

# Открытый урок: Природа влияния температуры воздуха на безопасность жизнедеятельности человека

Профессор кафедры «Техносферная безопасность и ТТМ» Саратовского Государственного Аграрного университета им Н.И. Вавилова Юдаев Николай Владимирович  
Доцент Наконечных Денис Владимирович

# ФИЗИЧЕСКИЕ

## Классификация факторов

*По источникам воздействия (ОПАСНЫЕ)*

ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ НЕ ПОДВИЖНЫЕ (ПОДНЯТЫЕ НАПРЯЖЕННЫЕ, НЕ УСТОЙЧИВЫЕ) И ДВИЖУЩИЕСЯ ПРЕДМЕТЫ МЕХАНИЗМЫ МАШИНЫ

ОСТРЫЕ КРОМКИ, ЗАУСЕНЦЫ, ШЕРОХОВАТОСТИ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

ВЫСОТА (ПАДЕНИЯ) (СКОЛЬЗКИЕ ПОВЕРХНОСТИ)

ГОРЯЧЕЕ ХОЛОДНОЕ (ОБОРУДОВАНИЕ, СЫРЬЕ)

ЯДОВИТЫЕ АГРЕССИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА

НЕВЕСОМОСТЬ, ПЕРЕГРУЗКА

*По источникам воздействия (ВРЕДНЫЕ)*

ВОЗДУШНАЯ СРЕДА

СВЕТ

ШУМ, ВИБРАЦИЯ

ИЗЛУЧЕНИЯ

*Измеряемые (показатели)*

- ЗАПЫЛЕННОСТЬ
- ЗАГАЗОВАННОСТЬ
- ТЕМПЕРАТУРА
- ВЛАЖНОСТЬ
- СКОРОСТЬ

- ОСВЕЩЕННОСТЬ (естественная, искусственная)
- ПУЛЬСАЦИЯ
- БЛЕСТКОСТЬ
- ЯРКОСТЬ
- КОНТРАСТНОСТЬ

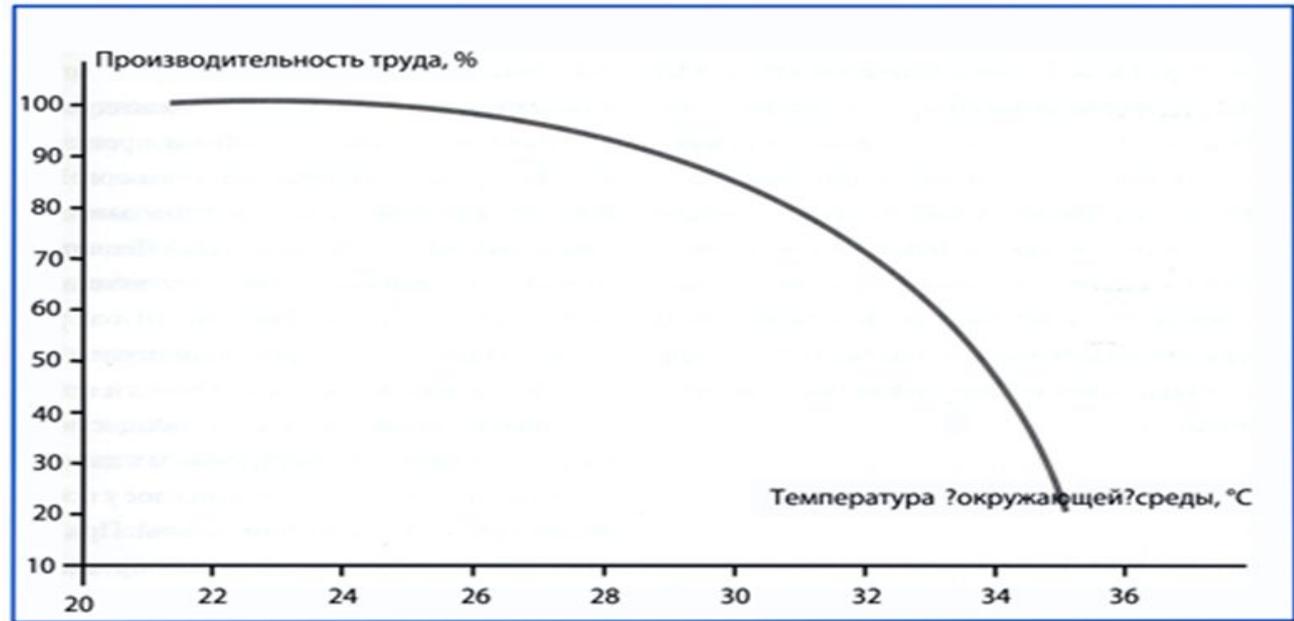
- УРОВНИ:
- ШУМА
  - ИНФРАЗВУКА
  - УЛЬТРАЗВУКА
  - ВИБРАЦИИ

- ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ
- ИОНИЗИРУЮЩЕЕ
- ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ
- МАГНИТНОЕ ПОЛЕ
- СТАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

# Среда обитания всех животных на Земле-Воздух

- Какими параметрами можно охарактеризовать эту среду обитания??
- Как человек защищается (обеспечивает свою безопасность) от воздействия вредных, опасных факторов внешней среды?
- Почему температура тела человека постоянная или должна быть постоянной?
- Почему постоянная температура тела 36,6 град, а не 50 или 20 град?

# Предельные значения температуры воздуха



- *Отрицательная температура при которой люди кратковременно были на воздухе равна 88 градусам.*
- *В течение часа здоровый человек выдерживает +71 град.*
- *Предельная температура вдыхаемого воздуха + 116 градусов.*
- *Английские физики Благден и Чендри, проводили часы в нагретой печи, испытывая возможности человеческого организма: при постепенном нагревании и в сухом воздухе человек способен выдержать повышение температуры до 160С. «Можно сварить яйца и изжарить бифштекс в воздухе помещения, в котором люди остаются без вреда для себя»*

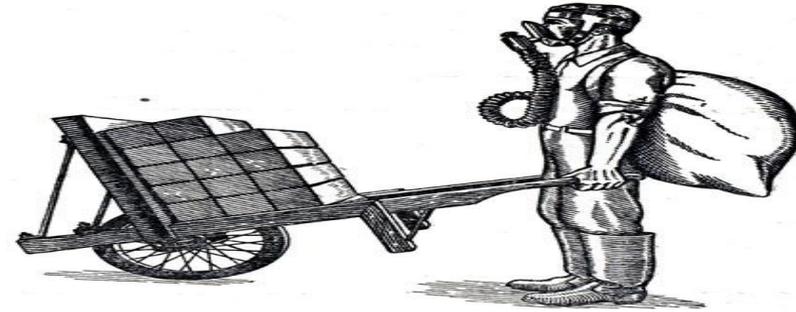
# Что такое Температура?

- 
- Температура – мера средней кинетической энергии движения молекул.
- $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$  [Джоуль, Калорий, Ньютон · Метр ]
- Один градус это  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Джоуль
- За счет чего можно повысить температуру?
- Каким образом в «микроволновке» нагреваются продукты?
- Почему при смешивании 20 градусной воды с водой температура которой 10 градусов температура не становится равной 30 градусов?

## **Более 80% потребляемой пищи расходуется на поддержание температуры 36,6 град.**

- Человек принимая: пищу, воду, кислород с помощью набора химических реакций преобразует полученное «топливо» в энергию и отходы.
- Процессы превращения (называют метаболическими, что в переводе с греческого «преобразование») происходят непрерывно. Они не могут быть остановлены, скорость данных преобразований, т.е. количество производимых Джоулей в единицу времени  $\left[ \frac{\text{Дж}}{\text{сек}} = \text{Вт} \right]$  не может быть меньше определённого уровня, который называют **основным**.

# при определении количества производимой энергии



-Масса тела человека ( $m_{ч} = 70\text{кг}$ ), возраст средний ( $V=35\text{лет}$ ), пол мужской, площадь кожи( $S=1,8\text{м}^2$ ).

-Человек находится в покое, лежит, но не спит. Измерения проводятся через 12...16 часов после приема пищи (натошак). Температура воздуха  $20^{\circ}\text{C}$ .

