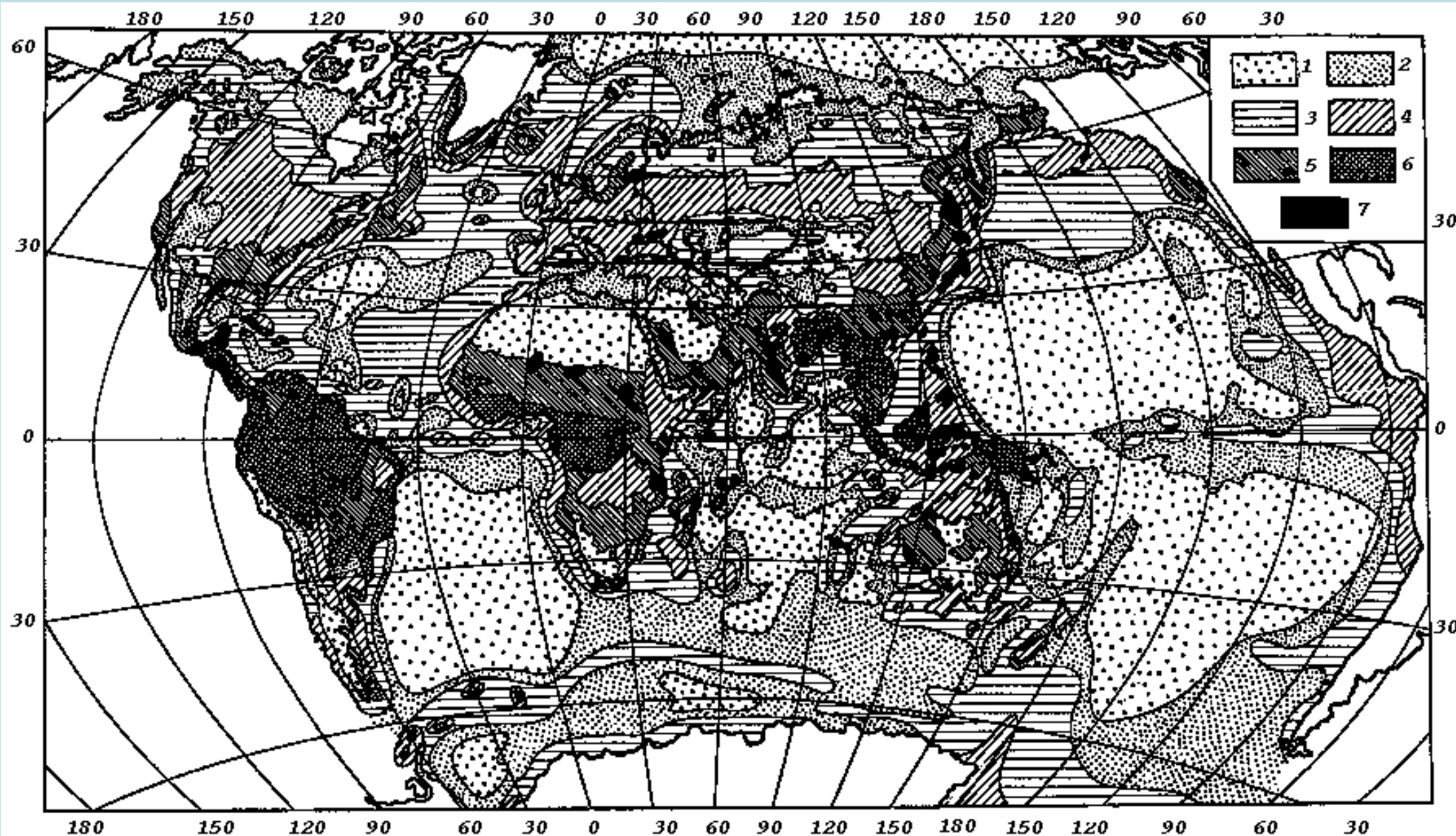


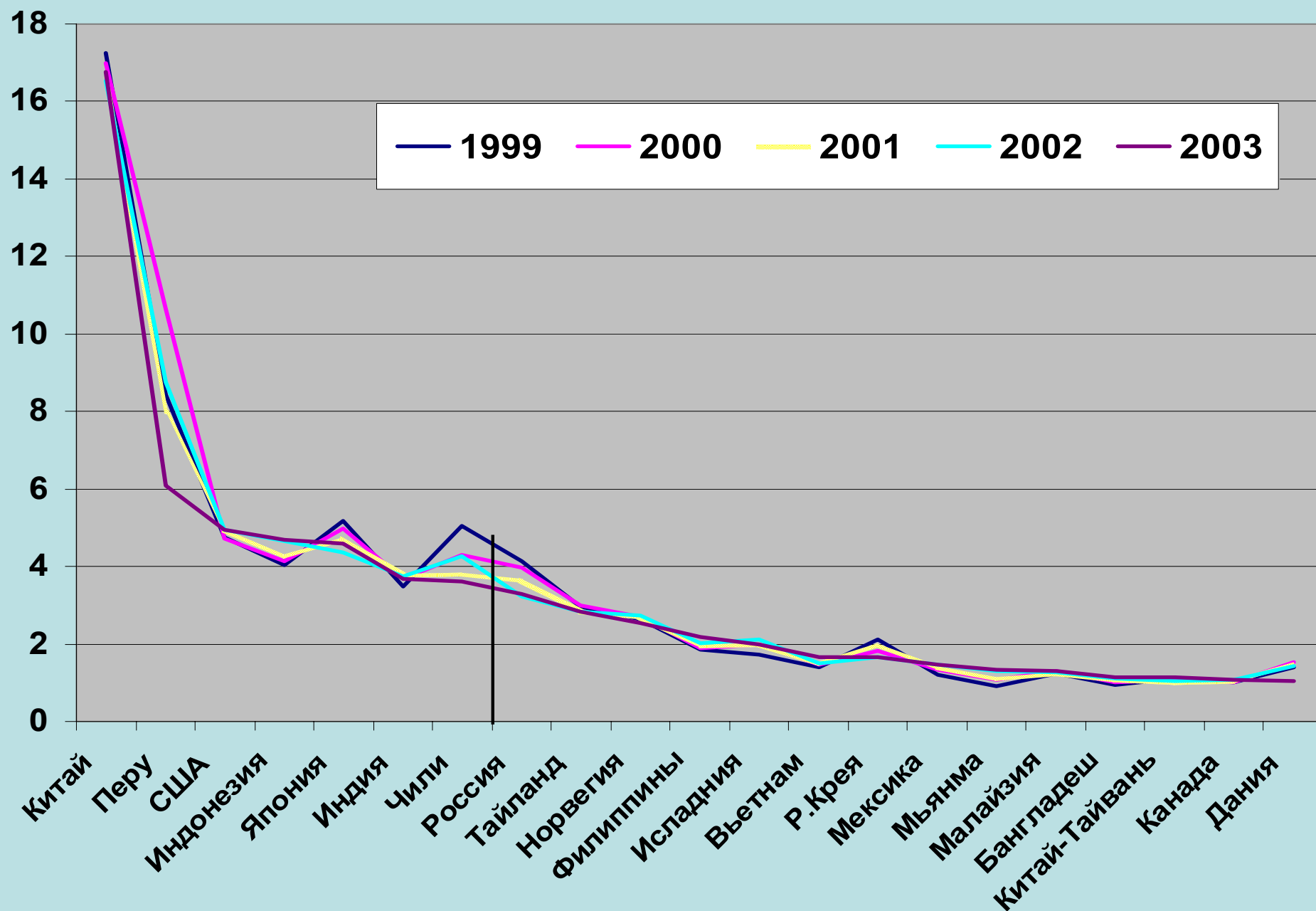
Рис. Продуктивность биоты Земли в живом весе, кг/м² в год
 1 — 0,25; 2 — 0,25—1,0; 3 — 1,0—2,0; 4 — 2,0—3,75; 5 — 3,75—7,5;
 6 — 7,5—12,5; 7 — больше 12,5



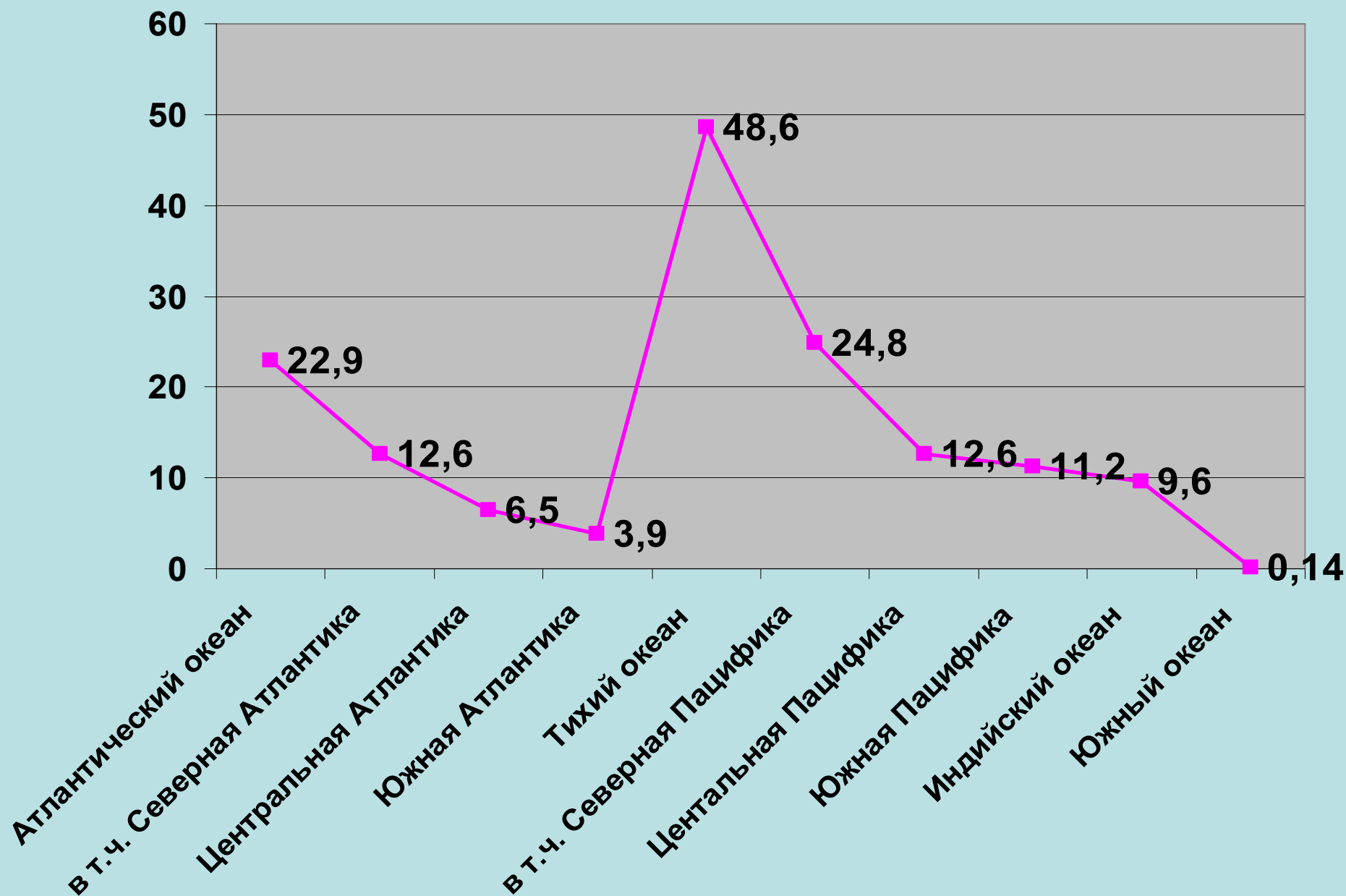
**Георгий Георгиевич Винберг
(1905-1987)**

Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. – Минск: АН БССР, 1960. – 329 с. (С. 6.):

