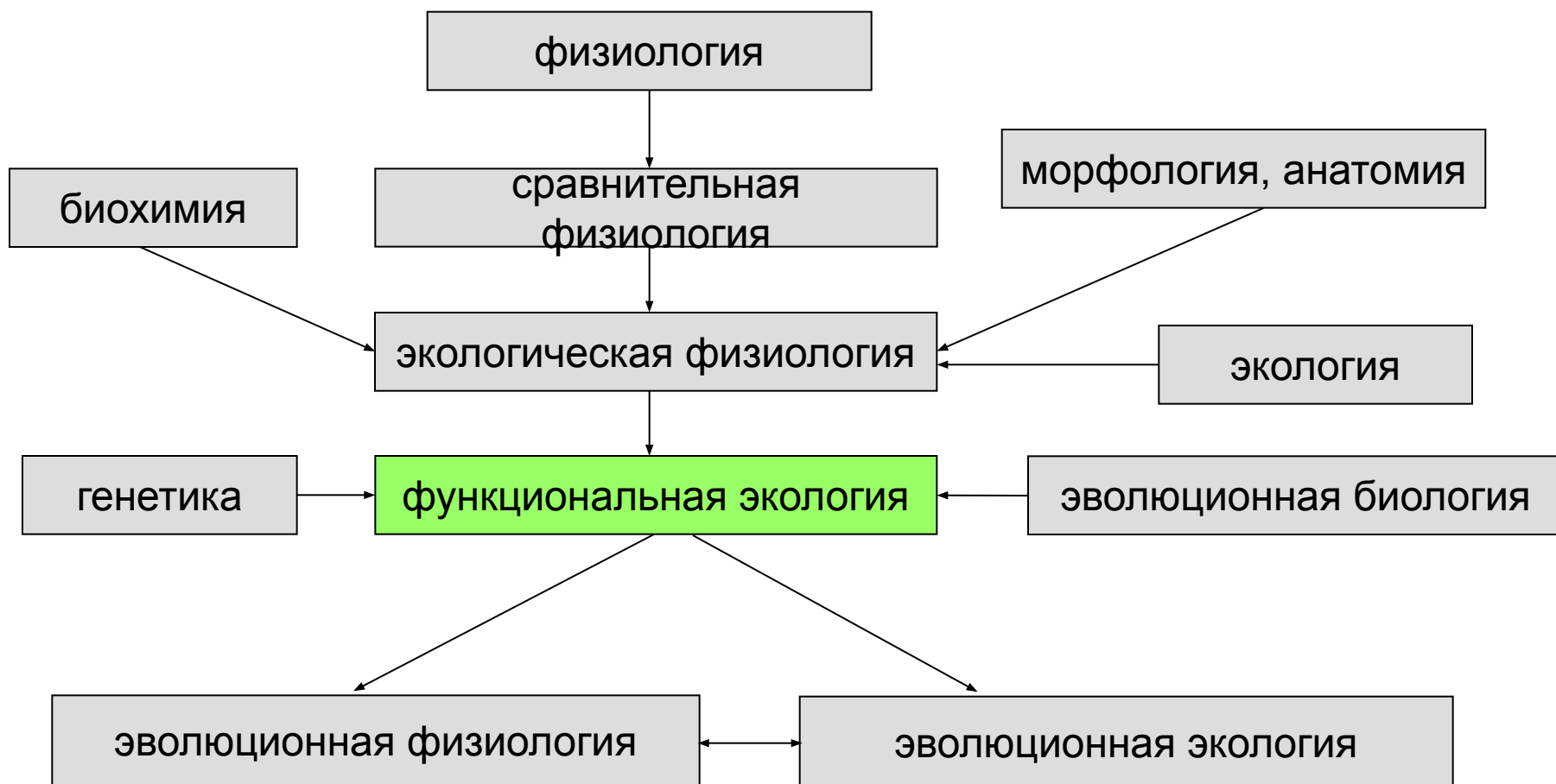
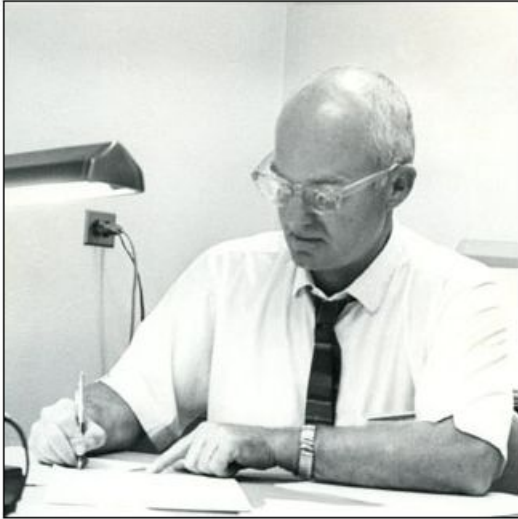


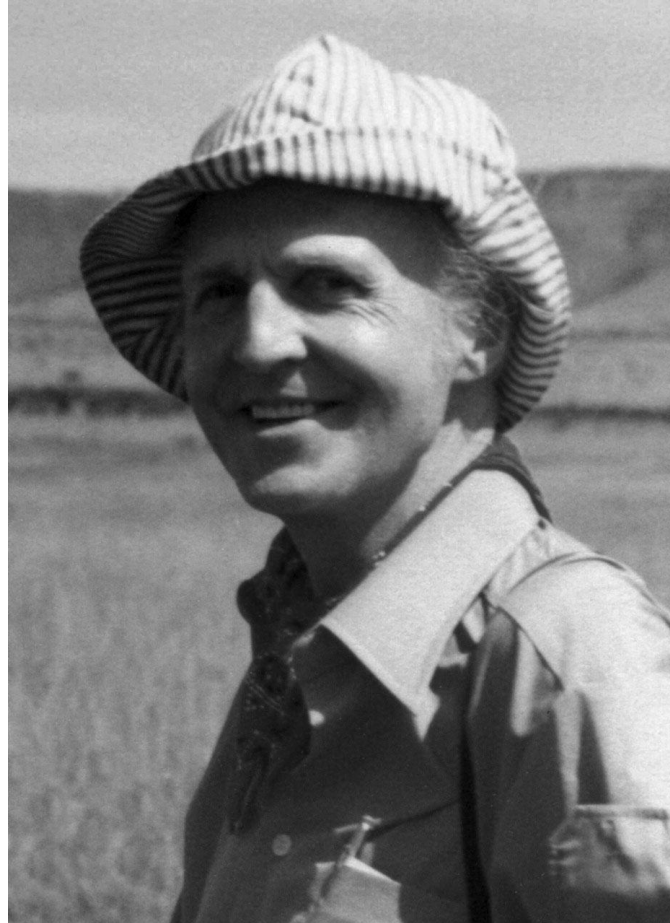
- Физиологическая (функциональная) экология исследует (физиологические) механизмы, с помощью которых осуществляется адаптация биологических систем разного уровня к условиям среды и их изменению
- Время зарождения функциональной экологии: 30-е годы XX века



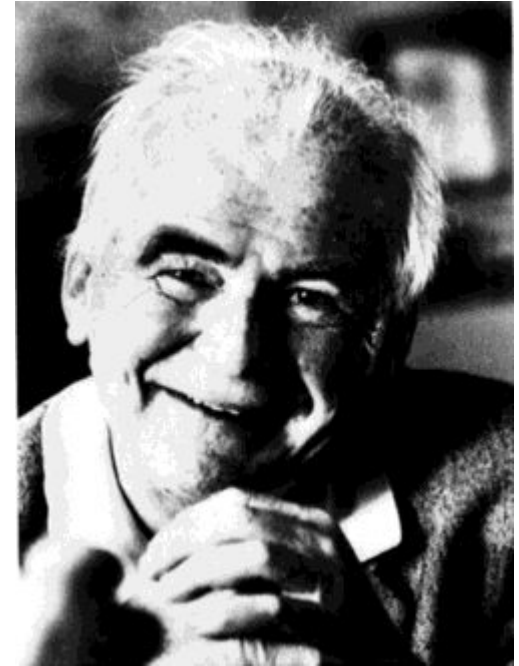
- Основатели: **Джордж Бартоломью, Кнут Шмидт-Ниельсен, Пер Шоландер, Лоренс Ирвинг, Н.И. Калабухов, А.Д. Слоним, И. А. Шилов.**



George A. Bartholomew  
(1919-2006)



Knut Schmidt-Nielsen  
(1915-2007)



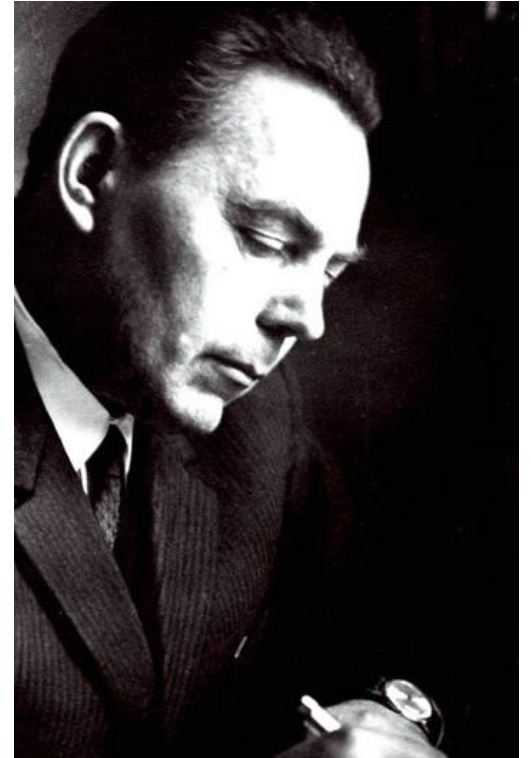
Per Fredrik Scholander  
(1905-1980)



Абрам Донович Слоним  
(1903-1986)



Николай Иванович Калабухов  
(1908–1991)



Игорь Александрович Шилов  
(1921-2001)

- В самостоятельную дисциплину функциональная экология выделилась в конце 80-х годов XX века.
- 1987 год: появление книги «**New directions in ecological physiology**» (Feder et al., 1987), в которой было отражено современное состояние этого раздела экологии, определены основные концепции и подходы, намечены дальнейшие цели и пути развития. Появление журналов «Functional ecology» и «Evolutionary Ecology». Годом позже – журнала “Journal of Evolutionary Biology”.
- В 90-х годах физиологическая экология стала одним из самых бурно развивающихся направлений экологии.

# Энергетика

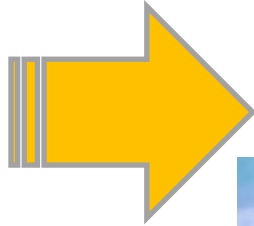
- Расход энергии животным отражает цену его жизнедеятельности.
- Изучение энергетики на организменном, популяционном и видовом уровнях сейчас является неотъемлемой частью физиологической экологии. Это отражено в самом названии главного труда по физиологической экологии последних лет “The physiological ecology of vertebrates: a view from energetics” (McNab., 2002).