-Энергетический (калорический) эквивалент кислорода, т.е. количество энергии (калорий) производимое в организме при потреблении 1 литра кислорода составляет:

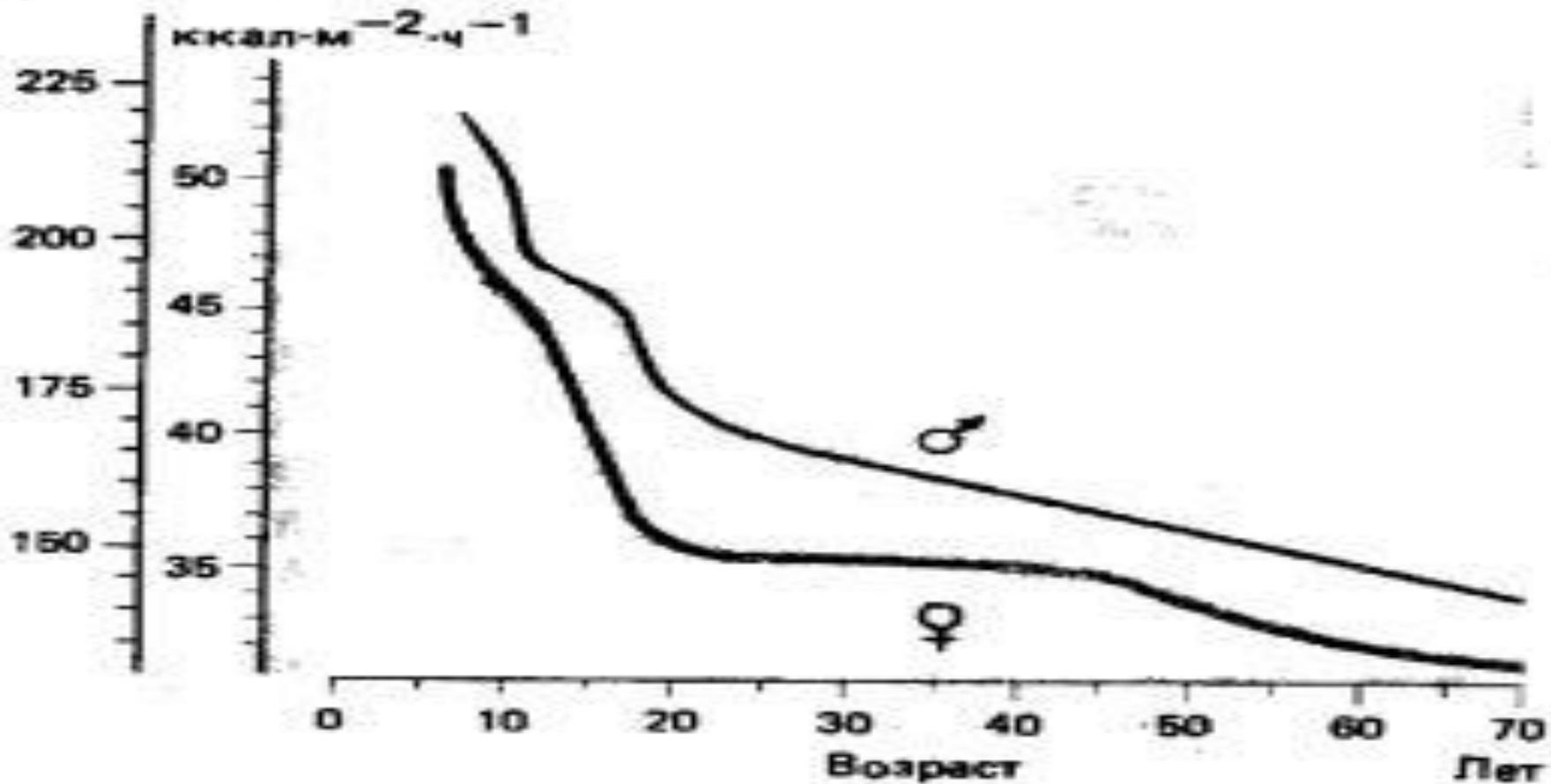
- $$E_{\text{к}} = 5 \frac{\text{ккал}}{\text{литр}} = 20,88 \frac{\text{кДж}}{\text{л}} = 5,8 \frac{\text{Вт}\cdot\text{час}}{\text{л}}$$

- Величина основного уровня производимой энергии определяется **по потреблению кислорода** человеком при данных условиях:

- $$M_{\text{о}} = E_{\text{к}} \cdot V_{\text{о}} = 5,8 \frac{\text{Вт}\cdot\text{час}}{\text{л}} \cdot 12 \dots 15 \frac{\text{л}}{\text{час}} = 70 \dots 87 \text{ Вт}$$