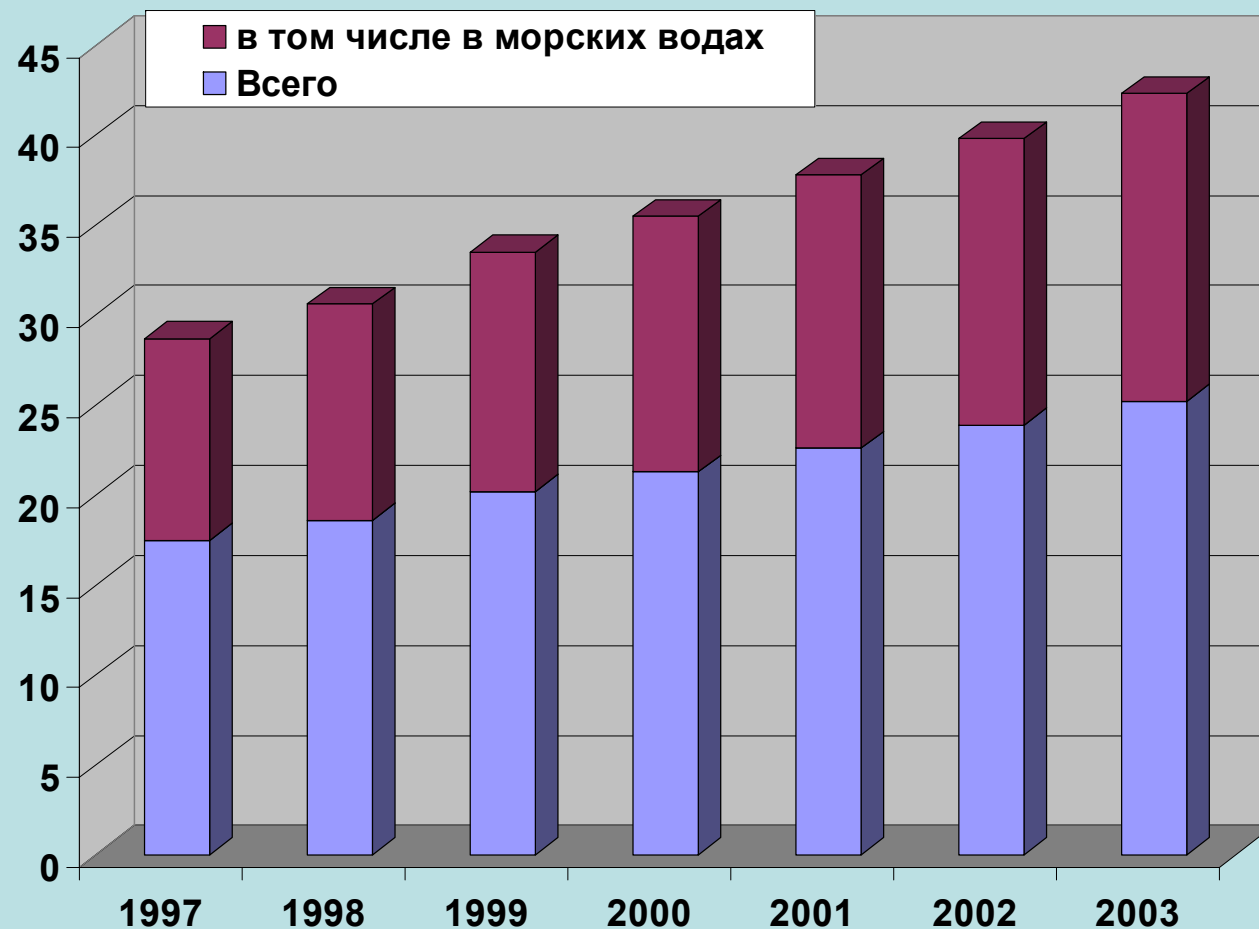
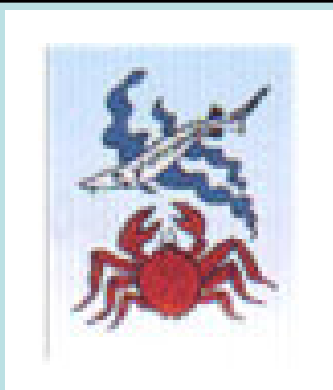
Нам представляется, что... следует считаться с установившейся практикой употребления терминов «продукция» и «продуктивность» в широком смысле, точнее во многих различных смыслах. Надо только, чтобы в каждом отдельном случае было ясно, какое значение придается этим терминам... Первичная продукция... является первым звеном продукционного процесса. Конечная продукция, которая в разных формах изымается из биотического круговорота, – конечным звеном.



Суммарный вылов гидробионтов ведущими
рыболовными государствами (тыс. т) [ФАО, 2003 г.]



Вылов рыбы и беспозвоночных в океанах и океанических районах Земли [ФАО, 2003 г.]



**Мировая продукция аквакультуры
(без водных растений) [ФАО, 2003 г.]**

Страны-производители (без водных растений):	Продукция (млн. т)
Китай	26,8
Индия	2,2
Япония	0,9
Норвегия	0,58
США	0,54
Чили	0,56
Россия	0,1

ГИПОТЕЗА АБИССАЛЬНЫХ СГУЩЕНИЙ ЖИЗНИ

Абиссаль – глубоководная (свыше 2000 м) зона Мирового океана, характеризующаяся постоянной температурой (ниже 2°C) и бедностью животного мира. Сгущения жизни в этой огромной по территории, считавшейся совершенно бесплодной, зоне были открыты **15 февраля 1977 г.**, когда американский подводный аппарат «Алвин», с помощью которого проводились исследования гидротермальных источников рифтов (зон раздвижения земной коры), в районе Галапагосских островов достиг дна Тихого океана на глубине 2540 м.

Глубина 2460 м



**"Черные курильщики" и
абиссальные сгущения
жизни.**



Трофическую нишу **фотоавтотрофов**, которые, естественно, не могут существовать в этих условиях, заняли **хемоавтотрофные** микроорганизмы.

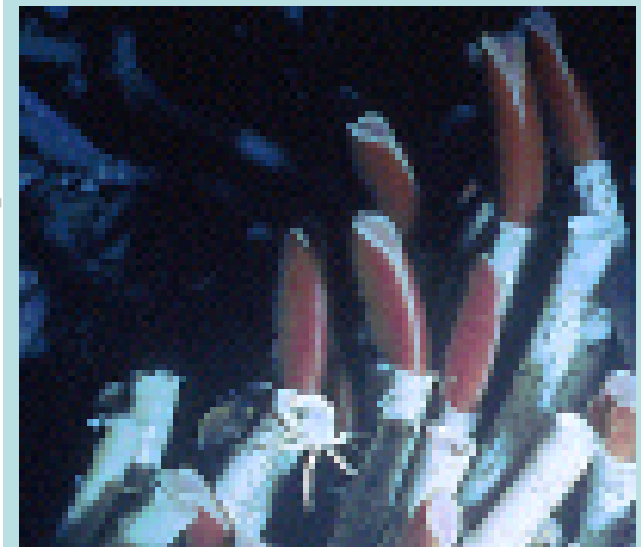
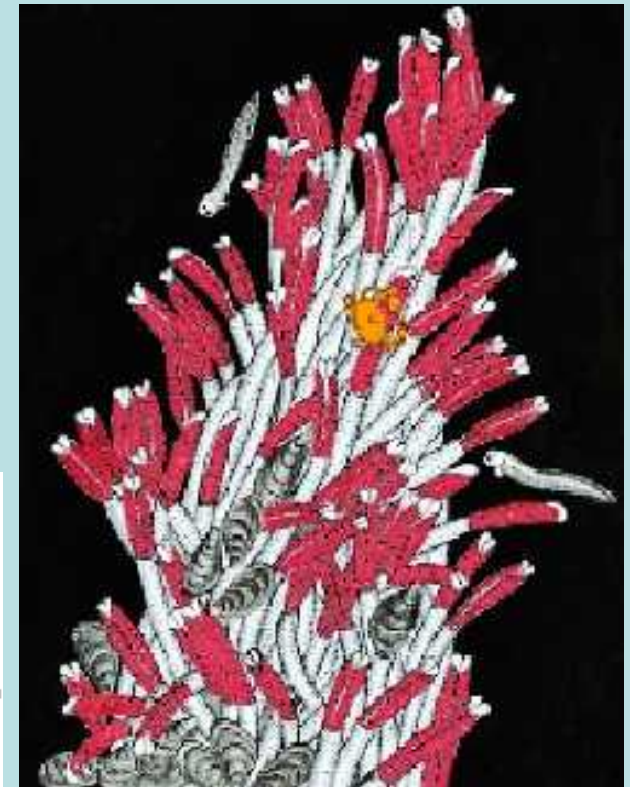
Гидротермальные источники несут эндогенный сероводород (обязанный своим происхождением глубинным геологическим процессам), который используют большинство хемоавтотрофов.

Таким образом, происходит замена солнечной на эндогенную энергию – это главная особенность абиссальных сообществ.

Погонофоры (*Pogonophora*; от греч. *rogon* – борода и *phorós* – несущий) – тип морских беспозвоночных животных (кольчатых нитевидных червей, обитающих в хитиновых трубках).

Первые находки – в 1914 г.

В 1970-х годах на дне Тихого океана (в гидротермальных «оазисах») были найдены новые виды, которые отнесли к новому классу погонофор – **вестиментиферам** (*Vestimentifera*).



Погонофора *Riftia pachyptila*; описана в 1981 г. Мереди́т Джо́нсом (Meredith L. Jones; 1926-1996)

У нас в стране исследования погонофор, головохоботных червей и пр. посвящены работы В.Н. Беклемишева, А.В. Иванова, В.В. Малахова, А.В. Адрианова и др.



**Владимир Николаевич
Беклемишев (1890-1962)**



**Артемий Васильевич
Иванов (1906-1992)**



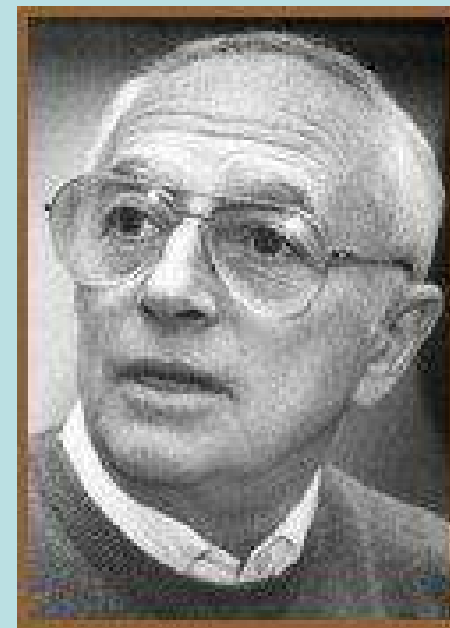
**Владимир Васильевич
Малахов (г.р. 1951)**



**Андрей Владимирович
Адрианов (г.р. 1964)**

Абиссальные сгущения жизни играют в биосфере особую роль, и их следует рассматривать как возможный **НОВЫЙ ИСТОЧНИК ЖИЗНИ** в случае прекращения ее на основе фотосинтеза.

**Александр Моисеевич
Городницкий (г.р. 1933)**



"Вестиментиферы"

В глубинах ночных океанов,
Куда не дотянемся мы,
Из темного дна, из тумана
Крутые восходят дымы.

Среди закипающей черни,
Рождающей множество руд,
Огромные плоские черви
В горячих растворах живут.

Едят они серу на ужин,
Вкушая от этих щедрот.
Здоровью их даром не нужен
Полезный для нас кислород.

И в час, когда вспыхнет пожаром
Земная недолгая плоть,
И ядерным смертным ударом
Нас всех покарает Господь,
И солнце погаснет и реки
Покроются пепельным льдом,
Они лишь освоят навеки
В наследство оставленный дом.

И ступит на цепкую лапу,
Что станет позднее ногой,
Начало другого этапа
И будущей жизни другой.

ГИПОТЕЗА ГЕОМЕРИДЫ

Беклемишева

Одна из первых гипотез теоретической глобальной экологии. **Геомерида** – весь живой покров Земли, рассматриваемый как целостная иерархическая система, миллионы лет пребывающая в состоянии динамического устойчивого равновесия.

Если биосфера – высший биотоп, то Геомерида – высший биоценоз.

Гипотеза предложена в 1931 г. В.Н. Беклемишевым.



Владимир Николаевич
Беклемишев (1890-1962)

ГИПОТЕЗА ГЕИ

Лавлока – Маргулис

Представление о биологическом «контроле» на биосферном уровне факторов абиотической среды и существовании сложной, живой, саморегулирующейся системы поддержания на Земле условий благоприятных для жизни.

Атмосфера Земли, создающая стабильные и благоприятные условия для жизни, сама пребывает в крайне неустойчивом состоянии с точки зрения законов химического равновесия: ее равновесие поддерживается самой жизнью, которая ранее создала современную атмосферу.

Гипотеза Геи была предложена английским химиком **Джеймсом Лавлоком** и американским микробиологом **Линн Маргулис** в 1975 г.



Джеймс Лавлок
James Ephraim Lovelock (г.р. 1919)

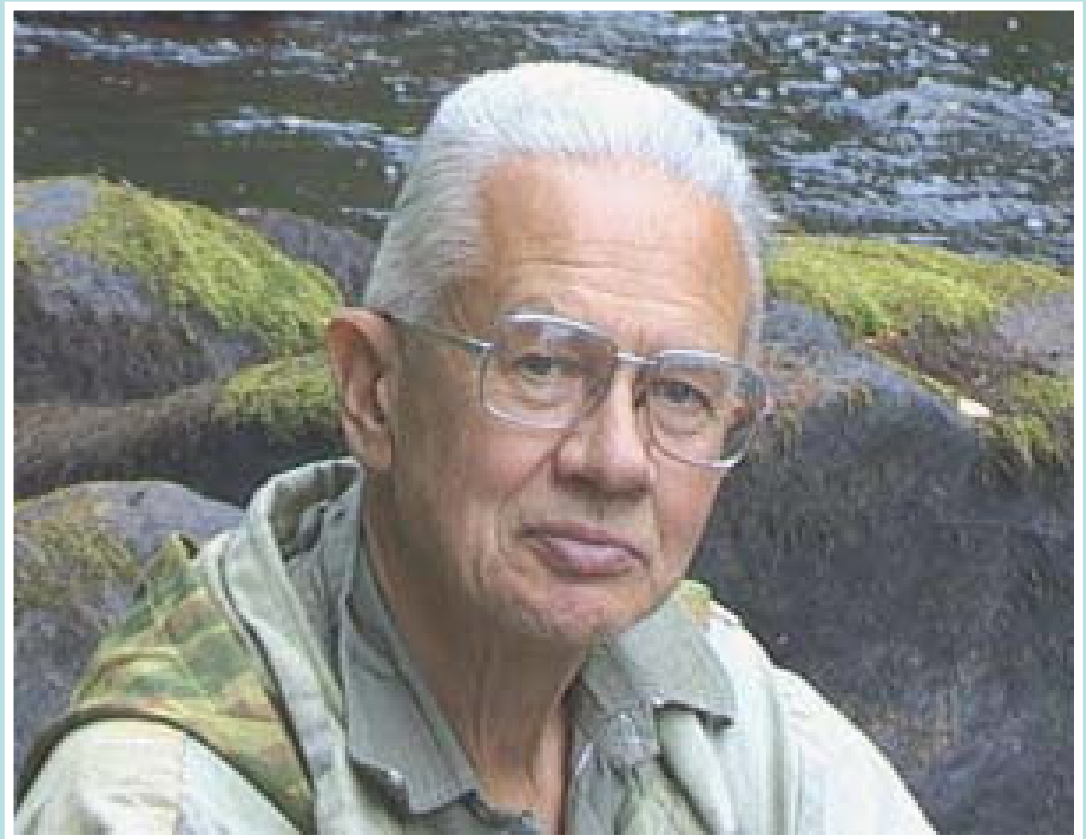


Линн Маргулис
Lynn Margulis (г.р. 1938)

У нас в стране сходные представления (проблемы гомеостаза на уровне популяций, сообществ и биосферы в целом) развивал **И.А. Шилов** и развивает (биологическая регуляция окружающей среды) **В.Г. Горшков**.