Изменение веществ в процессе их биогенного круговорота происходит с затратой энергии

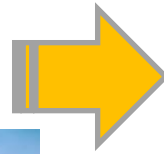


Главный источник энергии – энергия солнечного излучения

100%



15%



1%

0%



Органическое вещество – связывается в результате фотосинтеза растениями

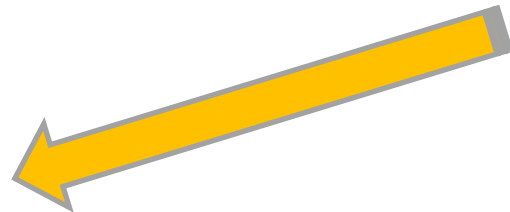


Жизненные процессы = ПОТЕРИ на ДЫХАНИЕ

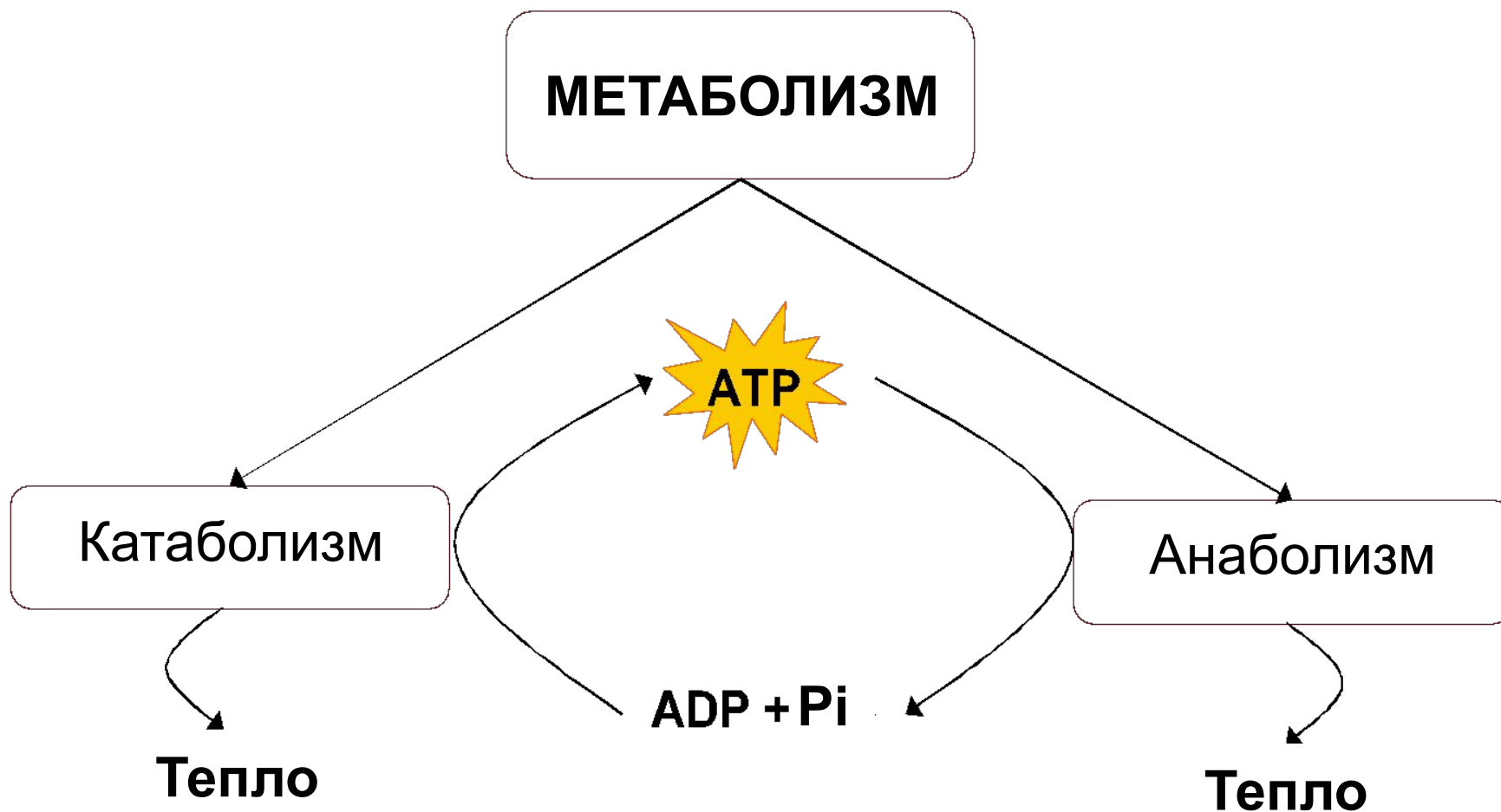
~50%

~50%

Рост биомассы = первичная продукция = 0.5% солнечной энергии (...0.1%)

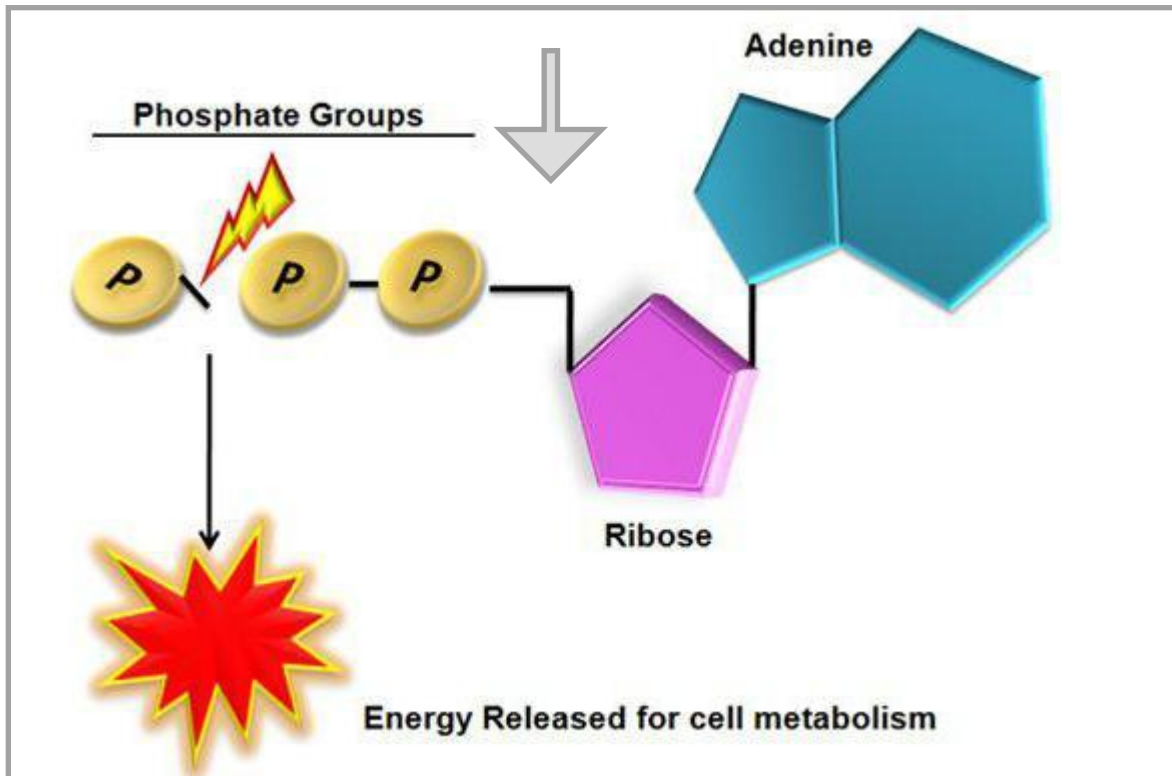


~40% используется гетеротрофами (= консументы I порядка)

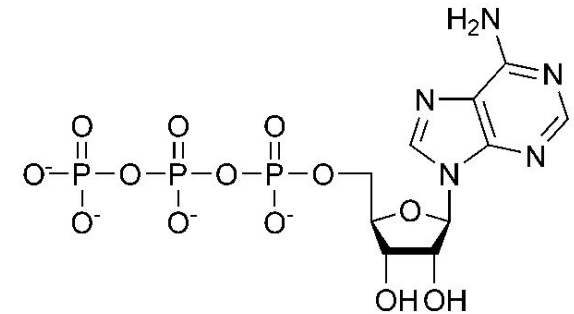




13,8 кДж/моль,



АТФ

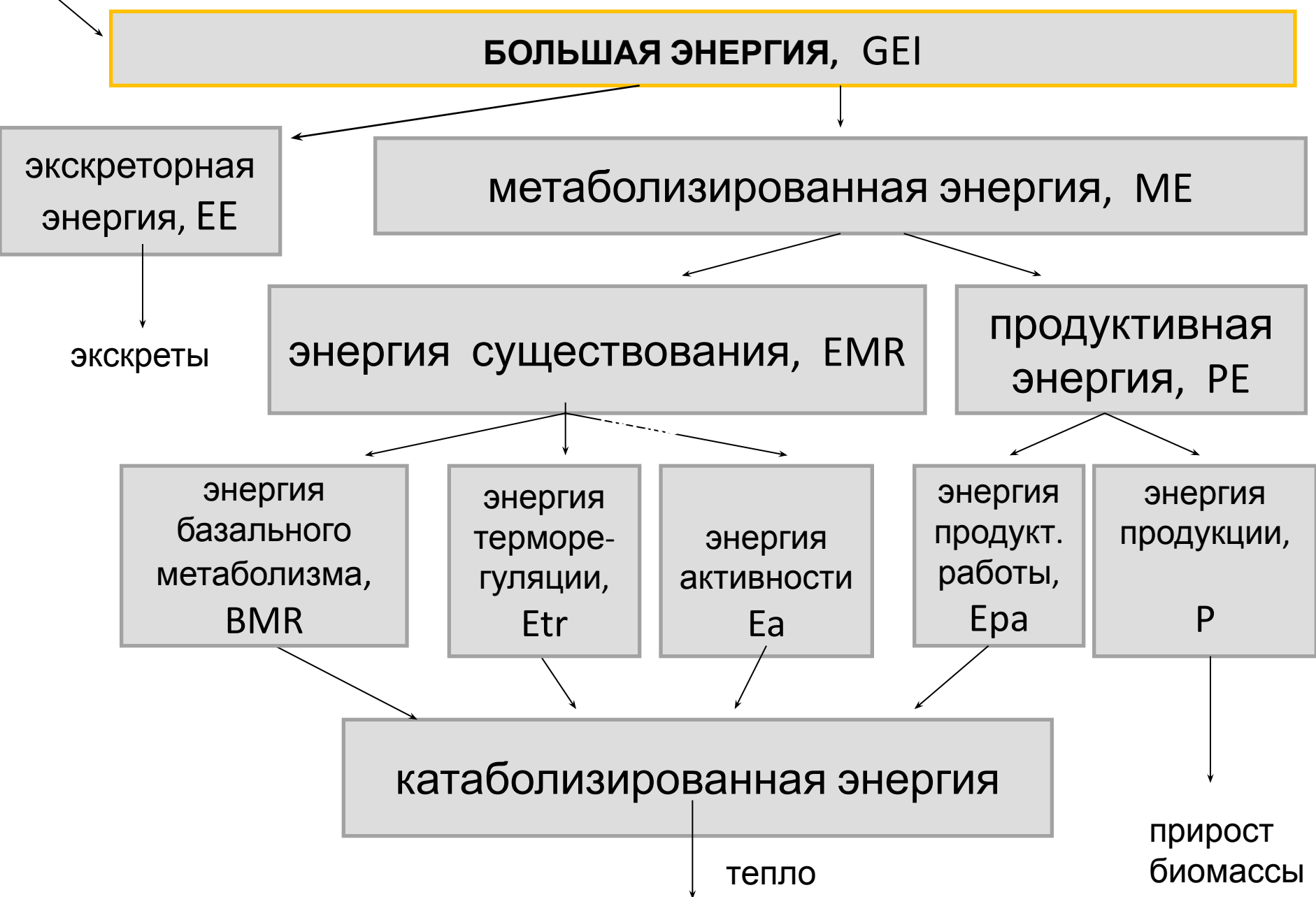


40-60 кДж/ моль

- В клетке около 1 млрд молекул АТФ.
- Каждая молекула живет не больше 1 минуты.
- Одна молекула АТФ обновляется 2000-3000 раз/сутки.
- За сутки организм [человека] синтезирует 40 кг АТФ, и в каждый момент времени запас АТФ составляет 250 г.