# Возрастные изменения производимой человеком энергии

Интенсивность  
основного  
обмена  
 $\text{кДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$

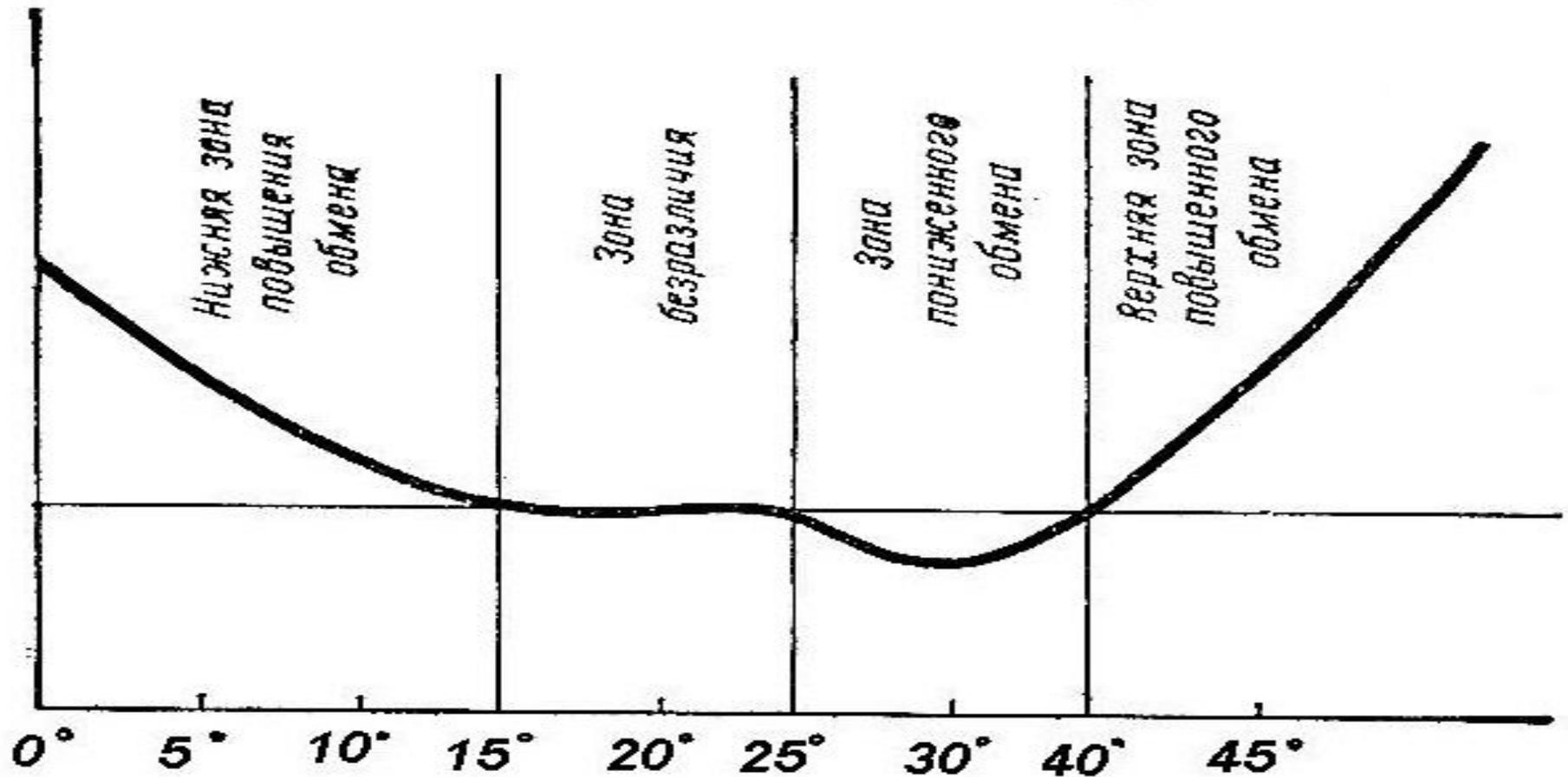


# Удельная энергия производимая

теплокровными