**Игорь Александрович
Шилов (1921-2001)**



**Виктор Георгиевич
Горшков (г.р. 1935)**

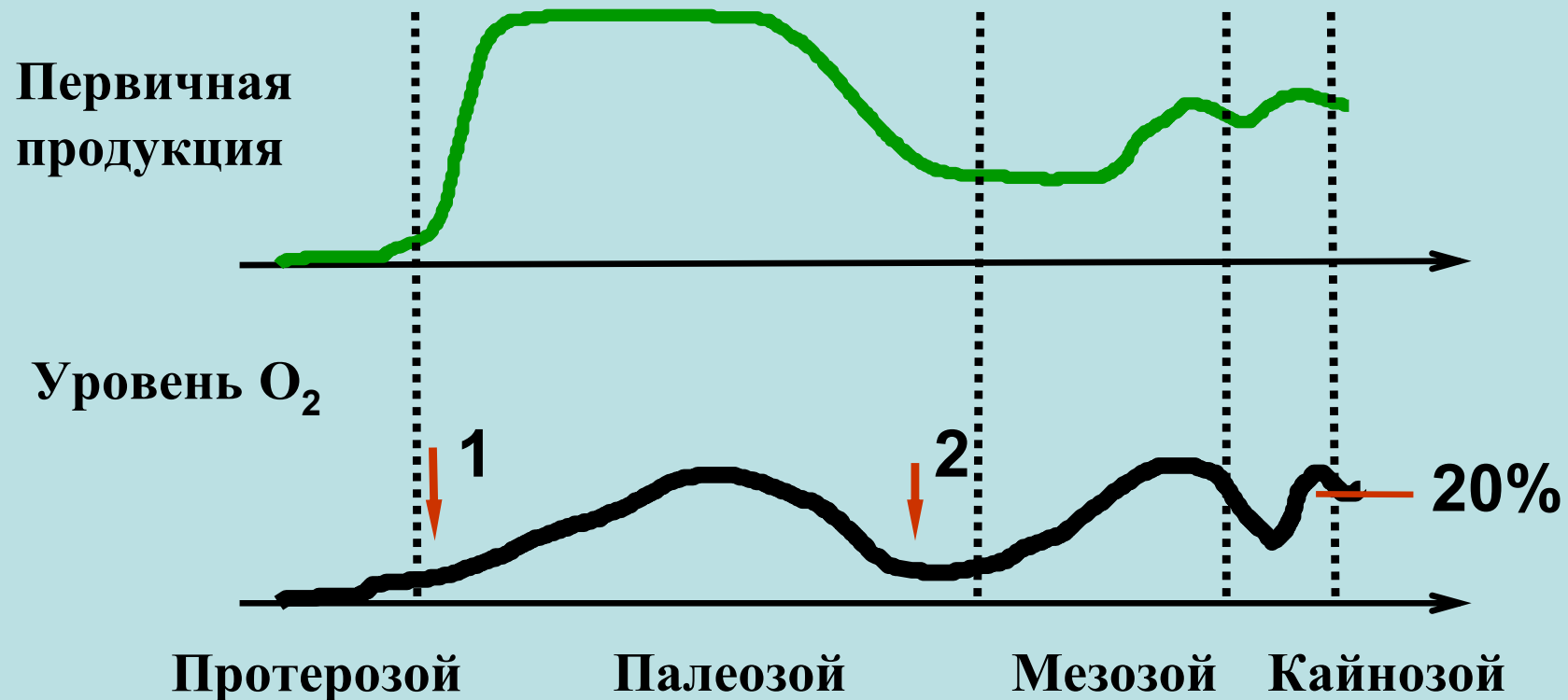
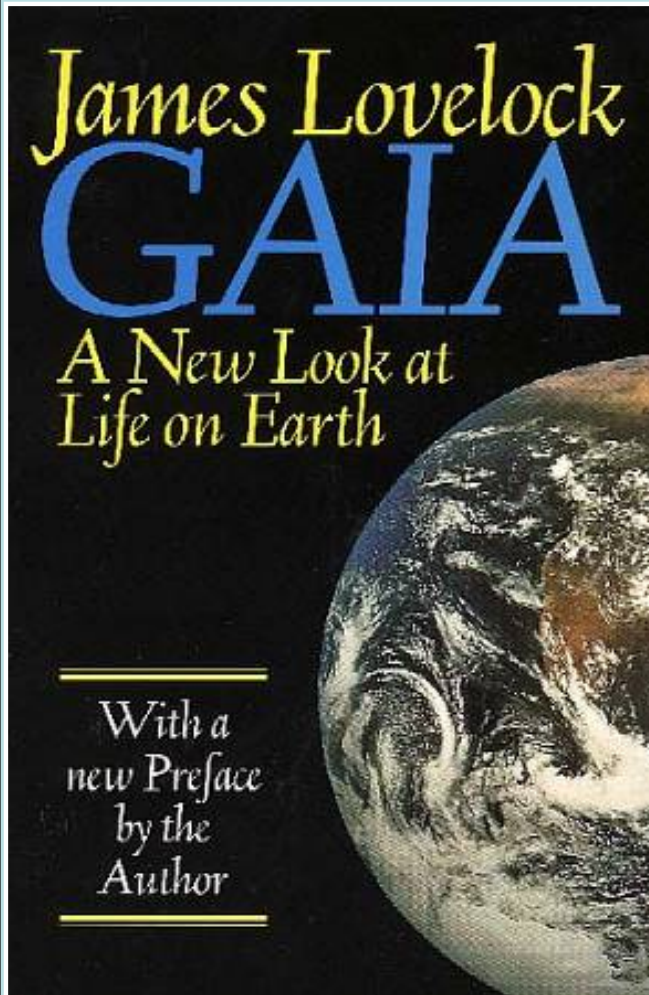


Рис. Связь в ходе эволюции первичной продукции биосферы и кислородного режима (по: Одум, 1975, с. 352):

- 1 – возникновение многоклеточных организмов,
- 2 – формирование запасов ископаемого топлива

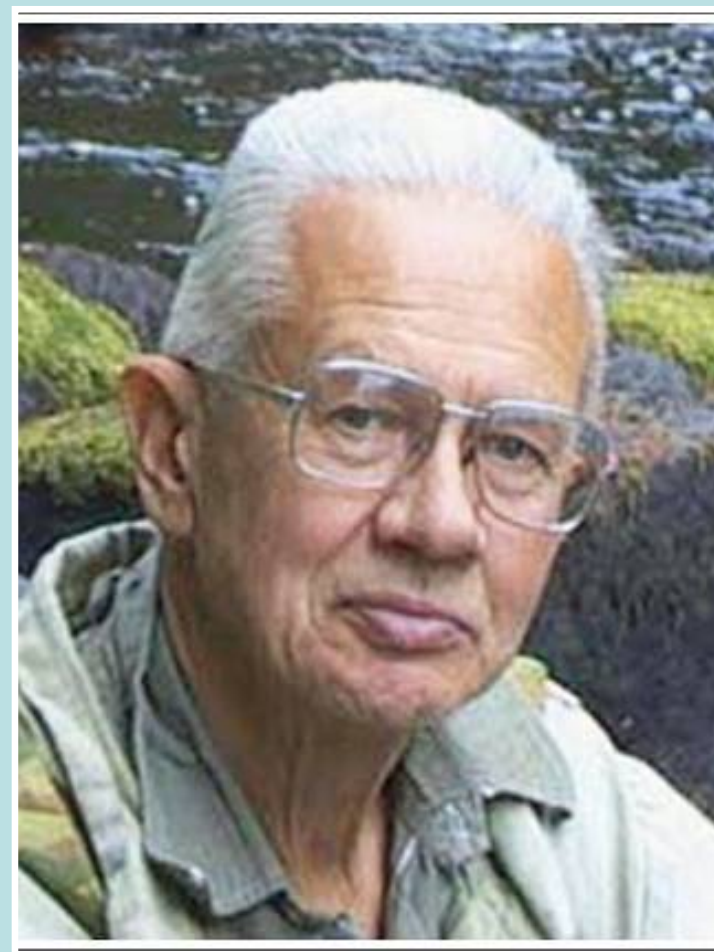
В пользу **гипотезы Геи** свидетельствуют данные, приводимые в таблице (Lovelock, 1979; цит. по: Одум, 1986, т. 1, с. 37).



Параметры	Марс	Венера	Земля (без жизни)	Земля
Содержание газов в атмосфере, %				
двуокись углерода	95	98	98	0,03
азот	2,7	1,9	1,9	79
кислород	0,13	следы	следы	21
Температура поверхности, °C	−53	+477	+290	+13

ГИПОТЕЗА БИОТИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ Горшкова

Представления о биотическом механизме регуляции окружающей среды на основе высокой степени замкнутости круговорота углерода (высокой степени скоррелированности потоков синтеза и распада органического вещества), разрабатываемые с начала 80-х годов биофизиком **В.Г. Горшковым**.



Виктор Георгиевич
Горшков (г.р. 1935)

Регулирующая система «Гея» делает Землю сложной, но единой кибернетической системой.

Дж. Лавлок согласен, что «поиски Геи» могут быть долгими и трудными, поскольку в интегрированном механизме регуляции такого масштаба должны участвовать сотни разных процессов.

Не все склонны принимать эту гипотезу (**М.И. Будыко**, **Г.А. Заварзин** и др.), считая, что допускаемое авторами относительное постоянство климата и характер изменений атмосферы – явления маловероятные.

**Георгий Александрович
Заварзин (г.р. 1933)**



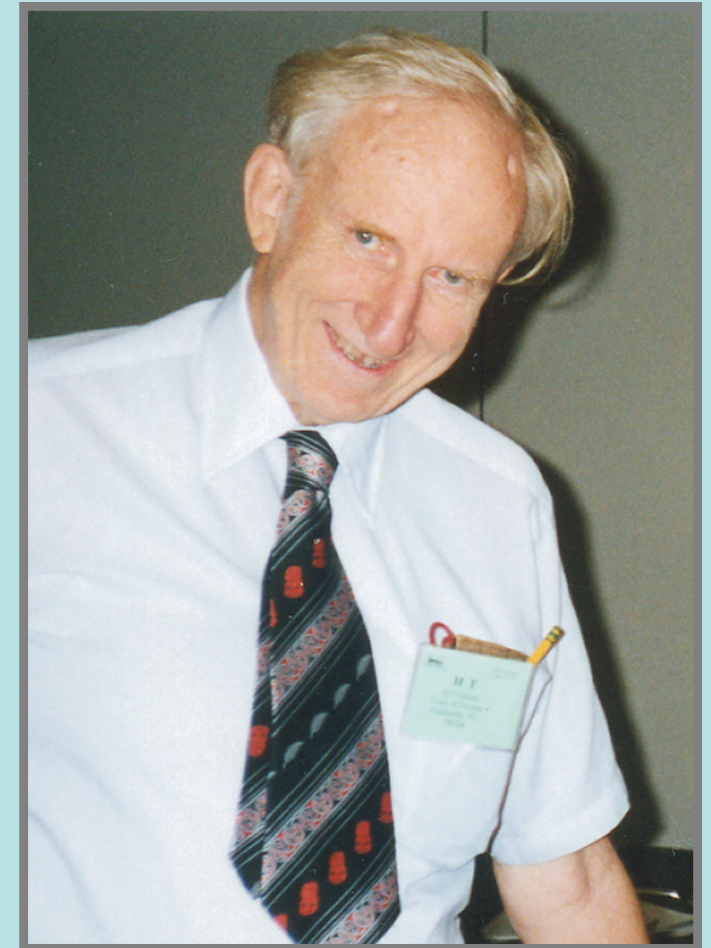
**Михаил Иванович
Будыко (1920-2002)**

ГИПОТЕЗА ОДНОНАПРАВЛЕННОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ

Представление о потоке энергии через **продуценты к консументам и редуцентам** с падением величины потока на каждом трофическом уровне (в результате процессов жизнедеятельности).

Поскольку в обратный поток (от редуцентов к продуцентам) поступает ничтожное количество от исходной энергии (не более 0,25%), **говорить о «круговороте энергии» нельзя**. В известном смысле, данная гипотеза представляет собой «экологическую интерпретацию» **второго начала термодинамики**.

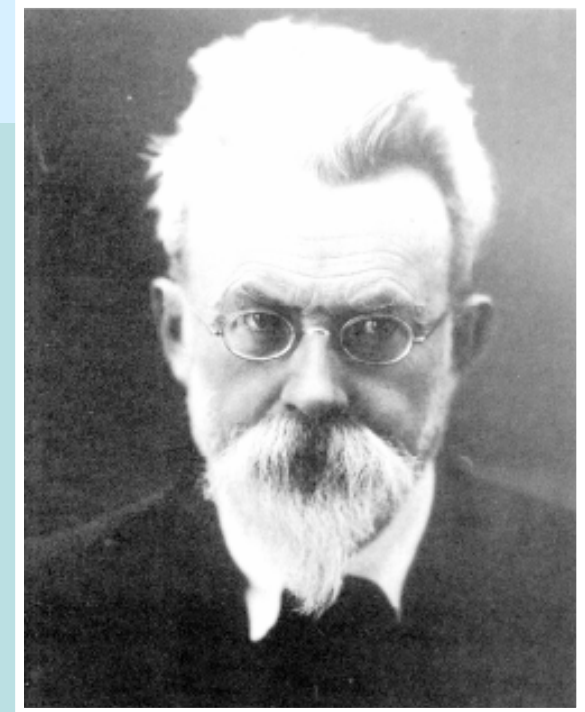
Именно **гипотеза однонаправленности потока энергии** выступает в качестве ограничителя прямых аналогий и оценок в «экологической валюте» эколого—экономических систем (деньги циркулируют, а при обмене деньги и энергия движутся в противоположных направлениях) — на это указывал **Говард Одум**.