# Схема потока энергии в организме взрослой птицы

пища



Усвоение энергии из пищи (МЕС) < 100%

$$\text{МЕС} = \text{ME}/\text{GEI},$$

но  $\text{GEI} = \text{ME} + \text{EE},$

$\text{МЕС} = \text{ME}/\text{GEI} = (\text{GEI} - \text{EE})/\text{GEI}$  – путь, который будет исследован вами в практической задаче на птицах (руководитель Т.А.Ильина).

МЕС зависит от:

- Состава пищи
- Та
- Сезона
- Ферментативной системы вида
- Др.

Несмотря на то, что МЕС не может быть в строгом смысле характеристикой пищи, накопленные данные по многим видам птиц и типам кормов позволяют получать вполне практичные количественные оценки ( рис. по Дольнику, 1995)

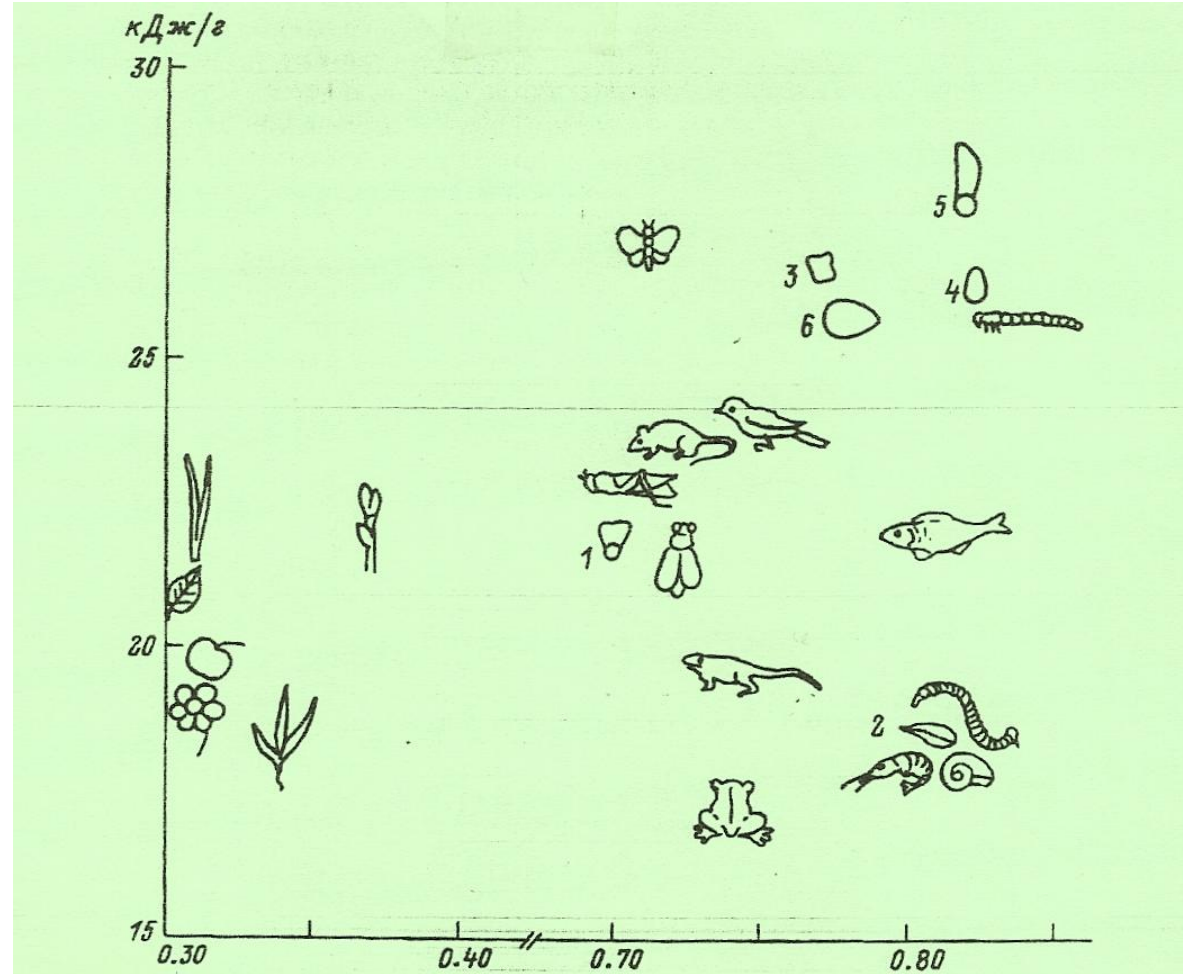
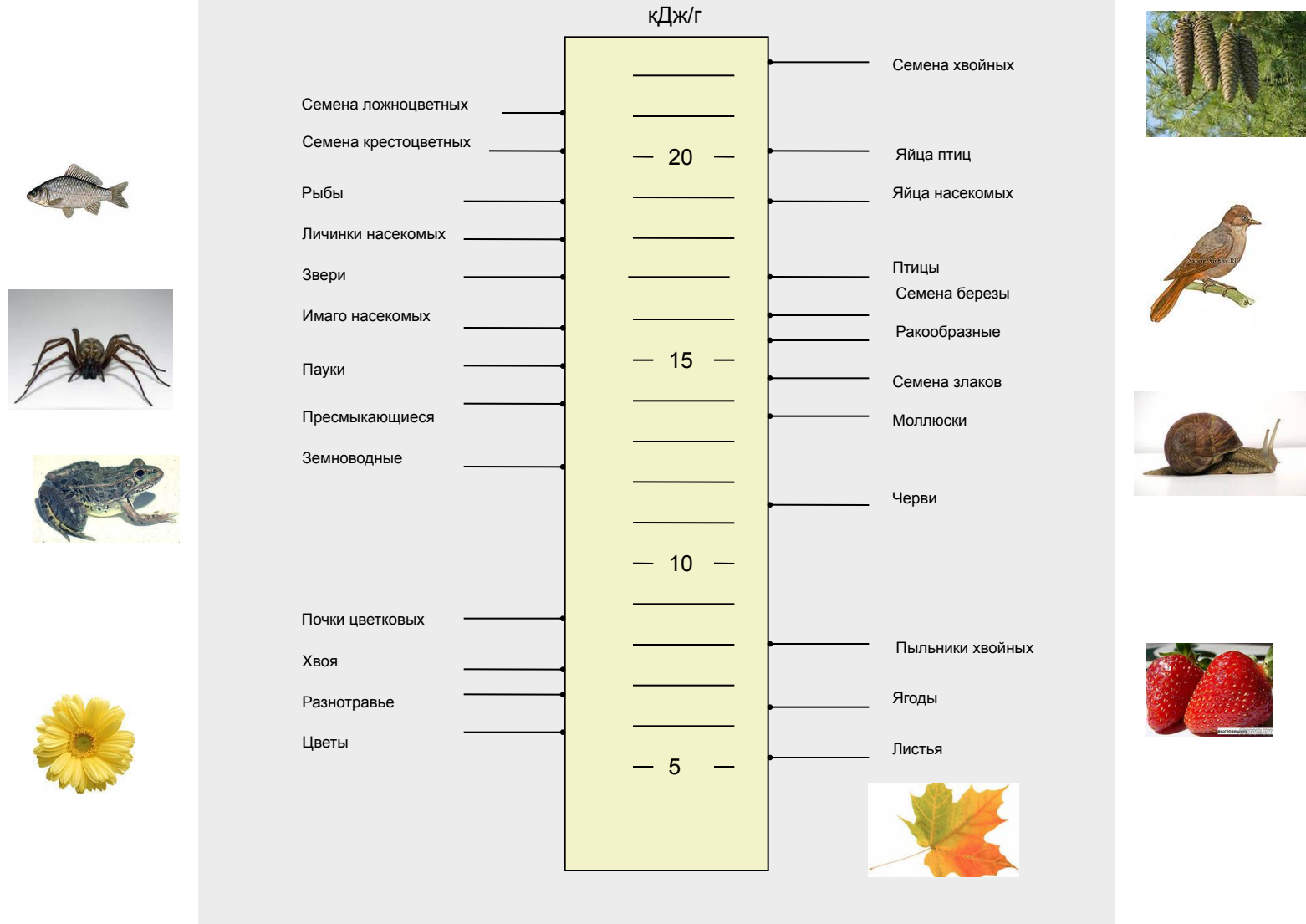


Рис. 5. Удельная калорийность основных классов растительных и животных объектов питания (ордината, кДж/г сухой массы) и коэффициент их усвоения (абсцисса) птицами (по: Дольник и др., 1982, с дополнениями).

1-5 — семена березовых, злаков, крестоцветных, сложноцветных и хвойных соответственно; 6 — яйца птиц.