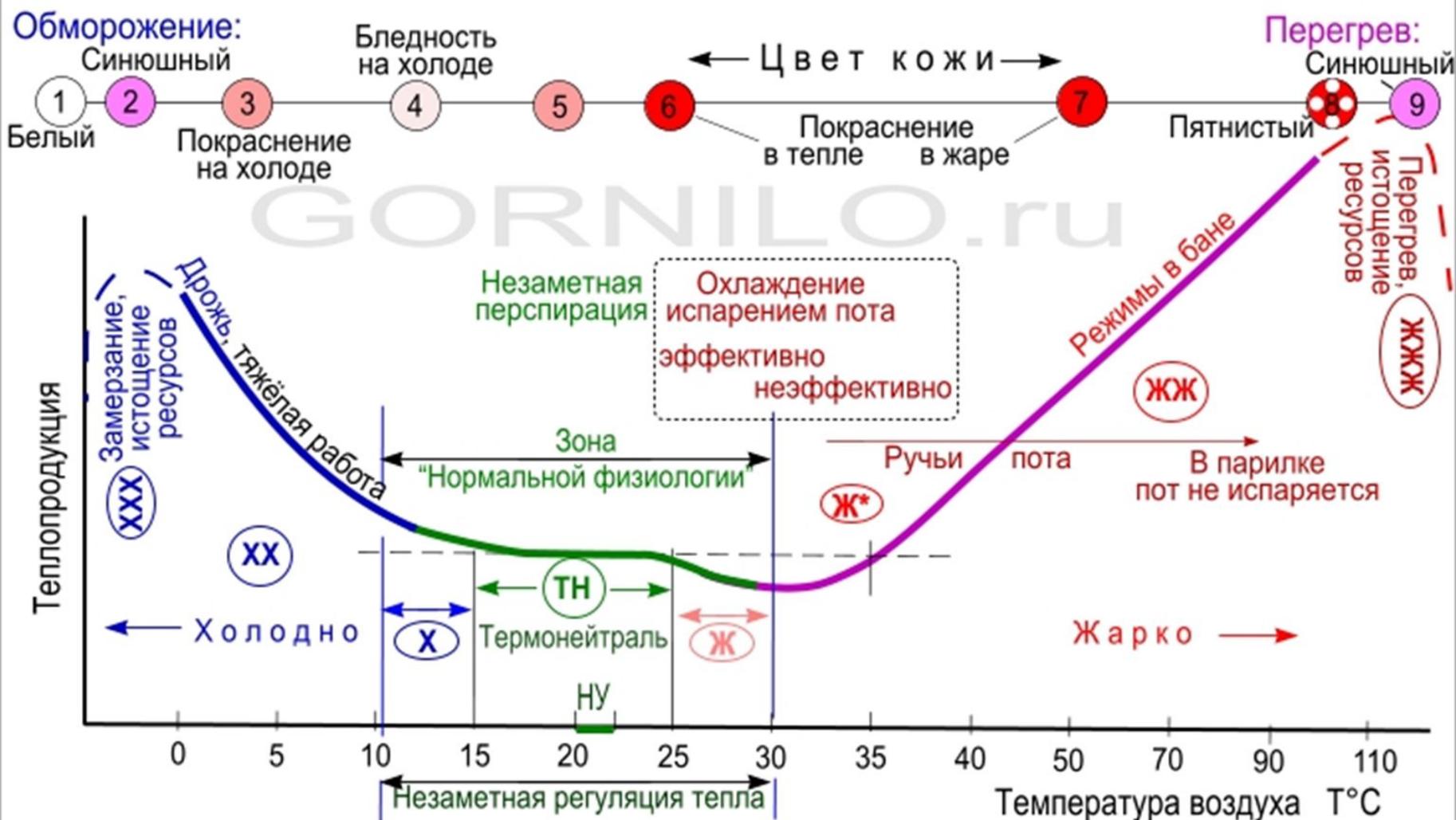


# Изменение производимой энергии в зависимости от температуры воздуха



При температуре воздуха 15-25 град человек производит минимальное количество энергии, не напрягает сердечно-сосудистую систему