Говард Одум
Howard T. Odum (1924-2002)

ГИПОТЕЗА КОНСТАНТНОСТИ Вернадского

Количество живого вещества биосферы для данного геологического периода есть величина постоянная.



Биомасса организмов Земли (Базилевич и др., 1971, с. 48)

Сухое веще- ство	Континенты			Океан			Всего
	зеленые растения	животные и микро- организмы	итого	зеленые растения	животные и микро- организмы	итого	
Тонны сух. в-ва	$2,4 \bullet 10^{12}$	$0,02 \bullet 10^{12}$	$2,42 \bullet 10^{12}$	$0,02 \bullet 10^{10}$	$0,3 \bullet 10^{10}$	$0,32 \bullet 10^{10}$	$2,4232 \bullet 10^{12}$

**Процентное соотношение промыслового вылова рыб в
Куйбышевском водохранилище (Лукин и др., 1968;
Розенберг, Краснощеков, 1996)**

Виды рыб	Годы		
	1954-1960	1967	1993
Ценные виды рыб (лещ, щука, судак)	80	62	41
Частиковые	17	35	54

ПРИНЦИП МАКСИМИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ

Лотки – Г. Одума – Пинкертона

В «соперничестве» с другими экологическими объектами выживают (сохраняются) те из них, которые наилучшим образом способствуют поступлению энергии и используют максимальное ее количество наиболее эффективным способом.



Альфред Джеймс Лотка
Alfred James Lotka
(1880-1949)
публикация 1922 г.



Говард Одум
Howard T. Odum
(1924-2002)



Ричард Пинкертон
Richard C. Pinkerton
(публикация с
Г. Одумом 1955 г.)

Следует заметить, что этот **принцип** справедлив и в отношении **информации**, а вот максимальное поступление **вещества** как такового не гарантирует успеха экологическому объекту в конкурентной борьбе с другими аналогичными объектами.

ПРИНЦИП ЛЕ ШАТАЛЬЕ – БРУНА



Анри Луи Ле Шаталье
Henri Louis Le Chatelier (1850-1936)

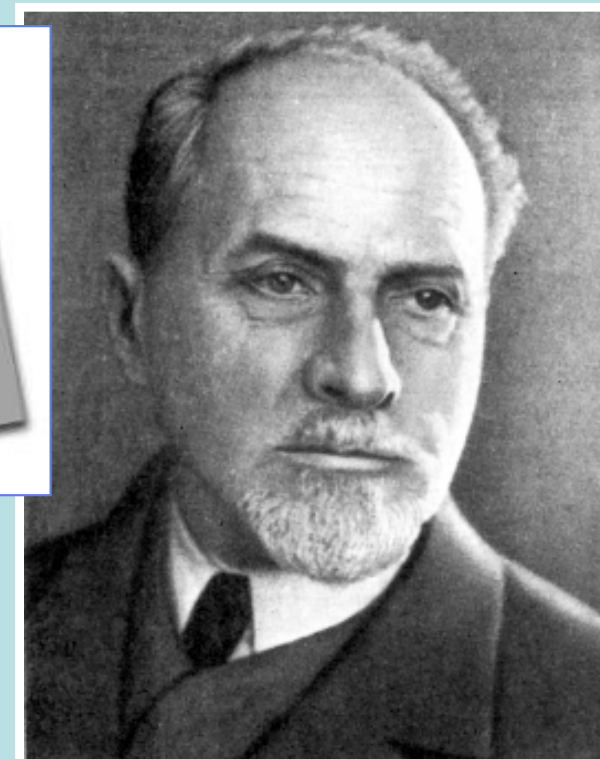


Карл Фердинанд Браун
Karl Ferdinand Braun (1850-1918)

Принцип был сформулирован в 1884 г.

При внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, равновесие смещается в том направлении, в котором эффект внешнего воздействия ослабляется. При этом, чем больше отклонение от состояния экологического равновесия, тем значительнее должны быть энергетические затраты для ослабления противодействия экосистем этому отклонению.

По-видимому, одними из первых применили этот принцип на уровне аутэкологии американский физиолог **Ф. Пайк** (F.H. Pike) в 1915 г., а на уровне экологии сообществ — **Д.Н. Кашкаров** в 1917-26 гг.



**Даниил Николаевич
Кашкаров (1878-1941)**

ПРИНЦИП НЕРАВНОВЕСНОЙ ДИНАМИКИ

Пригожина – Онсагера

Этот принцип обсуждался **Л. Онсагером** в 1931 г. и был развит в работах **И. Пригожина** 1947 г. и, особенно, 60-80-х годов.



Илья Романович Пригожин
Ilya Prigogine (1917-2003)

Ларс Онсагер
Lars Onsager (1903-1976)



«Здесь мы подходим к одному из наших **главных выводов**: на всех уровнях, будь то уровень макроскопической физики, уровень флуктуаций или микроскопический уровень, **источником порядка является неравновесность. Неравновесность есть то, что порождает «порядок из хаоса»...**

Если устойчивые системы ассоциируются с понятием детерминистического, симметричного времени, то неустойчивые хаотические системы ассоциируются с понятием вероятностного времени, подразумевающего нарушение симметрии между прошлым и будущим» (Пригожин, Стенгерс, 1994, с. 357).

Свойства открытых и закрытых систем

Открытые системы	Закрытые системы
Система адаптируется к внешним условиям, изменяя свою структуру	Для перехода из одной структуры к другой требуются сильные возмущения или изменения граничных условий
Наличие большого числа стационарных состояний	Одно стационарное состояние
Высокая чувствительность к случайным флуктуациям	Нечувствительность к флуктуациям
Неравновесность — источник порядка (все элементы системы действуют согласовано) и сложности	Элементы системы ведут себя, в известной степени, независимо друг от друга
Фундаментальная неопределенность (непредсказуемость) поведения системы	Поведение системы детерминировано определенное

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ Вернадского

- **Первый принцип.** Биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению.
- **Второй принцип.** Эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию форм жизни, устойчивых в биосфере, идет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов биосферы.
- **Третий принцип («всеюдности» или «давления» жизни).** В течение всего геологического времени, заселение планеты должно было быть максимально возможное для всего живого вещества, которое тогда существовало.

Биогеохимические принципы Вернадского направлены на увеличение КПД биосферы в целом.

ПИЩЕВЫЕ ЦЕПИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПИРАМИДЫ

Внутри экосистемы органические вещества создаются автотрофными организмами (например, растениями). Растения поедают животные, которых, в свою очередь, поедают другие животные. Такая последовательность называется **пищевой цепью**; каждое звено пищевой цепи называется **трофическим уровнем** (греч. *trophos* – питание).



Поток энергии
через типичную
пищевую цепь

Организмы первого трофического уровня называются **первичными продуцентами**.

На суше большую часть продуцентов составляют растения лесов и лугов; в воде это, в основном, зелёные водоросли.

Кроме того, производить органические вещества могут синезелёные водоросли и некоторые бактерии.



Организмы второго трофического уровня называются **первичными консументами**, третьего трофического уровня – **вторичными консументами** и т. д.

Первичные консументы – это травоядные животные (многие насекомые, птицы и звери на суше, моллюски и ракообразные в воде) и паразиты растений.

Вторичные консументы – это плотоядные организмы: хищники либо паразиты.



Существует ещё одна группа организмов, называемых **редуцентами**.

Это **сапрофиты** (обычно, бактерии и грибы), питающиеся органическими остатками мёртвых растений и животных (**детритом**). Детритом могут также питаться животные (**детритофаги**), ускоряя процесс разложения остатков. Детритофагов, в свою очередь, могут поедать **хищники**. В отличие от **пастбищных пищевых цепей**, начинающихся с первичных продуцентов (то есть с живого органического вещества), **детритные пищевые цепи** начинаются с детрита (то есть с мёртвой органики).



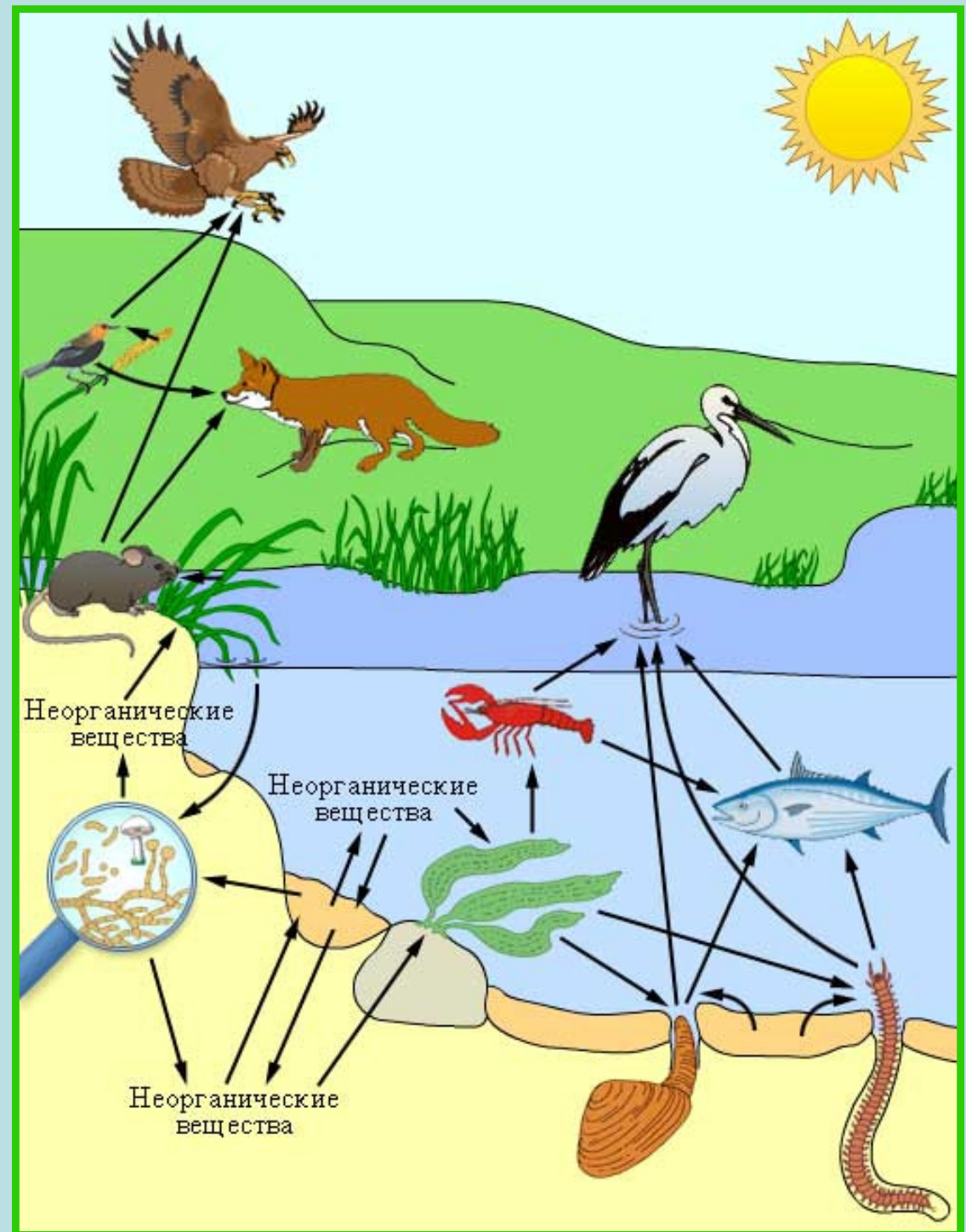
Дождевые черви



Гриф

В схемах **пищевых цепей** каждый организм представлен питающимся организмами какого-то определённого типа. Действительность намного сложнее, и организмы (особенно, хищники) могут питаться самыми разными организмами, даже из различных пищевых цепей. Таким образом, пищевые цепи переплетаются, образуя **пищевые сети**.