Удельная энергетическая ценность (кДж/г сухой массы) разных классов пищевых объектов для птиц

Рассчитано путем умножения удельной калорийности пищи на коэффициент ее усвоения птицами

Таблица 6. Константы для непрямого определения энергообмена (по Даргольцу, 1973)

Метаболические константы	Жиры	Углеводы	Белки	
			млекопитающих	птиц
Количество $O_2$ на 1 г (л)	2,03	0,83	1,03	0,95
Количество $CO_2$ на 1 г (л)	1,45	0,83	0,87	0,71
Дыхательный коэффициент $CO_2/O_2$	0,71	1,00	0,85	0,74
Энергетическая стоимость (кДж/г)	39,06	17,64	19,74	18,48
Метаболическая вода (г/г)	1,05	0,56	0,40	0,49
Энергетический коэффициент $O_2$ (кДж/л)	19,32	21,25	19,19	19,24
Энергетический коэффициент $CO_2$ (кДж/л)	26,88	21,25	22,51	25,83

Продукция тепла и потребление кислорода в процессах метаболизма основных питательных веществ. Величины для белков зависят от того, будет ли конечным продуктом распада мочевины или мочевая кислота. Отношение количества образовавшейся  $\text{CO}_2$  к количеству потребленного  $\text{O}_2$  называется дыхательным коэффициентом (ДК)

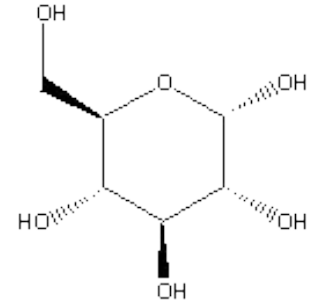
Питательное вещество	(а) Ккал/г	(б) л $\text{O}_2$ /г	(в) ккал/л $\text{O}_2$	(г) ДК= $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$
Углевод	4,2	0,84	5,0	1,00
Жир	9,4	2,0	4,7	0,71
Белок (→мочевина)	4,3	0,96	4,5	0,81
Белок (→мочевая кислота)	4,25	0,97	4,4	0,74

# Дыхательный коэффициент (RQ)

## Углеводы (глюкоза):



$$\text{RQ} = 6\text{CO}_2 / 6\text{O}_2 = \underline{\underline{1.00}}$$



## Жир (пальмитиновая к-та):



$$\text{RQ} = 16\text{CO}_2 / 23\text{O}_2 = \underline{\underline{0.70}}$$



# Схема потока энергии в организме взрослой птицы



- Замедление рассеивания энергии (ограничение энтропии, нарушение 2-ого закона термодинамики) = свойство живой материи
- Энергия, накопленная в тканях гетеротрофа = **вторичная продукция экосистемы.**
- НО энергия, доступная для потребления другими гетеротрофами , уменьшается на каждом этапе □ редукция энергии □ краткость пищевых цепей

# Схема потока энергии в организме взрослой птицы

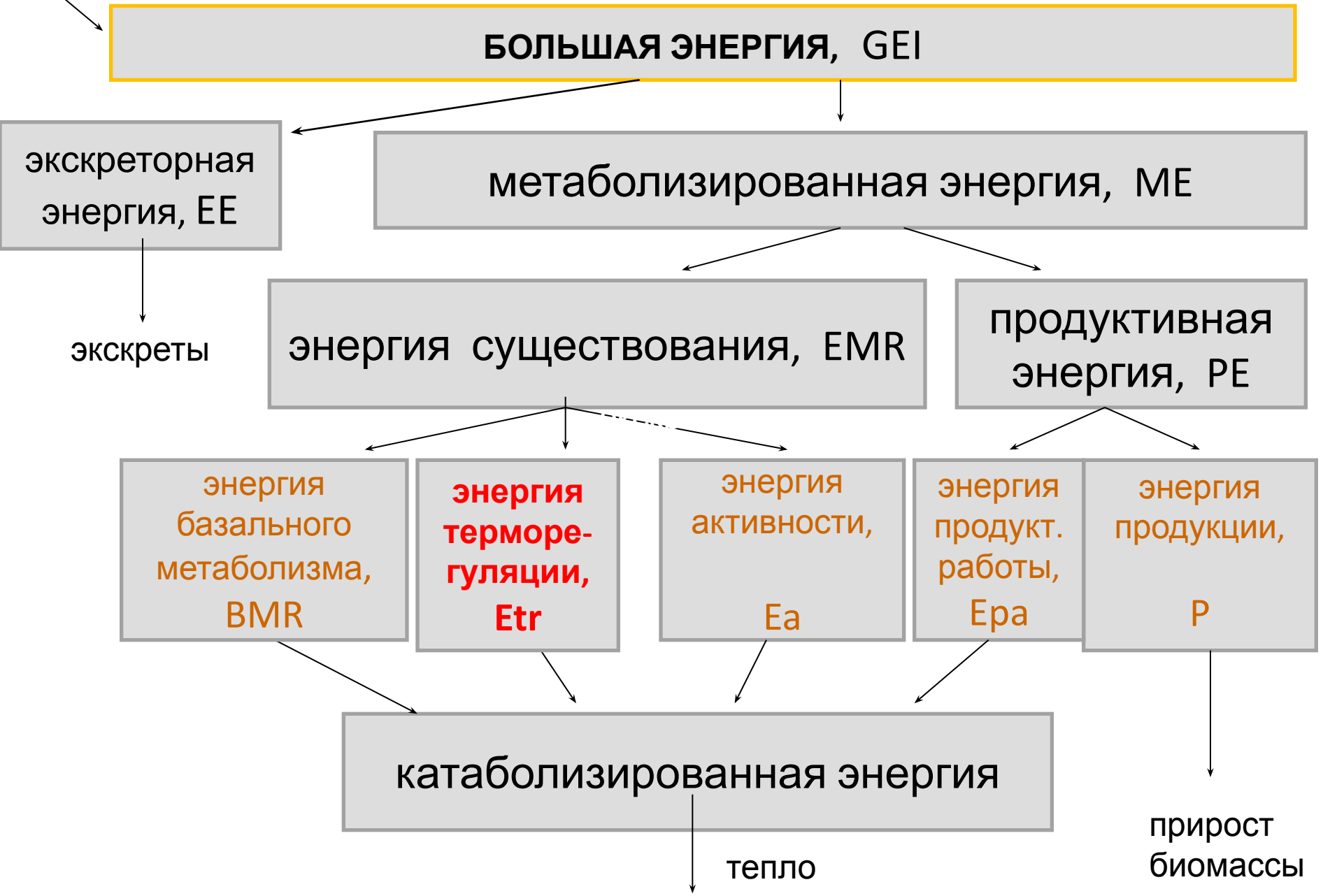


var P/ME > x10

var PE/ME <=x2

$E_{tr}$  ← влияние  $T_a$  на организм

пища



## *Организм - Та*

Диапазон Та воздуха:  $+50^{\circ}\text{C}$  .....  $-50^{\circ}\text{C}$  =

= Фундаментальная характеристика биосферы.

С-В Евразия .....  $100^{\circ}\text{C}$

Конго .....  $1-2^{\circ}\text{C}$



**Якоб Хендрик Вант-Гофф**  
1852-1852-1911  
1852-1911.  
 голландский химик,  
 первый лауреат Нобелевской  
 премии по химии (1901 год)

Теплота – основа кинетики химических процессов.

Согласно правилу Вант-Гоффа:

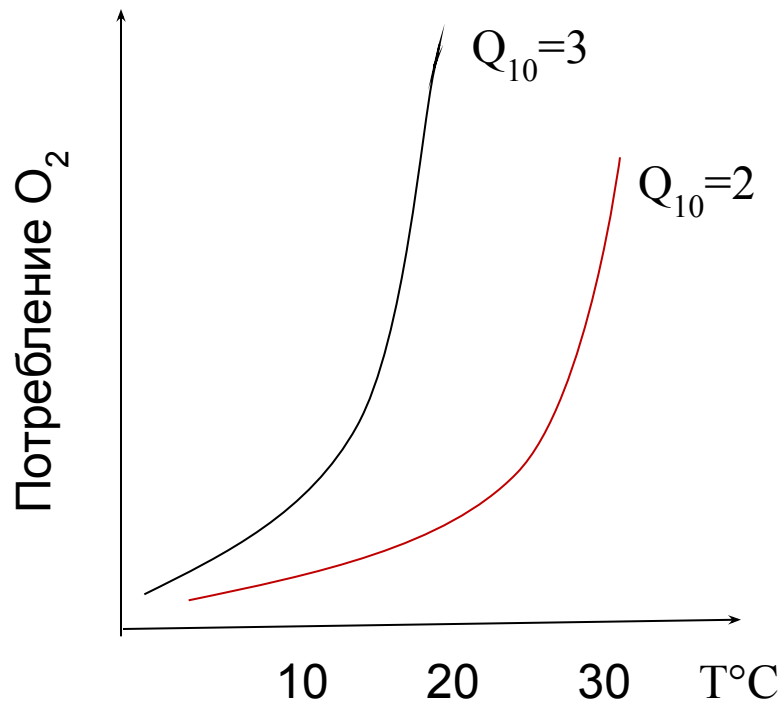
$Q_{10} = K_{t+10} / K_t = 2-3$  для большинства абиотических реакций. У многих животных более широкая вариация  $Q_{10}$ , т.к. их ферментативная активность зависит от Та нелинейно.

Тропические растения -  $Q_{10} = 3$ , но  $\ll$  при  $25^\circ\text{C}$ ;

Рыбы -  $Q_{10} \{2.2 \dots 10.9\}$  при Та  $\{0^\circ\text{C} \dots 30^\circ\text{C}\}$ ;

У одного организма РАЗЛИЧАЕТСЯ ускорение разных биохимических реакций в зависимости от Та

□ **ГРАНИЦЫ ТЕМПЕРАТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ**



$$y = b a^x$$



Скорость процесса при  $T_2$  -  $\square R_2$   
 Скорость процесса при  $T_1$  -  $\square R_1$

$$R_2 = R_1 Q_{10}^{(T_2 - T_1)/10}$$

Похожие экспоненциальные зависимости получены для радиоактивного распада, роста и др.