# ТЕПЛОПРОДУКЦИЯ ЧЕЛОВЕКА



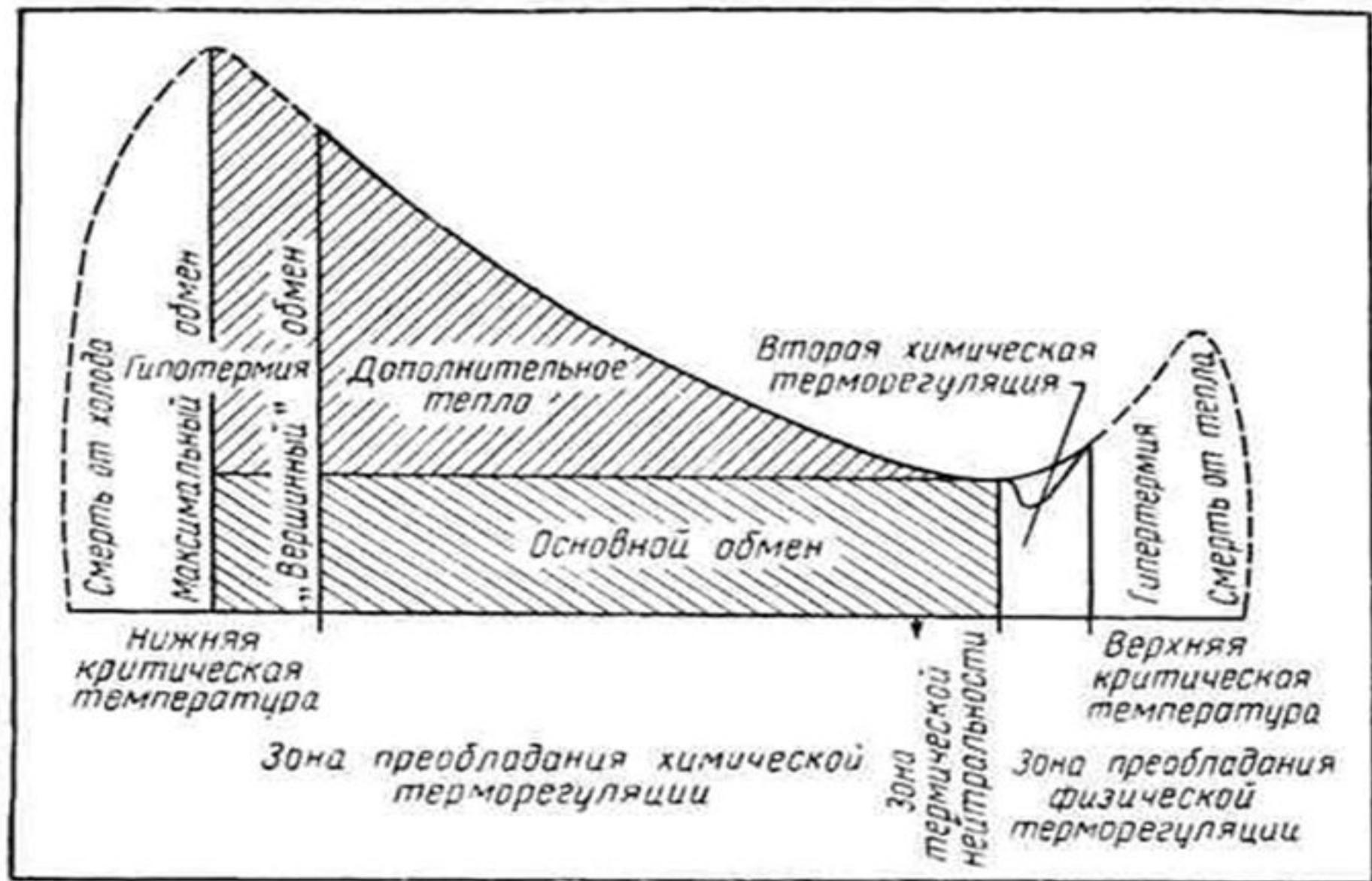


Рис. 35. Схема химической терморегуляции у гомойотермных организмов (по Gelineo, 1964)