Пример пищевой сети

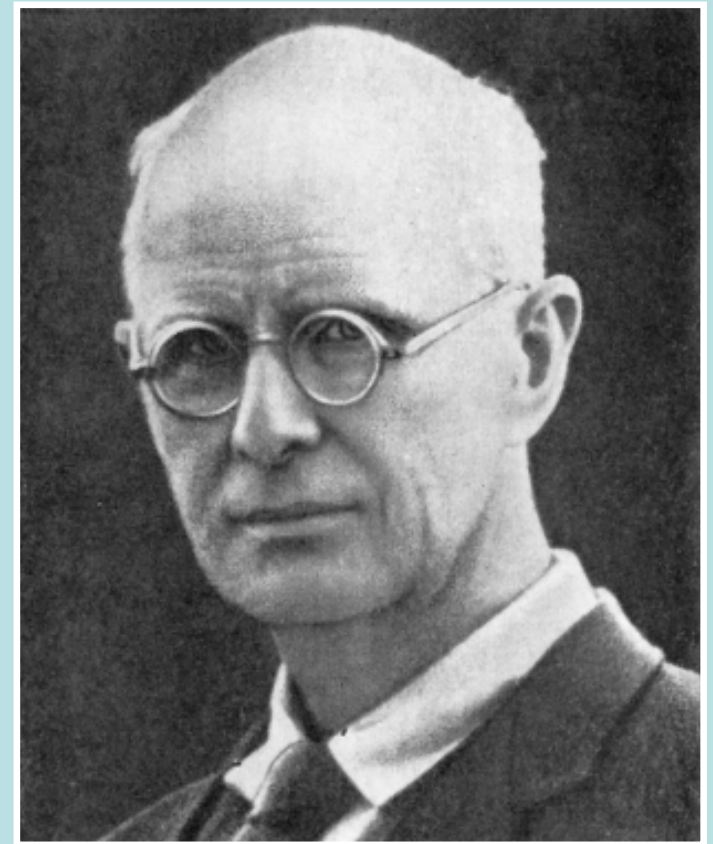


ЗАКОН ПИРАМИДЫ ЧИСЕЛ Элтона

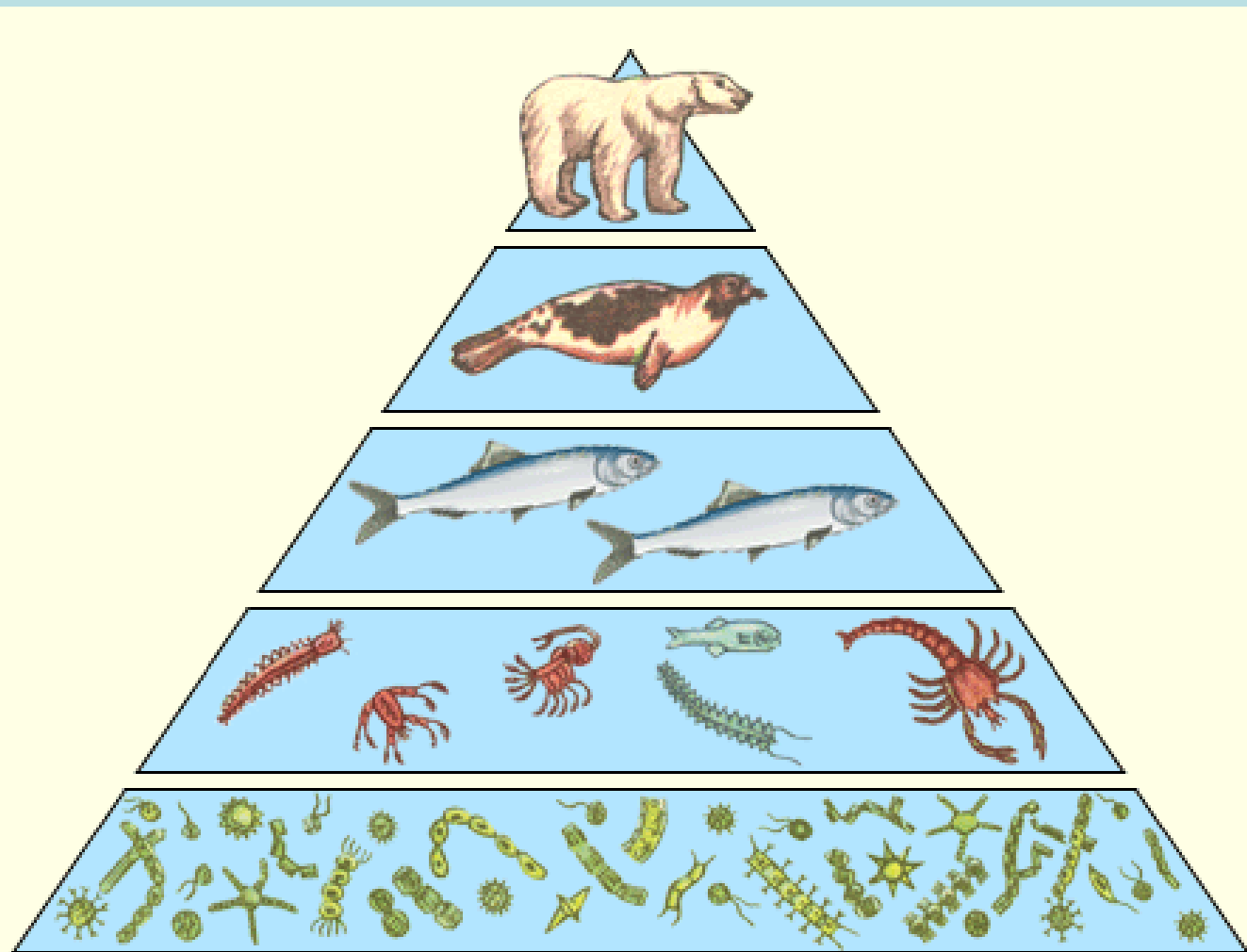
Число индивидуумов в последовательности трофических уровней убывает и формирует **пирамиду чисел**.

Закон предложен **Ч. Элтоном** в 1927 г.

Однако возможны исключения из этого закона (*тогда, закон ли это?*): например, тысячи насекомых могут питаться одним деревом...



Чарльз Элтон
Charles Sutherland Elton
(1900-1991)

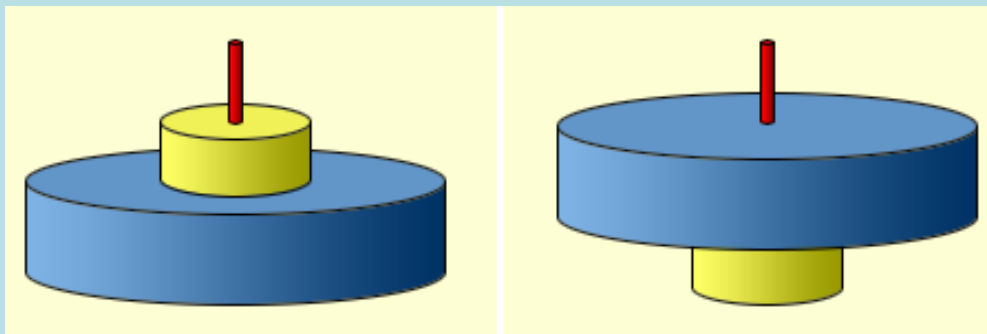


В трофических цепях, где энергия передается в основном через связи системы «хищник – жертва», **закон пирамиды чисел** наблюдается особенно отчетливо: общее число особей, участвующих в цепях питания, с каждым звеном уменьшается.

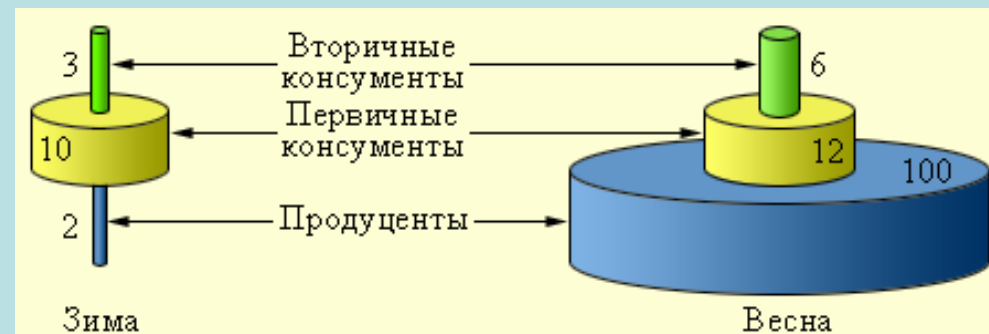
Упрощённый вариант экологической пирамиды

ЗАКОН ПИРАМИДЫ БИОМАСС

Пирамиды биомасс представляют более фундаментальный интерес, так как они дают «...картину общего влияния отношений в пищевой цепи на экологическую группу как целое» (Одум, 1975).



Слева изображена прямая пирамида биомасс, справа – перевёрнутая



Пример сезонного изменения в пирамиде биомассы

ЗАКОН ПИРАМИДЫ ПРОДУКТИВНОСТИ

Более стабильная пирамида, чем **пирамида чисел** или **пирамида биомасс**, которая в значительно бóльшей степени отражает последовательность трофических уровней.

Отношение каждого уровня **пирамиды продуктивности** к ниже расположенному интерпретируется как **эффективность**.

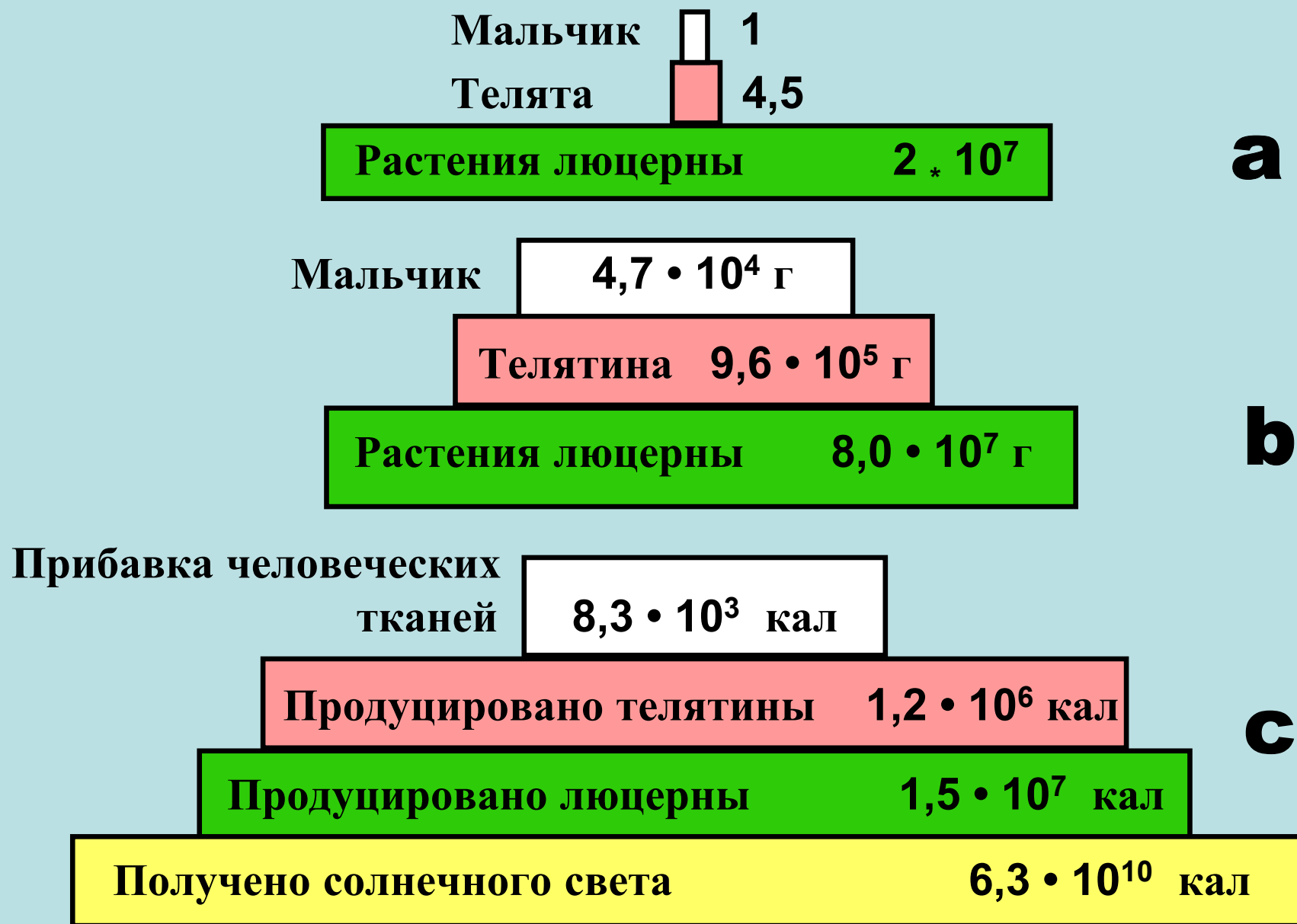


Рис. Три типа экологических пирамид для пищевой цепи «люцерна – теленок – мальчик» (Одум, 1975, с. 107); а – пирамида чисел, б – пирамида биомасс, в – пирамида продукции

ЗАКОН ТОРМОЖЕНИЯ РАЗВИТИЯ

В период наибольших потенциальных темпов развития системы возникают максимальные тормозящие эффекты (следствие из **принципа Ле Шаталье – Брауна**).

МОДЕЛИ КРУГОВОРОТА ВЕЩЕСТВ В БИОСФЕРЕ

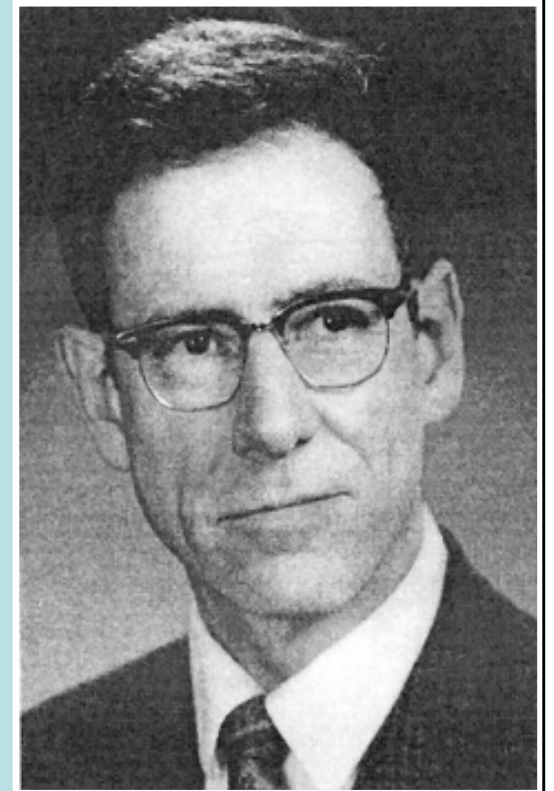
Некоторые в достаточной степени упрощенные представления о циркуляции основных химических элементов и веществ в биосфере по характерным путям из внешней среды в организмы и назад во внешнюю среду.

Эти в большей или меньшей степени замкнутые пути и называют

биогеохимическими круговоротами.

«Биогеохимический круговорот и биогеохимические связи суши, моря, атмосферы, почвы, пресных вод и организмов весьма сложны.

Каждый элемент или вещество имеет свою собственную структуру биогеохимического круговорота, отличающегося, по крайней мере в количественных деталях, от циркуляции всех других элементов. Все эти циклы, дополняемые циклами воздуха и воды, которые являются важной составной частью механизмов круговорота веществ, дают основание говорить о том, что локальные экосистемы земного шара образуют вместе единую мировую экосистему – **биосферу**... Человек является частью мировой экосистемы, и ее среда – это среда человека» (Уиттекер, 1980, с. 312).