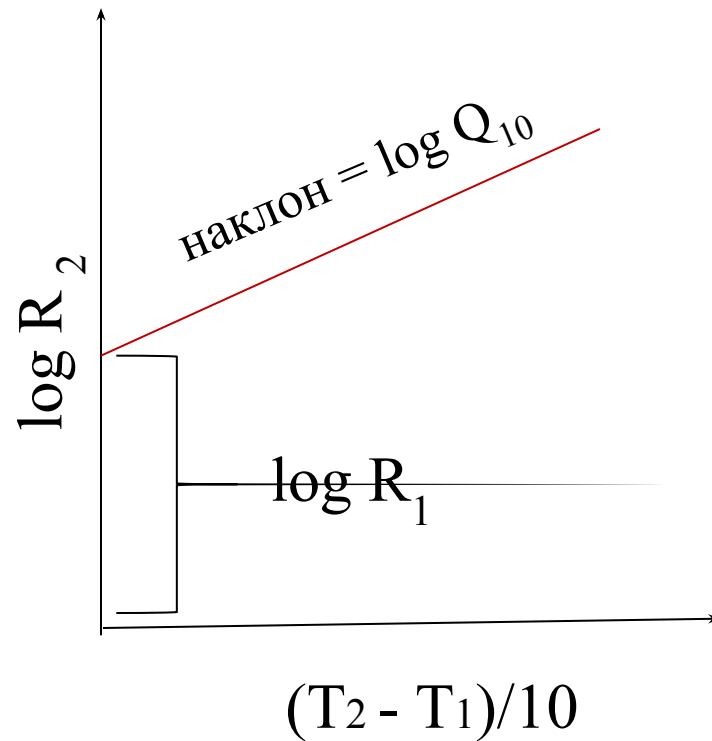


$$y = b a^x$$

$$R_2 = R_1 Q_{10}^{(T_2 - T_1)/10}$$

$$\log y = \log b + x \log a$$

$$\log R_2 = \log R_1 + [(T_2 - T_1)/10] \log Q_{10}$$



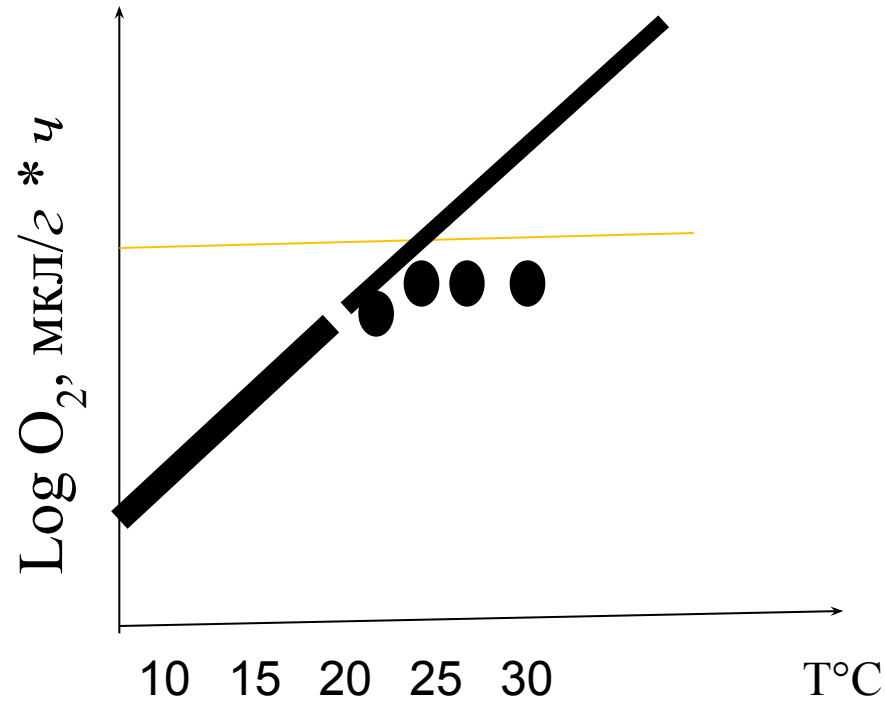
$$y = b a^x$$

$$R_2 = R_1 Q_{10}^{(T_2 - T_1)/10}$$

$$\log y = \log b + x \log a$$

$$\log R_2 = \log R_1 + [(T_2 - T_1)/10] \log Q_{10}$$

Отклонение от прежнего  $Q_{10}$  в другом диапазоне  $T^{\circ}C$



$$y = b a^x$$

$$R_2 = R_1 Q_{10}^{(T_2 - T_1)/10}$$

$$\log y = \log b + x \log a$$

$$\log R_2 = \log R_1 + [(T_2 - T_1)/10] \log Q_{10}$$

## Температурные пороги жизни

- Изменчивость диапазона  $T_a$
- Изменение  $T_a$ -толерантности в течение жизни:
  - а) время, проведенное при  $\lim T_a$   $\square$  сдвиг  $T_a$ -толерантности;
  - б) разная  $T_a$ -толерантность для разных стадий развития.
- Определение порогов (Lim)  $T_a$ :
  - $\swarrow$   $T_a$ , при которой организм может выжить какое-то время (организм выживает в течение нескольких минут, но погибает при многочасовом воздействии данной  $T_a$ );
  - $T_a$ , при которой организм может пройти весь жизненный цикл;
- Надо помнить, что речь идет о  $T_b$ , которая далеко не у всех  $\sim = T_a$ .
  - а) у многих водных животных  $T_b \sim = T_a$ ;
  - б)но у даже пойкилотермных наземных это равенство может не выполняться. У нагретой ящерицы  $T_b - T_a = 20^\circ\text{C}$ ;
  - в) у теплокровных маленькие колебания  $T_b$  имеют место при огромном диапазоне внешних  $T_a$  (Арктика – пустыни)

## Верхний температурный предел

- Ни одно животное не может пройти весь жизненный цикл при  $T_a > 50^\circ\text{C}$
- Одноклет. сине-зеленые водоросли *Synechococcus* живут в горячих источниках при  $73-75^\circ\text{C}$  ( $\sim$  lim для фотосинтезирующих организмов)
- Термофильные бактерии в горячих источниках живут при  $92^\circ\text{C}$  ( $\sim$   $T_a$  кипения на данной высоте)

Обезвоживание □ повышение устойчивости к Та (цисты, споры, семена):

- Личинки мухи *Polypedium* (Нигерия) в высушенном состоянии выживают в течение 1-ой минуты при 102 °С и затем могут успешно пройти метаморфоз;
- Яйца рачка *Triops* (Судан) в сухом иле прогреваются до 80°С. В лабораторных условиях (повышали точку кипения за счет увеличения Р) жизнеспособность яиц сохранялась в течение 16 час при 103°С (на 1°С ниже точки кипения). При 106°С гибли за 15 мин

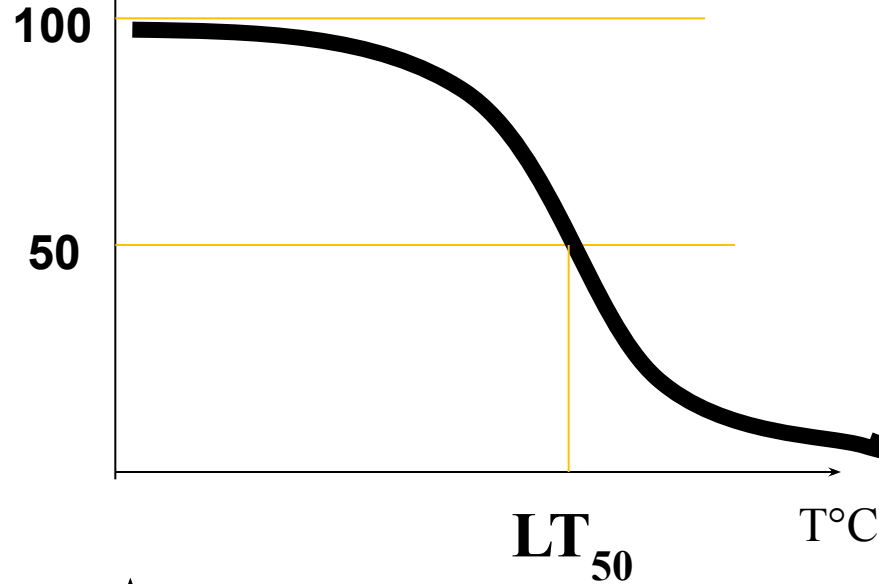


Трудно точно установить верхний предел жизни...

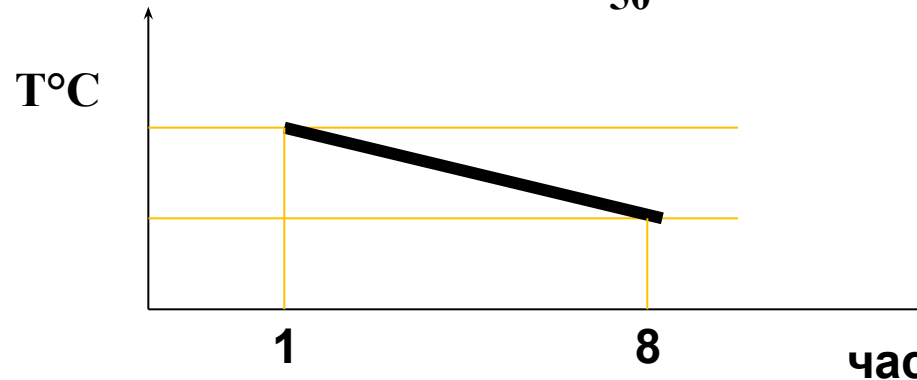
# Определение летальных температур

Летальная  $T_a = LT_{50} = T_a$ , при которой 50% животных погибает, а 50% выживает.

% ВЫЖИВШИХ



~ полное представление о  $T_a$ -толерантности



Время до гибели 50% особей

## LT<sub>50</sub> и причины гибели при перегреве

У многих сложно-организованных животных Та гибели < 50°C, большинство погибает при 42-43 °С (что ниже Та денатурации белков). У антарктической рыбы **Trematomus**, что живет в воде при  $-1.9 \text{ °C} \pm 0.1$ , Та гибели = 6 °С. □

**ВАЖНО ДЛЯ ПОНИМАНИЯ ПРИЧИН ТЕПЛОВОЙ СМЕРТИ!**



## Причины тепловой смерти:

- Денатурация белков (45-55°C для ряда белков, но это  $\gg 6^\circ\text{C}$  -);
- Инактивация ферментов (активность ферментов Trematomus увеличивается с ростом Та до 30°C -);
- Недостаток  $\text{O}_2$  (гибель сходных видов при искусственной аэрации воды -);
- Различия в  $Q_{10}$  для взаимосвязанных реакций (A  $\square$  B  $\square$  C  $\square$  D..... пусть  $V(\text{C} \square \text{D}) > V(\text{B} \square \text{C})$ , тогда возникнет нехватка C  $\sim +$ );
- Изменение структуры мембран (изменение Та  $\square$  изменение конформации функционально активных белков и их связи с бимолекулярным слоем липидов  $\square$  изменение f-ции мембран; ?)

## Нижний температурный предел

- Рассогласование реакций, имеющих разные  $Q_{10}$
- Инактивация ферментов (у теплолюбивых животных и растений)
- Холодовое торможение дыхания □ аноксия
- Структурные изменения клеток и тканей (повреждение тканей льдом, обезвоживание цитоплазмы и увеличение концентрации солей)

• Структурные изменения клеток и тканей



2 механизма у животных из холодных и умеренных зон



**Переохлаждение**  
(чувствительны к  
замораживанию)



Снижение  $T$  жидкости тела  
ниже точки ее замерзания без  
образования льда

**Замораживание**  
(толерантны к  
замораживанию)



Способность переносить  
образование льда в  
организме

## **Переохлаждение**

• При отсутствии чужеродных частиц чистую воду можно охладить до  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Попадание одного кристалла льда □  
мгновенное замерзание воды.

• У пресмыкающихся  $T$  замерзания жидкостей тела  $-0.6^{\circ}\text{C}$ .

Выдерживают переохлаждение до  $-8^{\circ}\text{C}$  без замерзания.

## **Замораживание**

• У личинок комаров *Chironomus* До 90% воды тела переходит в лед.

• У беспозвоночных на литорали в высоких широтах 90% жидкости замерзает, в 10% резко увеличивается концентрация солей □

Резкая деформация мышц и внутр. органов, НО лед находится ВНЕ клеток. Последние сморщиваются.

При оттаивании ткани возвращаются к норме за несколько секунд.