Роберт Уиттекер
Robert H. Whittaker
(1920-1980)

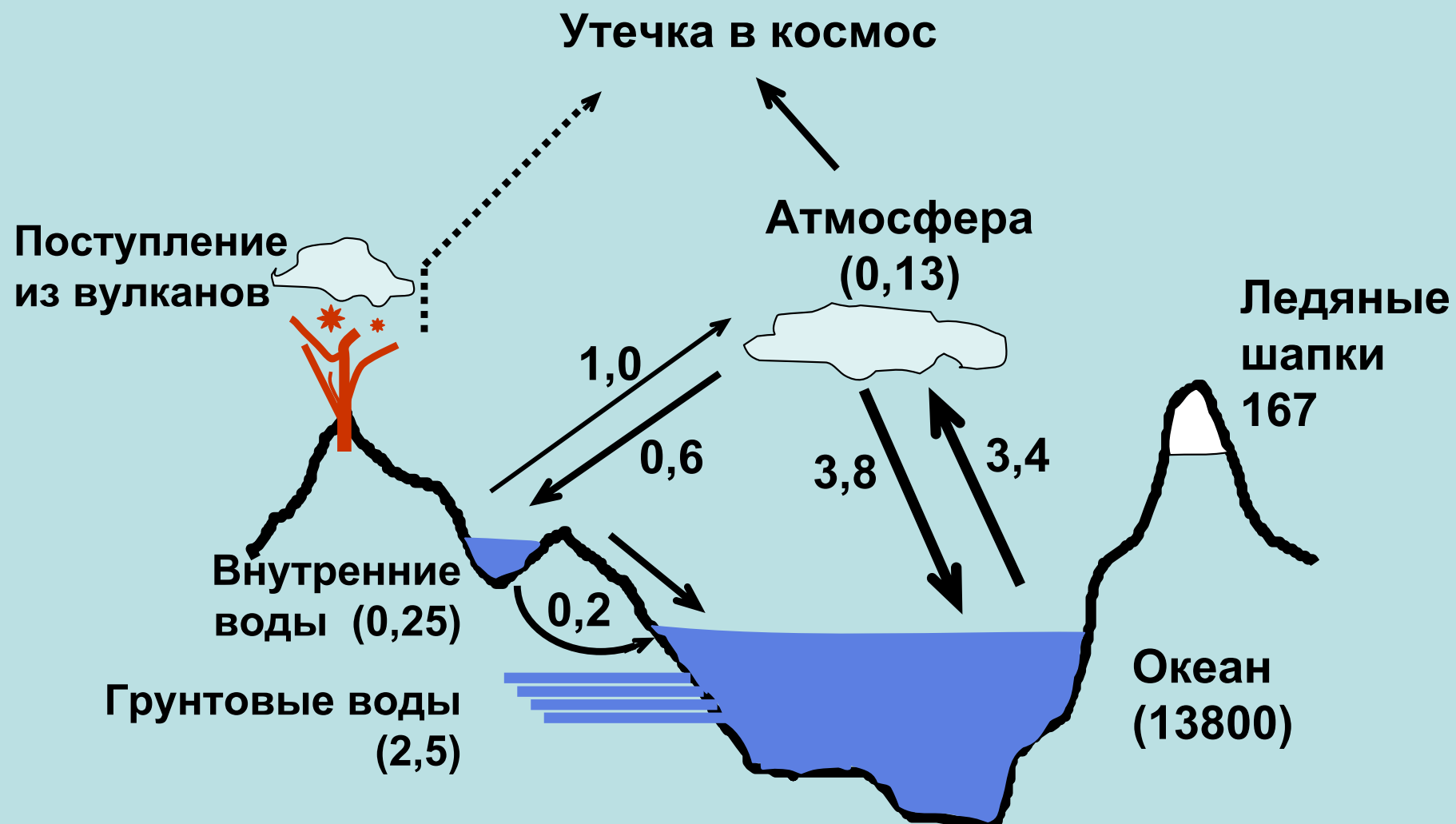
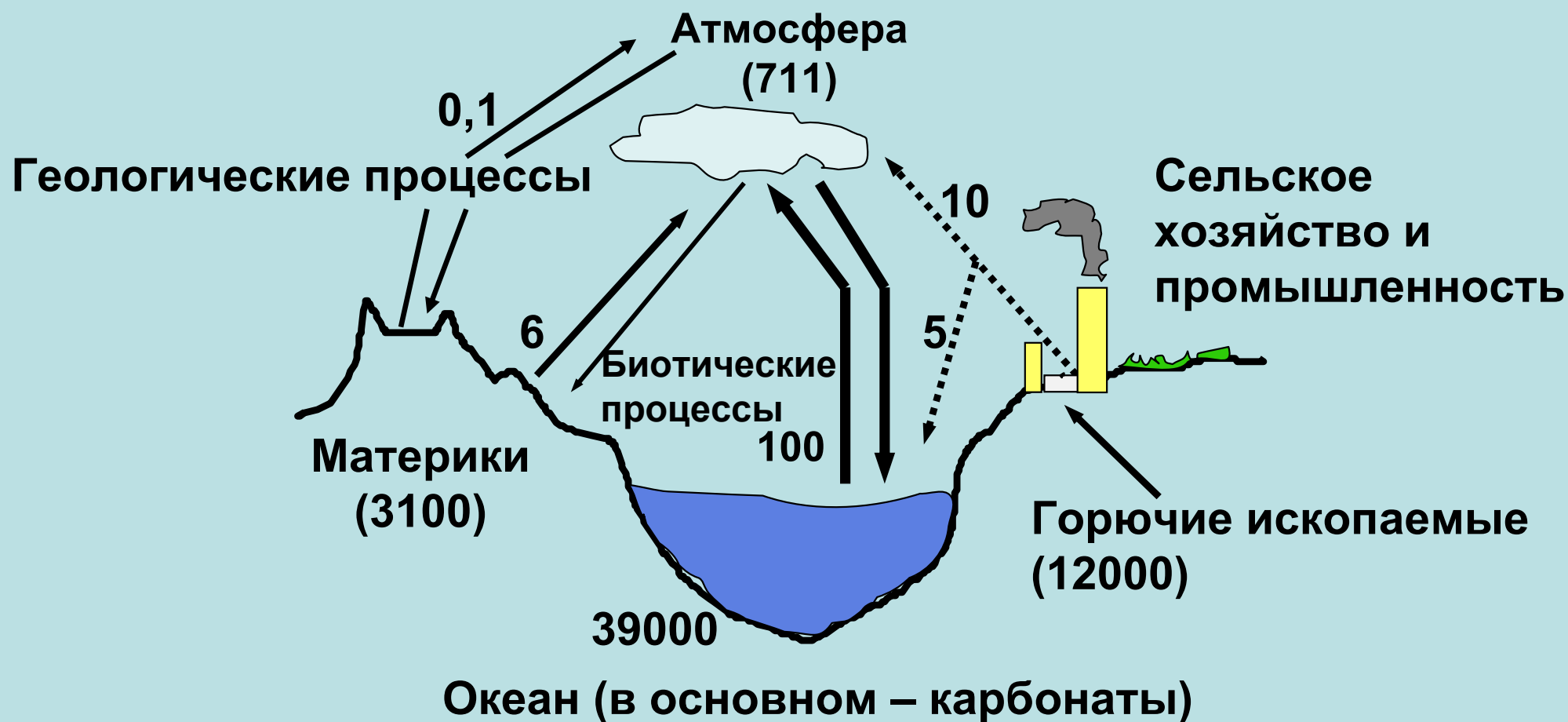


Рис. Круговорот воды (1020 г/год; Одум, 1975, с. 127)



**Рис. Круговорот двуокиси углерода
(1015 г; Одум, 1986, т. 1, с. 226)**

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В БИОСФЕРЕ

Модели для описания изменений компонент экосистем (**биогеохимических циклов**) под воздействием антропогенных факторов в масштабе биосферы.

Одной из первых глобальных моделей изменения биосферы, атмосферы и климата была модель **В.А. Костицына** (Kostitzin, 1935).



Владимир Александрович
Костицын (1883-1963)

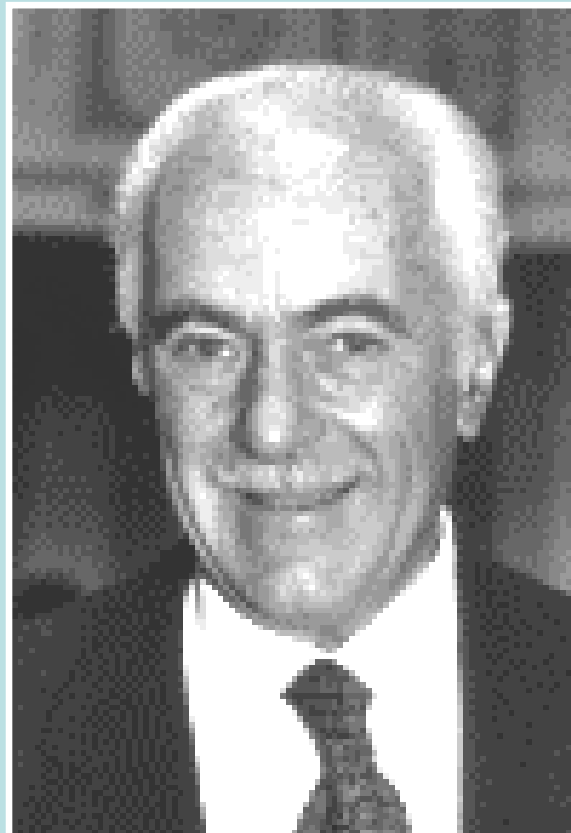


В апреле 1968 г. в Риме по инициативе предпринимателя – одного из экономических директоров компании «Фиат» – **Аурелио Печчеи** собралась группа из 30 специалистов (естественники, математики, экономисты, социологи, промышленники) из десяти стран с целью выработать стратегию человечества по предотвращению глобального эколого-экономического кризиса.

Эта группа получила название «Римский клуб».



Аурелио Печчеи
Aurelio Peccei (1908-1984)



Эмблема
Римского клуба



Джей Форрестер

Денис Медоуз

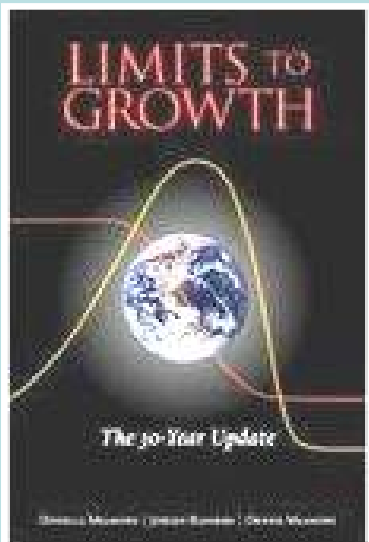


"Dana"

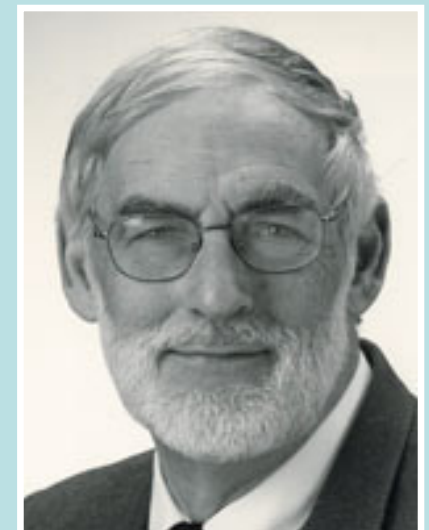


Донелла Медоуз
Donnella "Dana" H. Meadows
(1941-2001)

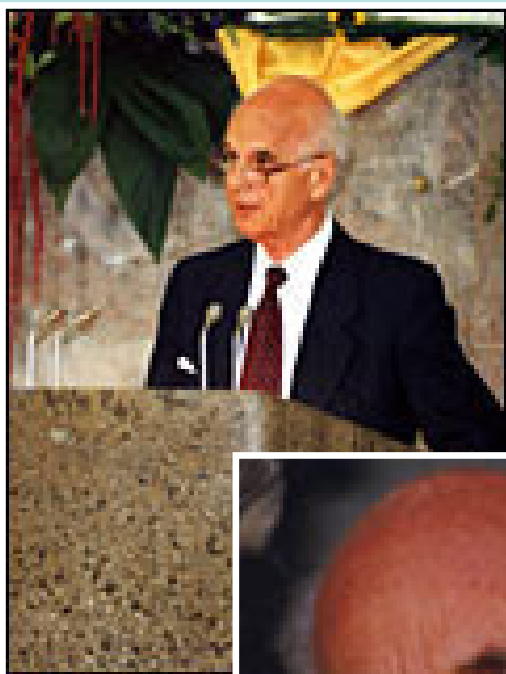
Джей Форрестер
Jay Wright Forrester
(г.р. 1918)



Денис Медоуз
Dennis L. Meadows (г.р. 1942)



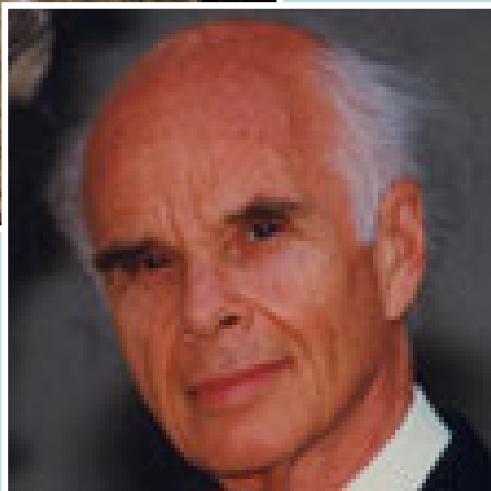
Методологической основой построения прогнозов в глобальном масштабе стали методы математического моделирования и, прежде всего, методы системной динамики **Джея Форрестера**.