## АНТИФРИЗЫ

**Глицерин** – есть у многих насекомых.

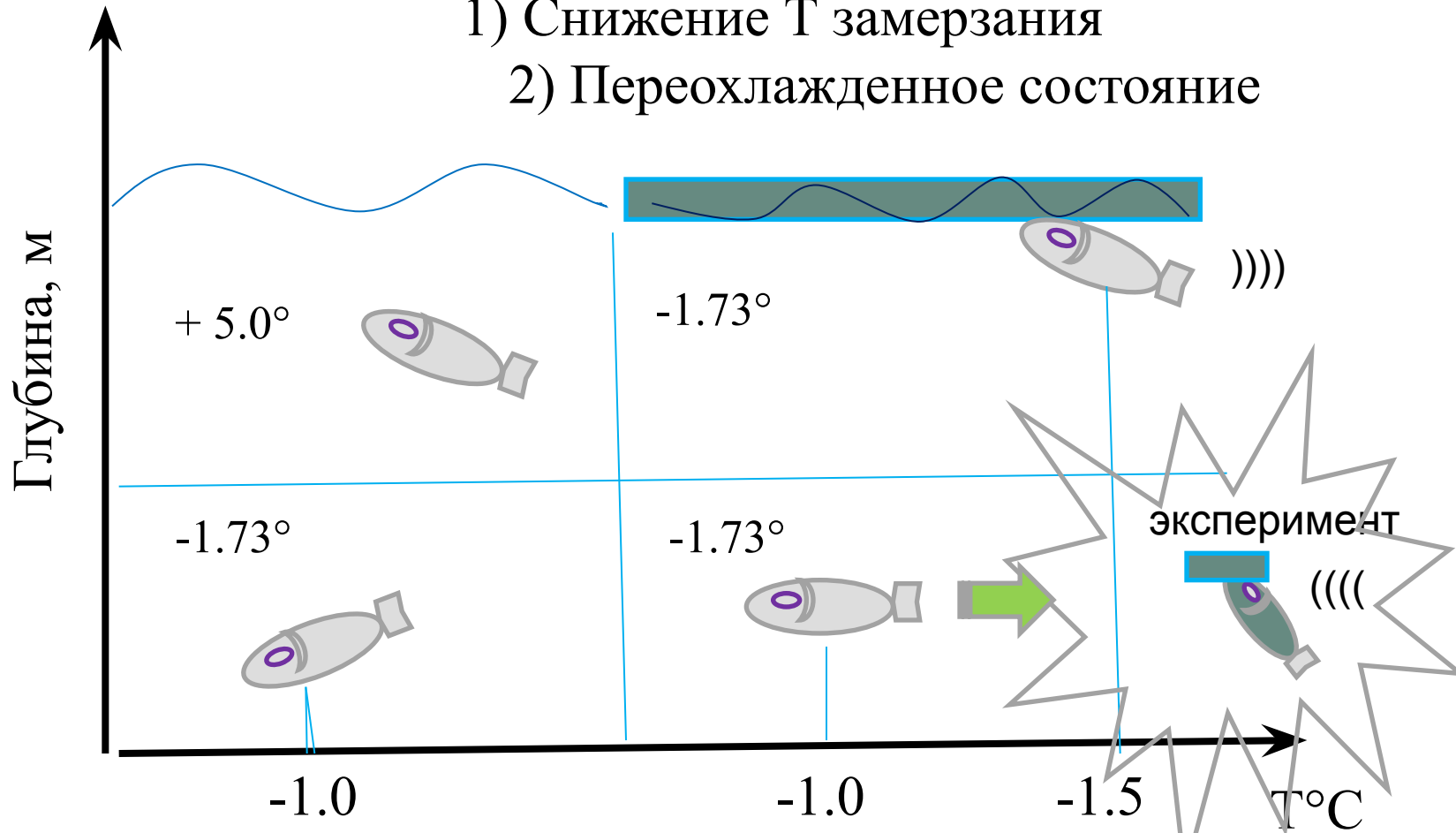
- А** 1) Защищает ткани от повреждения льдом;  
2) Понижает  $T_a$  замерзания  $\square >$  степень переохлаждения  
Увеличение концентрации глицерина в жидкостях тела перед зимой  
(у осы р. *Vespa* – 30%).

**Б** **Гликопротеиды** у рыб.

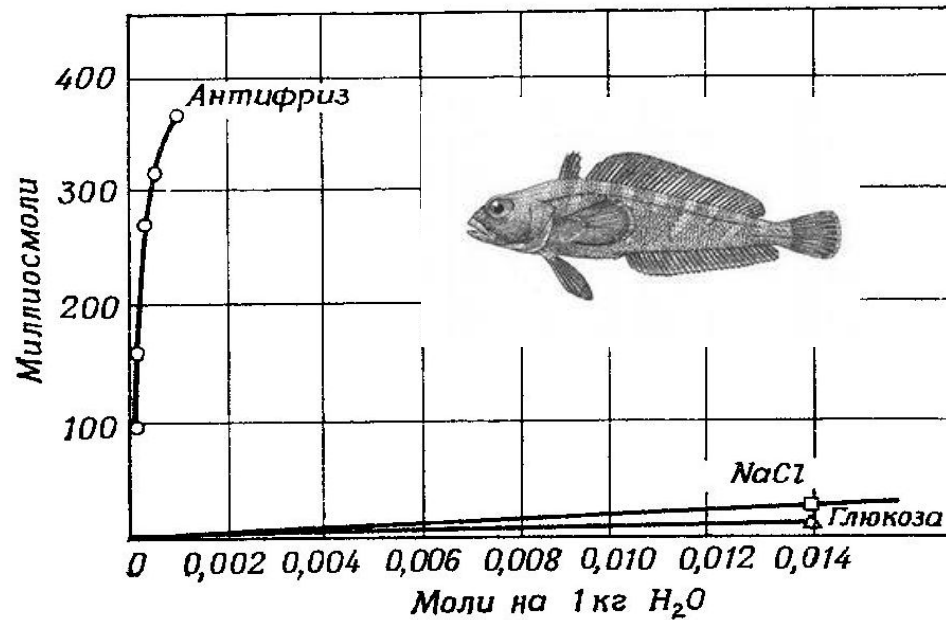
- 1) Снижают  $T_a$  замерзания  
2) Обеспечивают переохлажденное состояние

1) Снижение  $T$  замерзания

2) Переохлажденное состояние

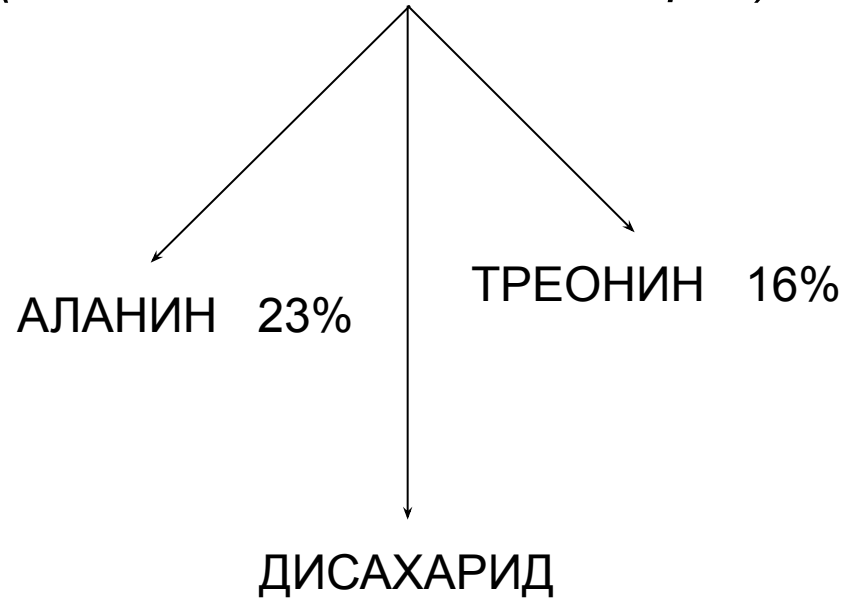


У рыб, обитающих зимой в контакте со льдом больше белков в плазме, и они при той же  $T$  замерзания ( $= -0.8^{\circ}\text{C}$ ), что и у глубоководных рыб, тормозят рост кристаллов льда.



Вещество со свойствами антифриза, выделенное из антарктической рыбы *Trematomus*, в водном растворе с необыкновенной эффективностью препятствует образованию льда. В расчете на молярную концентрацию это вещество в сотни раз эффективнее, чем можно было бы ожидать (DeVries, 1970)  
По оси абсцисс – молярная концентрация вещества, по оси ординат – кажущаяся осмоляльная концентрация, вычисленная по снижению точки замерзания раствора.

Гликопротеид *Trematomus*  
(2 аминокислоты и дисахарид):



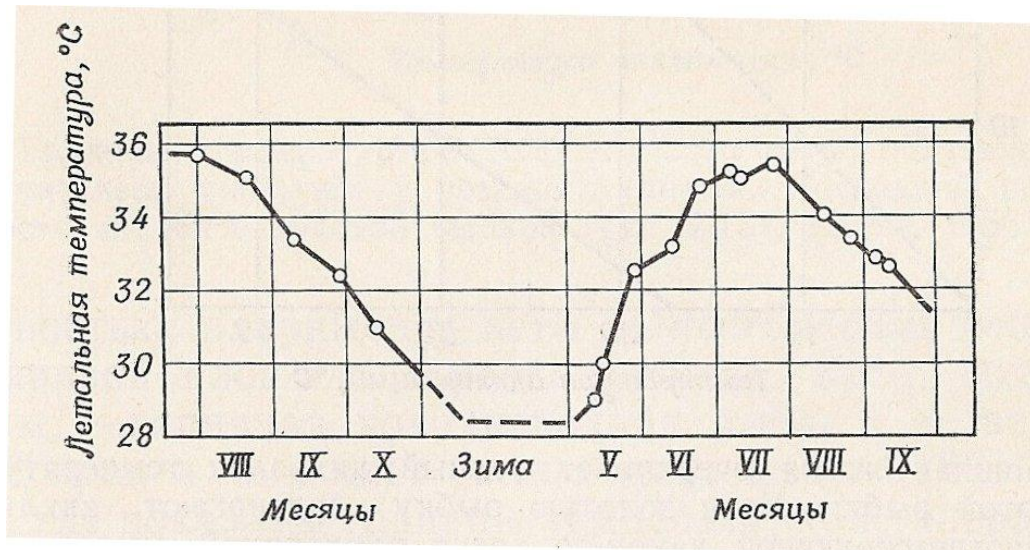
Высокомолекулярные антифризы обнаружены у многих рыб из 11 отдаленных семейств. Существенные различия в структуре антифризов!



## Физиологические адаптации к перемене температуры

Воздействие сублетальной  $T_a$   $\longrightarrow$  адаптация к летальной  $T_a$

- 1) зима-лето: в эти сезоны - разная устойчивость к минимальным и максимальным  $T_a$ . Такое изменение  $T_a$ -толерантности при изменении внешних условий называется АККЛИМАТИЗАЦИЕЙ или АККЛИМАЦИЕЙ, если этот процесс смоделирован в лаборатории. ( $T_a$ , влажность,  $pO_2$ , пища и др.).



Верхняя летальная  $T_a$  для сомика р. *Ictalurus* меняется в зависимости от сезона. Точки на графике — гибель 50% особей за 12 ч

## Скорость акклимации

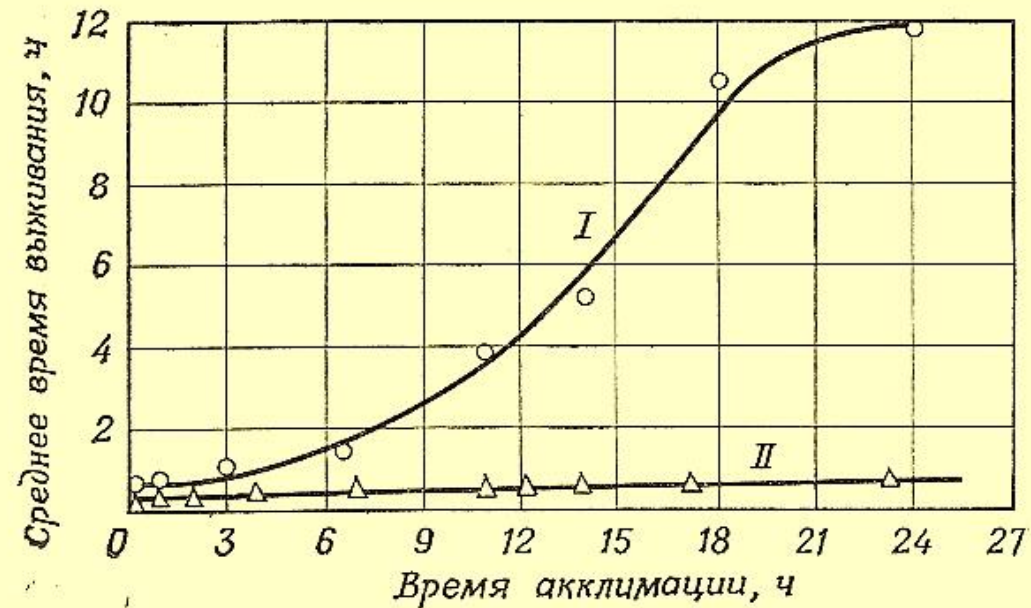
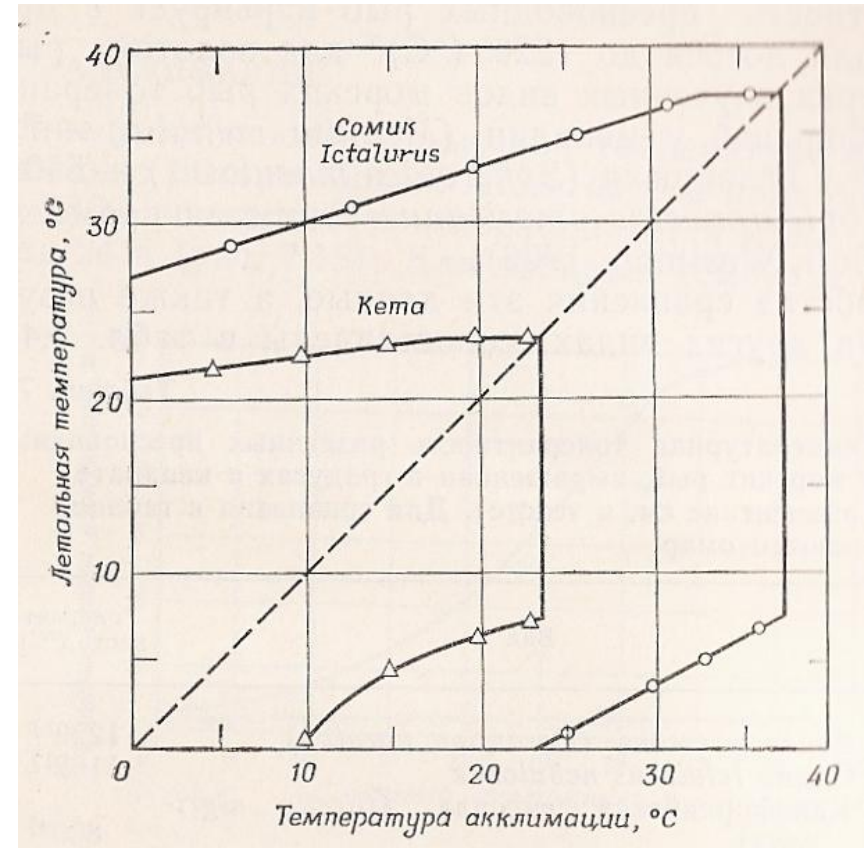
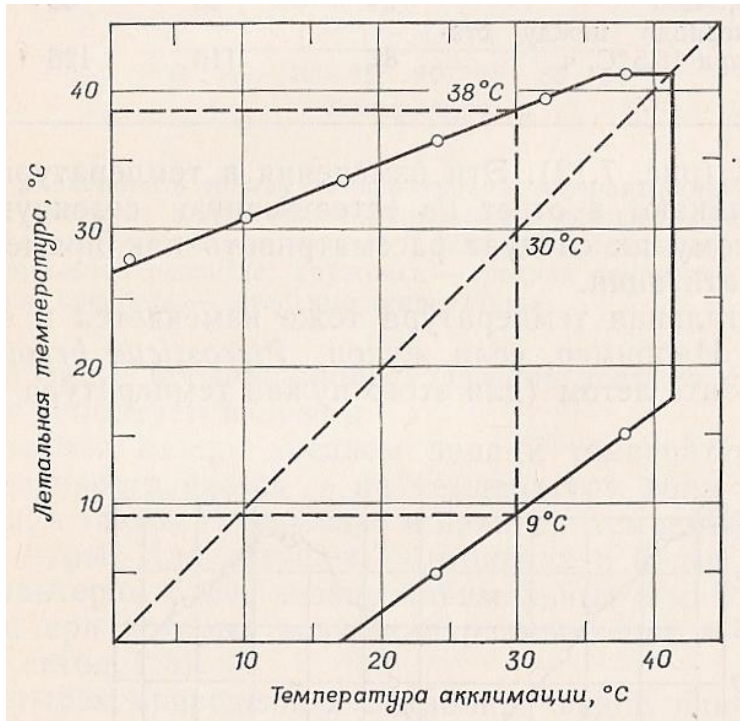


Рис. 7.15. В воде с достаточным содержанием кислорода (I) температурная акклимация сомика *Ictalurus* происходит за 24 ч; при низкой концентрации O<sub>2</sub> (II) акклимация идет крайне медленно. (Fry, 1947.)

Другие факторы: возраст, размеры, качество воды, ФОТОПЕРИОД...

# Максимальный диапазон толерантности

Сплошная линия очерчивает полный диапазон Та-толерантности золотой рыбки (Fry et al., 1942).  
 У рыбки, содержавшейся при 30°C, Верхний летальный предел 38°C, а нижний 9°C.





Температурная толерантность различных пресноводных и морских рыб, выраженная в градусах в квадрате (объяснение см. в тексте). Для сравнения в таблицу включен омар

Вид	Толерантность, (°C) <sup>2</sup>
Золотая рыбка ( <i>Carassius auratus</i> )	1220 <sup>1)</sup>
Сомик <i>Ictalurus nebulosus</i>	1162 <sup>1)</sup>
Калифорнийская гирелла ( <i>Girella nigricans</i> )	800 <sup>2)</sup>
Менидия ( <i>Menidia menidia</i> )	715 <sup>3)</sup>
Камбала <i>Pseudopleuronectes americanus</i>	685 <sup>3)</sup>
Американская паляя ( <i>Salvelinus fontinalis</i> )	625 <sup>4)</sup>
Иглобрюх ( <i>Spheroides maculatus</i> )	550 <sup>3)</sup>
Кета ( <i>Oncorhynchus keta</i> )	468 <sup>1)</sup>
Омар ( <i>Homarus americanus</i> )	830 <sup>5)</sup>

1) Brett, 1956.

2) Doudoroff, цит. по McLeese, 1956.

3) Hoff, Westman, 1966.

4) Fry et al., 1946.

5) McLeese, 1956.

# $T_a$ -компенсация и интенсивность метаболизма. Правило компенсации

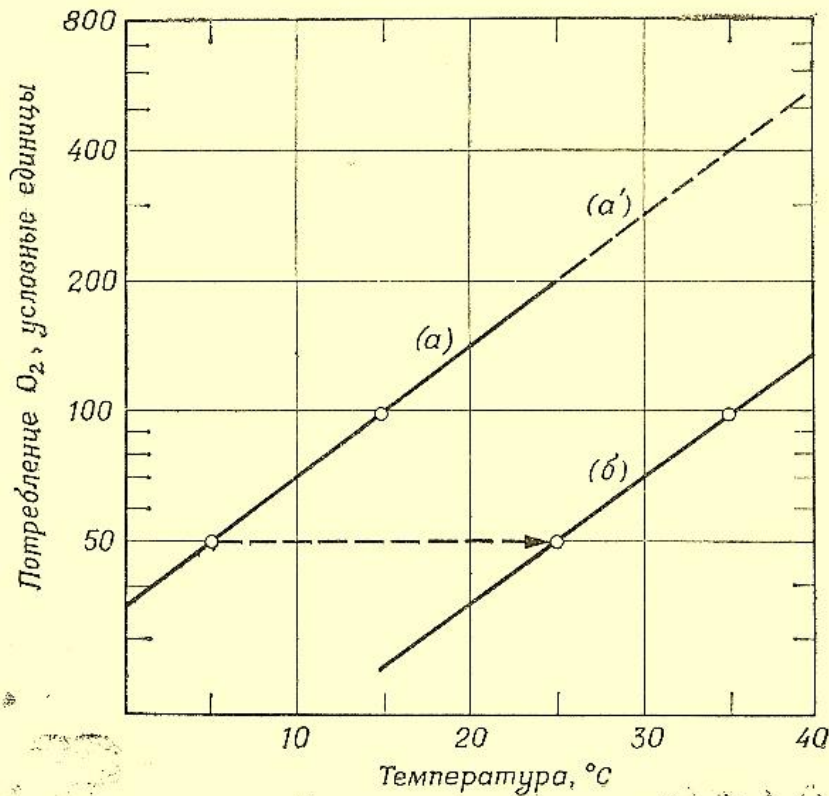
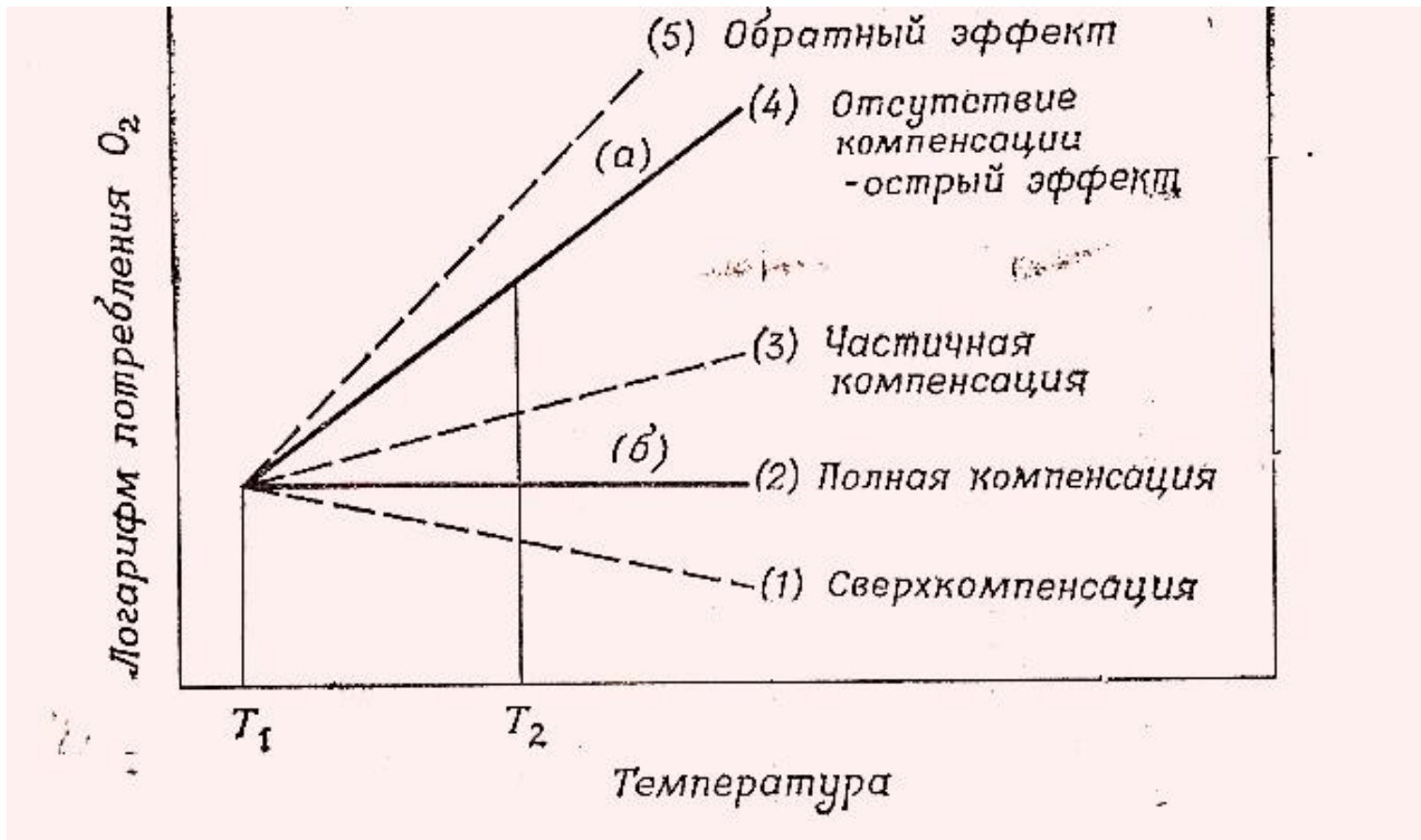