Эрвин Ласло
Ervin László (г.р. 1932)



Михайло Месарович
Mihajlo (Mike) D. Mersarovič
(г.р. 1929)



Эдуард Пестель
Eduard Pestel (1914-1988)

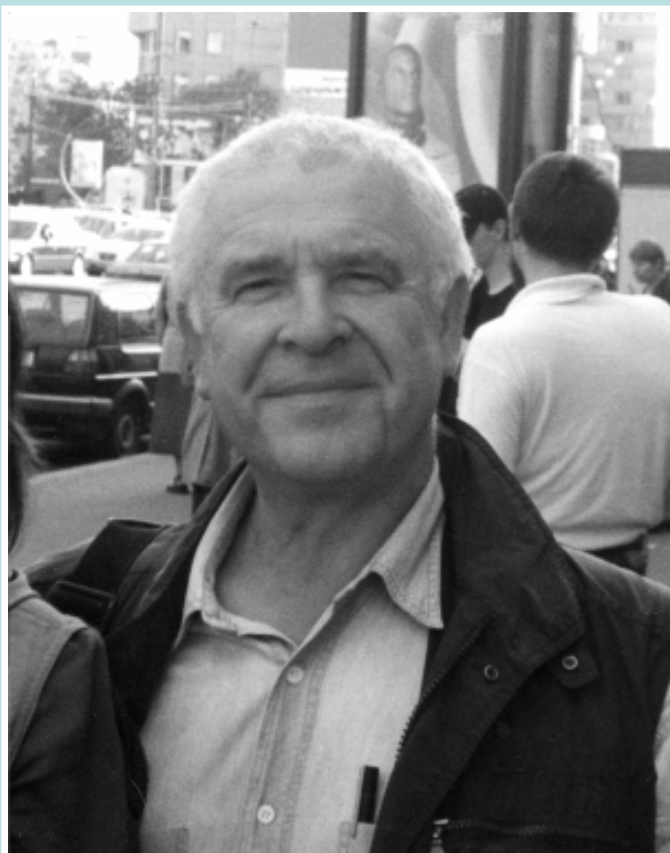
Мир по Эрвину Ласло «Век бифуркации» (1991)

	Существующий ныне взгляд	Нарождающийся новый взгляд
Физический мир	Атомистический; фрагментированный. Объекты независимы и самостоятельны. Люди индивидуализированы и дискретны.	Холистический; взаимосвязанный. Объекты и люди интегрированы в сообщество.
Физические процессы	Материалистические; детерминистические; механистические.	Органические; интерактивные; холистические.
Органическая функция	Дискретная и сепарабельная; части взаимозаменяемы.	Взаимосвязанная; взаимозависимая. Не взаимозаменяема и не заменяема.
Социальный этнос	Технологически ориентированный; интервенционистский; основанный на товарах.	Коммуникационно ориентированный; основанный на услугах.
Социальный прогресс	Зависящий от потребления; конверсия ресурсов.	Ориентированный на адаптацию; баланс ресурсов.
Экономика	Движимая конкуренцией и прибылью; носит характер эксплуатации.	Движимая кооперативными усилиями и информацией.
Человечество	Господствует над природой. Антропоцентрическое.	Интегрировано в природу. Гайацентрическое.
Культура	Евроцентрическая; колониальная.	Плюралистическая.
Политика	Иерархическая; основанная на силе.	Голархическая; основанная на гармонии.

**Крапивин В.Ф.,
Сви́режев Ю.М.,
Тарко А.М.
Математическое
моделирование
глобальных
биосферных
процессов. М.:
Наука, 1982, 268 с.**



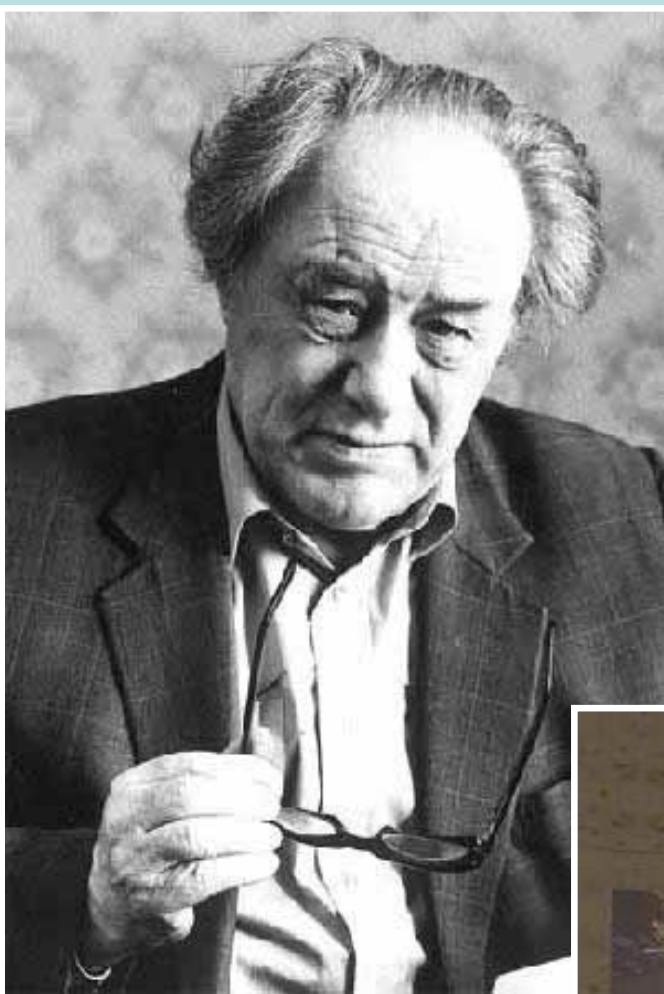
**Владимир Федорович
Крапивин (г.р. 1936)**



**Юрий Михайлович
Сви́режев (1938-2007)**



**Александр Михайлович
Тарко (г.р. 1944)**



**Никита Николаевич
Моисеев (1917-2000)**



**Владимир Валентинович
Александров (г.р. 1939;
в 1983 г. таинственно исчез)**



**Александр Михайлович
Тарко (г.р. 1944)**

**Моисеев Н.Н.,
Александров В.В.,
Тарко А.М.
Человек и биосфера.
Опыт системного
анализа и эксперименты
с моделями. М., Наука,
1985, 272 с.**

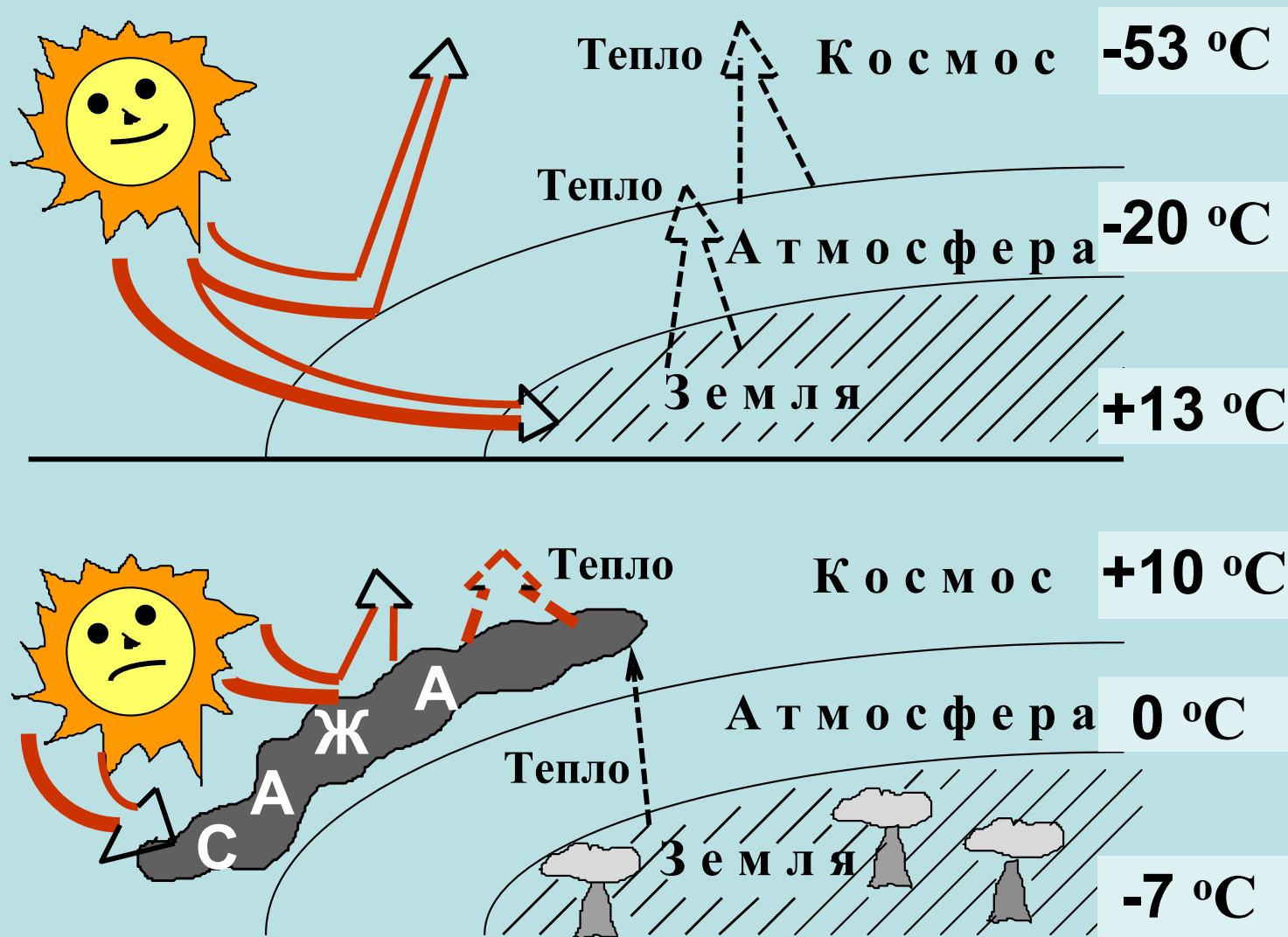


Рис. Иллюстрация эффекта «ядерной зимы»
(температура указана для поверхности почвы,
средних и верхних слоев атмосферы);
рисунок был предложен Ю.М. Свирижевским на конференции
«Математическое моделирование в биогеоценологии»
(г. Петрозаводск, 1985 г.)

АКСИОМА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ АККУМУЛЯЦИИ ЭНЕРГИИ

Часть проходящей через экосистему энергии накапливается и временно «выключается» из общего энергетического потока.



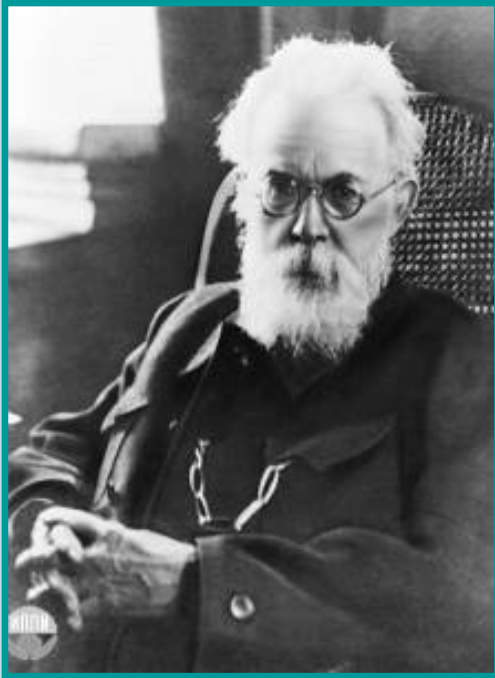
АКСИОМА БИОГЕННОЙ МИГРАЦИИ АТОМОВ Вернадского



**Владимир Иванович
Вернадский (1863-1945)**

Аксиома, согласно которой миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере осуществляется или непосредственно при участии живого вещества, или протекает в среде, геохимические свойства которой обусловлены живым веществом (как современным, так и «действовавшим» на Земле в течение всей геологической истории).

ПОСТУЛАТ МАКСИМУМА БИОГЕННОЙ ЭНЕРГИИ Вернадского – Бауэра



Любая экосистема, находясь в состоянии «устойчивого неравновесия» (т.е. динамического подвижного равновесия с окружающей средой) и эволюционно развиваясь, увеличивает свое воздействие на среду.



Эрвин Симонович
Бауэр (1890-1937[?])

ПРАВИЛА БЕЙЕРИНКА

Два правила, сформулированные голландским микробиологом

М. Бейеринком в 1921 г.:

все есть всюду (бактерии – жизненная пленка – развиваются повсюду, где есть условия для их существования) и

среда отбирает (изучаются организмы, которые «отобраны средой» либо потому, что в данных условиях могут развиваться только эти организмы, либо потому, что они побеждают своих конкурентов).

Первое из этих правил перекликается с **правилом обязательности заполнения экологических ниш**, второе – с **гипотезой абиотической регуляции численности популяции**.



Мартинус Бейеринк
Martinus Willem
Beijerinck (1851-1931)

ПРАВИЛО ДЕСЯТИ ПРОЦЕНТОВ (пирамида энергий Станчинского – Линдемана)

Владимир Владимирович
Станчинский (1882-1942)



Среднемаксимальный переход 10% энергии (или вещества в энергетическом выражении) с одного трофического уровня **экологической пирамиды** на другой, как правило, не ведет к неблагоприятным для экосистемы в целом и теряющего энергию трофического уровня последствиям.