Рис. 7.16. Предполагаемое изменение интенсивности обмена (потребления кислорода) у рыбы, акклимированной к температуре воды 5 °C (a). При последующей акклимации такой рыбы к 25 °C изменение интенсивности обмена в случае полной компенсации описывается прямой б, а при полном отсутствии компенсации — пунктирной линией а'. Шкала по оси ординат логарифмическая.



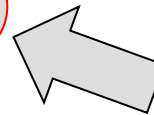
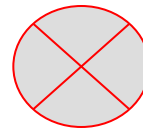
Варианты протекания процессов компенсации при изменении  $T_a$  от  $T_1$  до  $T_2$

Температурная устойчивость животных



Генетические различия  
(~связанные с их географическим  
распространением)

Сезонные изменения  
(акклиматизация или  
акклимация)



НО не изменяются  
генетические границы





## Research Summary

last updated by G. A. Bartholomew in 1989 and slightly updated in 2006 by Bruce Bartholomew

- I have attempted to combine laboratory and field studies of ecologically relevant aspects of the physiology and behavior of animals which are exposed to unusually demanding aspects of the physical environment or which represent an extreme of specialization for the group. My area of scientific concern lies at the interface between physiology, behavior, and ecology.
- I have concentrated my research in three environmental settings--deserts, oceanic islands, and tropical forests and savannas. Because of the variety of taxa I have studied and the contrasting properties of the environmental settings in which I have worked, I have acquired a broadly comparative point of view which has allowed me to delineate both convergences and differences in the ways which dissimilar organisms meet similar problems. This in turn has afforded insights into the functional, ecological, and evolutionary aspects of adaptations.
- My research interests have led to groups of publications on each of the following topics: (1) photoperiodic control of reproduction in birds, mammals, and reptiles; (2) reproductive cycles in mammals; (3) cardiac, respiratory, and metabolic studies of large reptiles; (4) water economy, electrolyte excretion, and respiration physiology in birds and mammals; (5) energetics of locomotion in mammals, birds, reptiles, and insects; (6) hibernation and estivation in birds and mammals; (7) reproductive and social behavior in a variety of terrestrial and marine birds and marine mammals; (8) distribution and population dynamics of seals and sea lions; and (9) heat production, energetics, and locomotor behavior of insects •

# Knut Schmidt-Nielsen

- Born in Trondheim Born in Trondheim, Norway Born in Trondheim, Norway. He was educated in Oslo Born in Trondheim, Norway. He was educated in Oslo and Copenhagen Born in Trondheim, Norway. He was educated in Oslo and Copenhagen. He became a student in the laboratory of August Krogh Born in Trondheim, Norway. He was educated in Oslo and Copenhagen. He became a student in the laboratory of August Krogh in Copenhagen in 1937. Schmidt-Nielsen moved to the United States Born in Trondheim, Norway. He was educated in Oslo and Copenhagen. He became a student in the laboratory of August Krogh in Copenhagen in 1937. Schmidt-Nielsen moved to the United States, where he studied at Swarthmore College Born in Trondheim, Norway. He was educated in Oslo and Copenhagen. He became a student in the laboratory of August Krogh in Copenhagen in 1937. Schmidt-Nielsen moved to the United States, where he studied at Swarthmore College, Stanford University Born in Trondheim, Norway. He was educated in Oslo and Copenhagen. He became a student in the laboratory of August Krogh in Copenhagen in 1937. Schmidt-Nielsen moved to the United States, where he studied at Swarthmore College, Stanford University, and the University of Cincinnati College of Medicine Born in Trondheim, Norway. He was educated in Oslo and Copenhagen. He became a student in the laboratory of August Krogh in Copenhagen in 1937. Schmidt-Nielsen moved to the United States, where he studied at Swarthmore College, Stanford University, and the University of Cincinnati College of Medicine. [2]
- Schmidt-Nielsen published over 275 scientific papers, received the International Prize for Biology and wrote the authoritative text on animal physiology. Schmidt-Nielsen is widely recognized as having made significant contributions to ecophysiology Schmidt-Nielsen published over 275 scientific papers, received the International Prize for Biology and wrote the authoritative text on animal physiology. Schmidt-Nielsen is widely recognized as having made significant contributions to ecophysiology. He has been referred to as "the father of comparative physiology and integrative biology" [3] Schmidt-Nielsen published over 275 scientific papers, received the International Prize for Biology and wrote the authoritative text on animal physiology. Schmidt-Nielsen is widely recognized as having made significant contributions to ecophysiology. He has been referred to as "the father of comparative physiology and integrative biology" [3] and "one of the all-time greats of animal physiology". [4] Schmidt-Nielsen published over 275 scientific papers, received the International Prize for Biology and wrote the authoritative text on animal physiology. Schmidt-Nielsen is widely recognized as having made significant contributions to ecophysiology. He has been referred to as "the father of comparative physiology and integrative biology" [3] and "one of the all-time greats of animal physiology". [4] He came to Duke University Schmidt-Nielsen published over 275 scientific papers, received the International Prize for Biology and wrote the authoritative text on animal physiology. Schmidt-Nielsen is widely

## Scholander, Per Fredrik (Thorkelsson) (Norway- United States 1905-1980) physiological ecology

- Physiologist Scholander became well known for his field and experimental studies on both animals and plants, especially those living in extreme ecological conditions. I cannot do better to describe his work here than to quote directly from the online publication 1986, *University of California: In Memoriam*:
- "A list of his achievements in animal and plant physiology is long. He anticipated and discovered that hemoglobin could facilitate the diffusion of oxygen and suggested that myoglobin may function in a similar capacity in muscles. He largely explained how the counter flow of arterial and venous blood in the *rete mirabile* of the swim bladder of some deep sea fishes could maintain a large difference in oxygen and nitrogen with respect to their partial pressures in sea water. He also found one of the clues to attaining the high oxygen pressure in the swim bladder. By direct measurement, he confirmed the cohesion theory of transpiration in tall trees, mangroves and desert shrubs. He came to understand the turgor pressure in plant cells must be attributed to pressure exerted by the solutes in the cytosol rather than to intracellular water, the orthodox view. This led to further challenge of the orthodox view of osmosis and osmotic pressure. He enlightened us on such varied subjects as: the role of insulation and metabolism in polar birds, mammals and man exposed to cold; freezing survival in polar insects and freezing avoidance in polar fish; paleoatmospheres preserved in gas bubbles entrapped in glacial ice; the cardiovascular adjustments during diving in marine mammals; and how porpoises ride the bow waves of ships.

СЛОНИМ Абрам Донович (1903, Петровск-Порт СЛОНИМ Абрам Донович (1903, Петровск-Порт Дагестанской обл. – 1973, Фрунзе)

- физиолог. Д-р мед. наук (1939), проф. (1940). В 1924 окончил биол. ф-т Ленингр. ун-та, в 1926 – Ин-т мед. знаний (Ленинград физиолог. Д-р мед. наук (1939), проф. (1940). В 1924 окончил биол. ф-т Ленингр. ун-та, в 1926 – Ин-т мед. знаний (Ленинград). В 1926–33 науч. сотр. ВИЭМ, в 1940–50 зав. организованной им кафедры норм. физиологии Киргизского мед. ин-та, в 1950–65 зав. лаб. Ин-та физиологии им. И.П.Павлова АН СССР, в 1972–73 зам. дир. по науке Ин-та физиологии и эксперим. патологии высокогорья АН КиргССР. Осн. науч. работы посв. проблемам физиологии труд. деятельности, механизмам рефлекторной регуляции кровообращения, теплообразования, поведения организмов, экологии. Соч.: Животная теплота и ее регуляция в организме млекопитающих. М.–Л., 1952; Основы общей экологической физиологии млекопитающих. М.–Л., 1961; Среда и поведение: формирование адаптивного поведения. Л., 1976; Циркадный ритм физиологических процессов и трудовая деятельность человека. Фрунзе, 1976.

# Николай Иванович Калабухов

## **“Методика экспериментальных исследований по экологии наземных позвоночных”**

Советская наука, 1951 - Всего страниц: 175

В начале 30-х годов прошлого века Николай Иванович продолжил работу в лаборатории экологии Института зоологии МГУ у Владимира Владимировича Алпатова, возвратившись к исследованиям спячки и анабиоза животных. Здесь Калабухов проводил эксперименты на насекомых, рыбах, земноводных, пресмыкающихся и млекопитающих.

Так, например, Николай Иванович обнаружил влияние содержания аскорбиновой кислоты на обмен веществ у сусликов и возникновение у них летней спячки. Он разработал методику постепенного охлаждения и перехода в анабиоз летучих мышей, открыл влияние низких температур на паразитов в крови подопытных животных (эти результаты были опубликованы в «Nature») и сделал вывод об условном значении термина «холодовой анабиоз» для позвоночных. В результате экспериментальных исследований им был сделан вывод, что принципом криоконсервации организмов должно быть стеклование (витрификация), а не кристаллизация. Сейчас этот метод активно используется в медицине и даже для сохранения человеческого эмбриона. Одновременно Николай Иванович исследует адаптацию животных к условиям высокогорья, возрастные изменения структуры и количества красных кровяных телец и многие другие функциональные механизмы адаптации. Позже в 1970 году в Лондоне Николай Иванович познакомится с Одри Смит и сотрудниками её лаборатории, которые изучали изменения в органах и тканях человека при переохлаждении и возможность холодовой консервации для пересадки органов и тканей при несчастных случаях и хирургических операциях.

В конце 1936 г. сложившийся ученый Н.И. Калабухов оправляется в Ленинградский университет по приглашению Даниила Николаевича Кашкарова на кафедру зоологии позвоночных биофака.