Рой Линдеман

Raymond Laurel Lindeman (1915-1942)



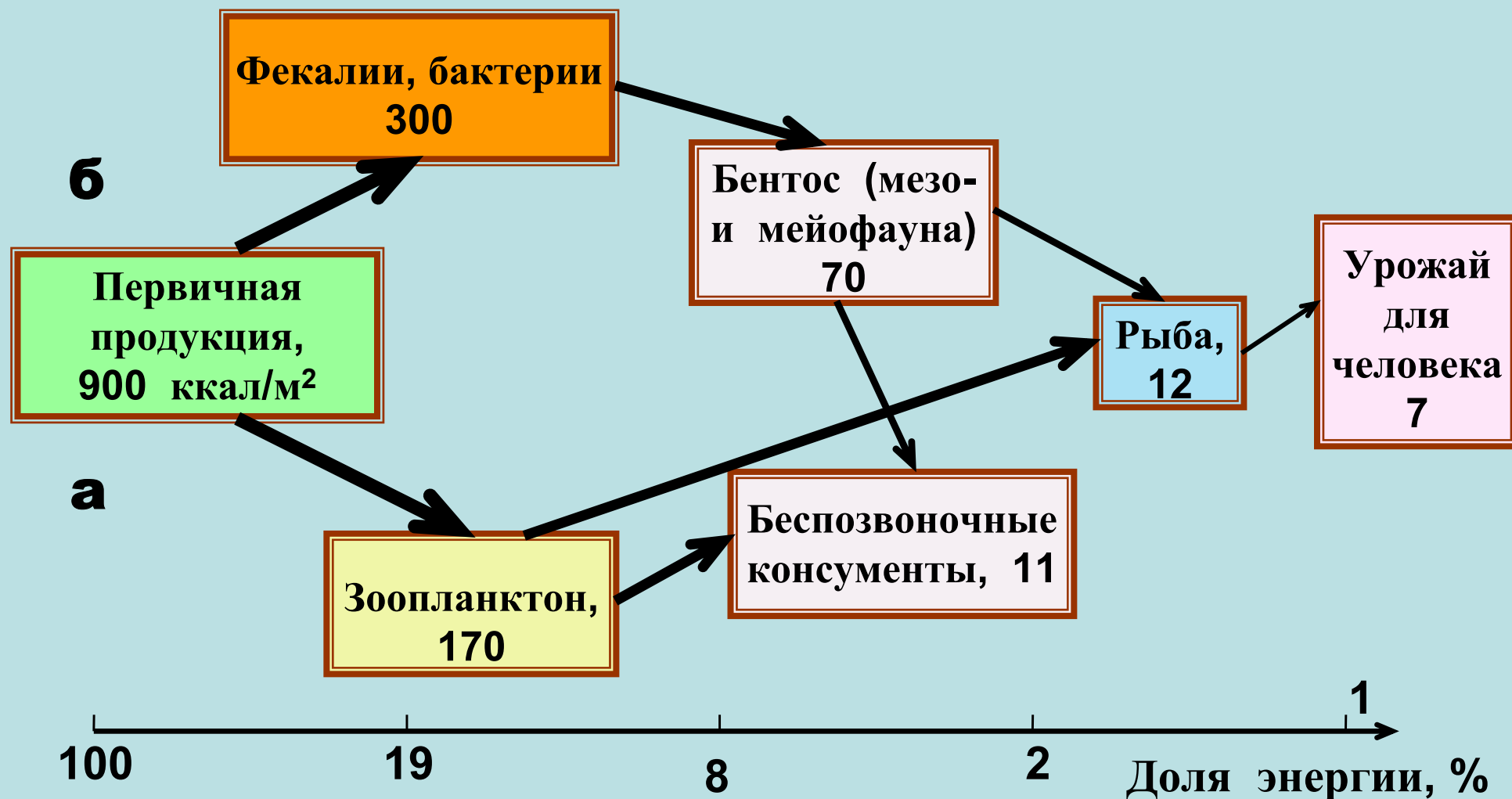


Рис. Схема пищевой сети Северного моря; показаны количества энергии, переносимой по пастбищной (а) и детритной (б) пищевым цепям (в ккал/м²)

ПРАВИЛО ОДНОГО ПРОЦЕНТА Горшкова



Виктор Георгиевич
Горшков (г.р. 1935)

Изменение энергетики природной системы на 1%, как правило, выводит природную систему из равновесного (квазистационарного) состояния.

Настоящее правило было сформулировано **В.Г. Горшковым** в 1985 г.

**плотность деструкции
органического в-ва**

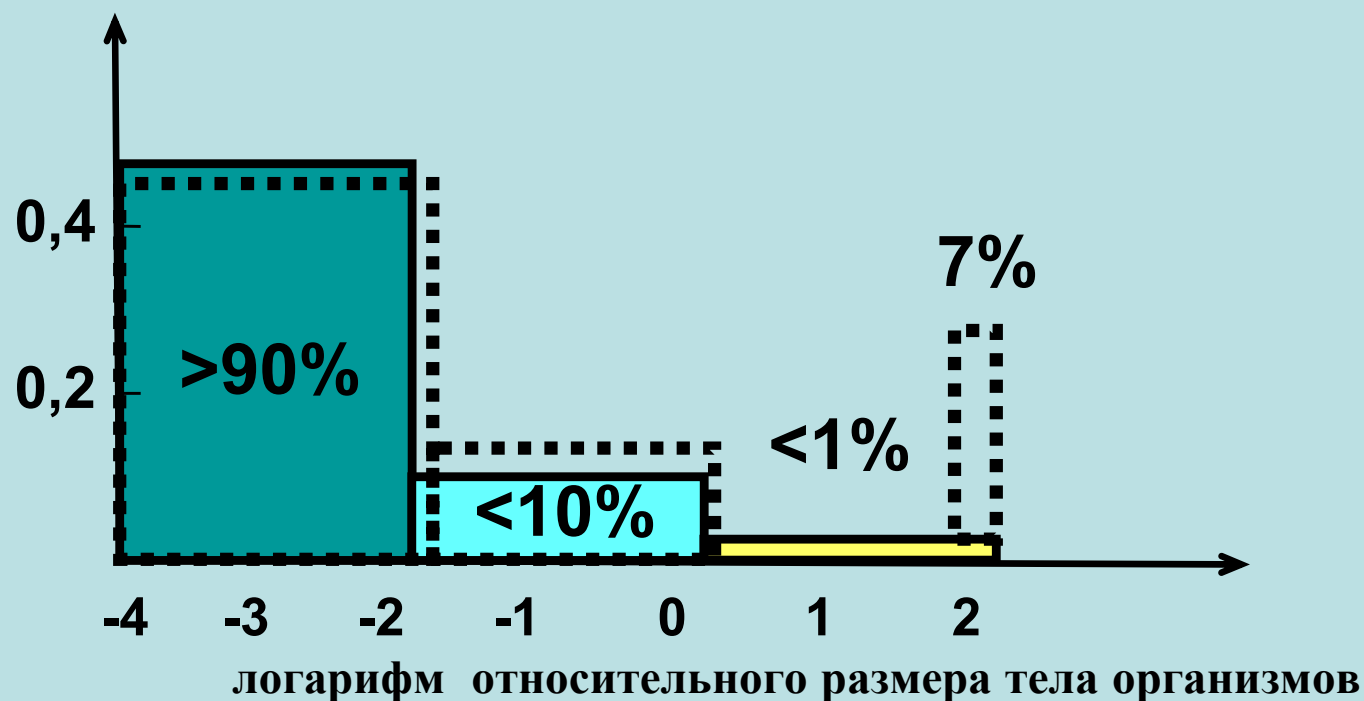


Рис. Естественное (сплошная линия) и антропогенно измененное (пунктирная линия) распределение деструкции органического вещества в биосфере в зависимости от размера тела организмов.

«В настоящее время с повышением антропогенной доли потребления до 7% биосфера и окружающая среда утратили стационарность» (Горшков, 1988, с. 1018).

ПРАВИЛО «ТРЕХ ТРЕТЕЙ»

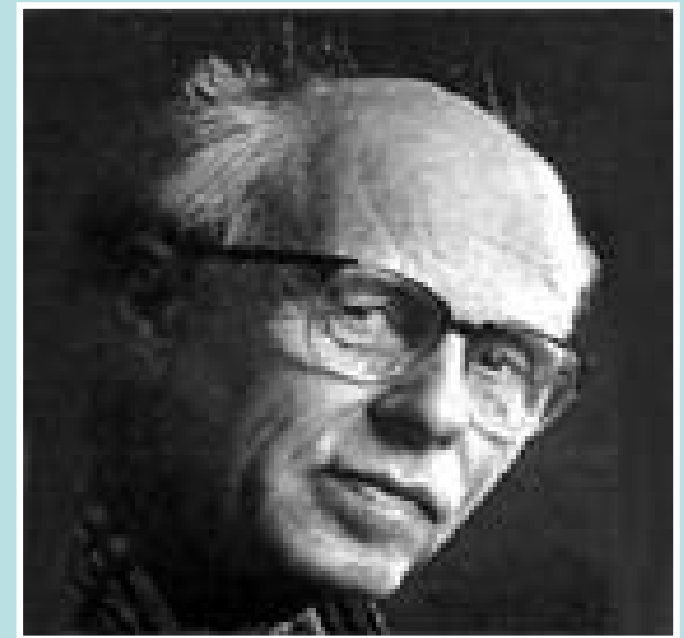
Стратегическое соотношение условий для благополучного существования человека (на глобальном, региональном и локальном уровнях):

- ☐ треть территории должна быть занята заповедной дикой природой (**ЗТ**);
- ☐ треть – допускать ограниченное хозяйственное использование (**ОТ**) с сохранением естественного ландшафта;
- ☐ треть – подвергаться окультуриванию (**РТ** – агроэкосистемы, дороги, города, карьеры и пр.). Иными словами, **ЗТ : ОТ : РТ = 1 : 1 : 1**.

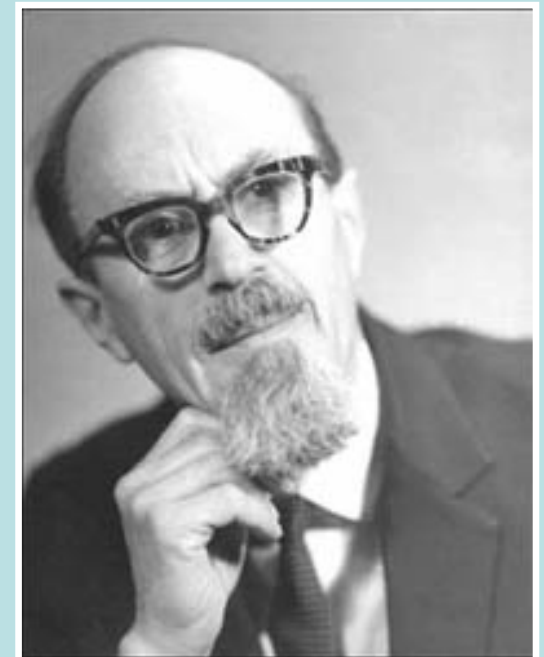
Заметим, что **А.Д. Сахаров** в футурологической работе "Мир через полвека", написанной 17 мая 1974 г., предлагал различать в индустриальном мире два типа территорий – рабочие (**РТ**) и заповедные (**ЗТ**), причем, их соотношение для оптимального равновесного состояния Земли должно быть **РТ : ЗТ = 3 : 8**.

Ландшафтовед **Д.Л. Арманд** в 1975 г. предлагал противоположный вариант – **ЗТ : ОТ : РТ = 1 : 9 : 90**.

Думается, что истина, как ей и положено, находится где-то близко к «середине» и правилом должно быть соотношение **ЗТ : ОТ : РТ = 1 : 1 : 1**.



**Андрей Дмитриевич
Сахаров (1921-1989)**



**Давид Львович
Арманд (1905-1976)**

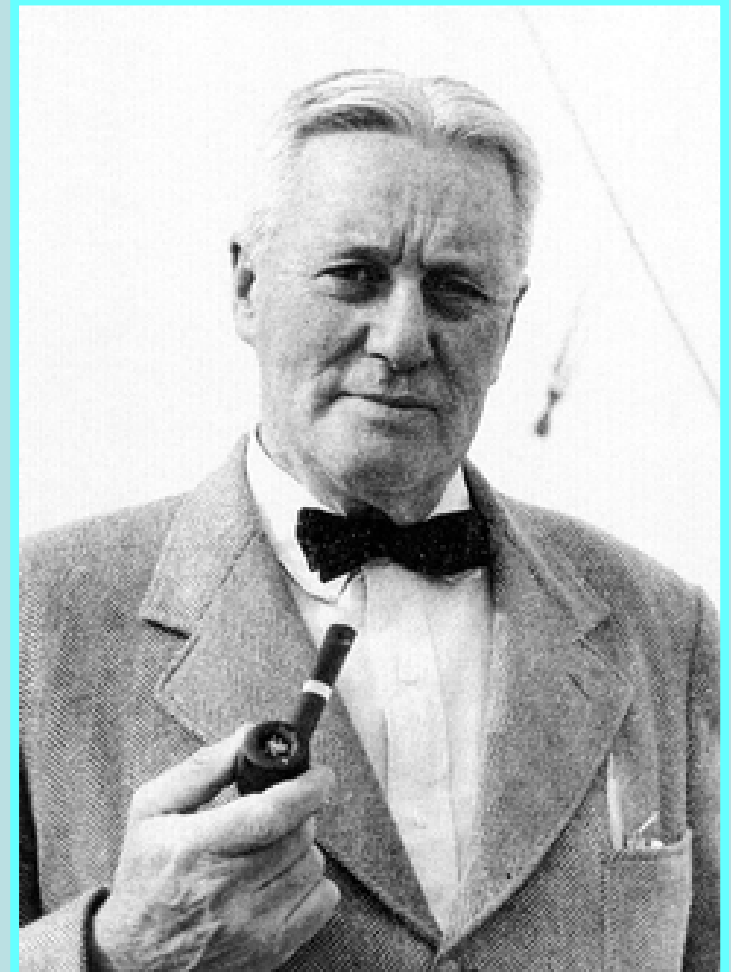
ПРОПОРЦИЯ (УРАВНЕНИЕ) Рэдфилда

Соотношение атомов важнейших элементов в биосфере имеет следующий вид:

$$\text{C} : \text{N} : \text{P} = 100 : 15 : 1 .$$

Это соотношение выведено **А. Рэдфилдом** в 1934 г. и хорошо соответствует, главным образом, планктонным сообществам.

Локальные отклонения от этих соотношений оказываются весьма чувствительными для экосистем, но сглаживаются деятельностью биосферы в целом.



Альфред Рэдфилд
Alfred Clarence Redfield
(1890-1983)



Просто красивое фото...



Благодарю за внимание ...