# Тепловой баланс

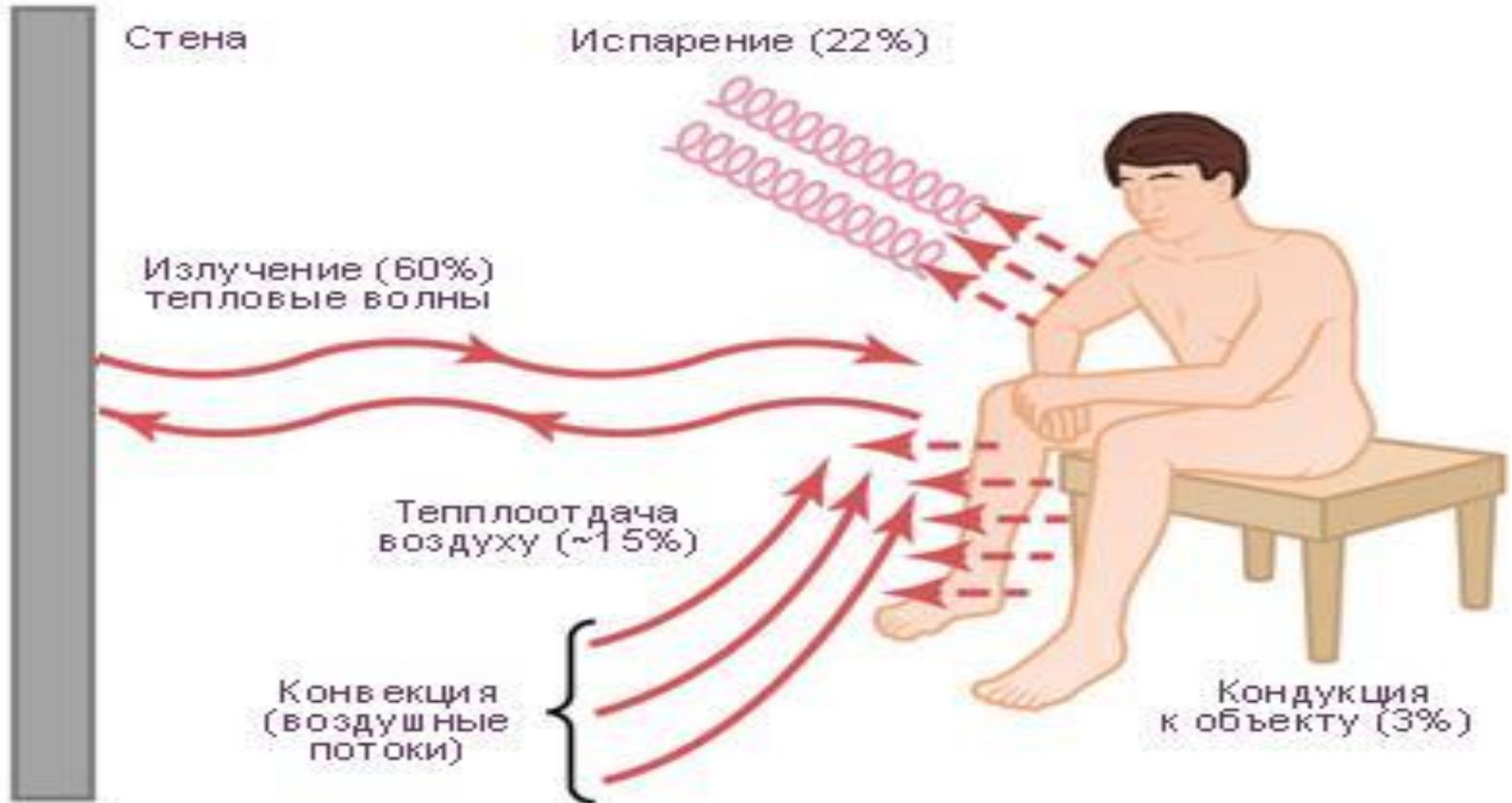


- **Отсутствие теплового баланса т.е. равенства скоростей производимого и отводимого тепла может привести к смерти.**
- **Время ( $\tau$ ) необходимое до достижения критического (смертельного) уровня температуры тела в  $43^{\circ}\text{C}$  (т.е. для повышения температуру тела на:  $\Delta t = 43 - 36,6 = 6,4^{\circ}\text{C}$ ) определится как:**

$$\tau = \frac{c_{\text{ч}} \cdot \Delta t}{M_{\text{сум}}^{\text{уд}}} = \frac{3,48 \cdot 6,4}{13,59} = 1,64 \text{ час} = 98 \text{ мин}$$

- **В парилке человек не должен находиться более чем 7..15 мин, так как даже при этом температура тела увеличится на  $1^{\circ}\text{C}$  и чтобы сбить температуру желательно закопаться в снег. Так же ложатся, закапываются в снег волк, песец, реагируя (не на усталость!) на повышение температуры тела при длительном гоне.**

# Механизмы теплоотдачи

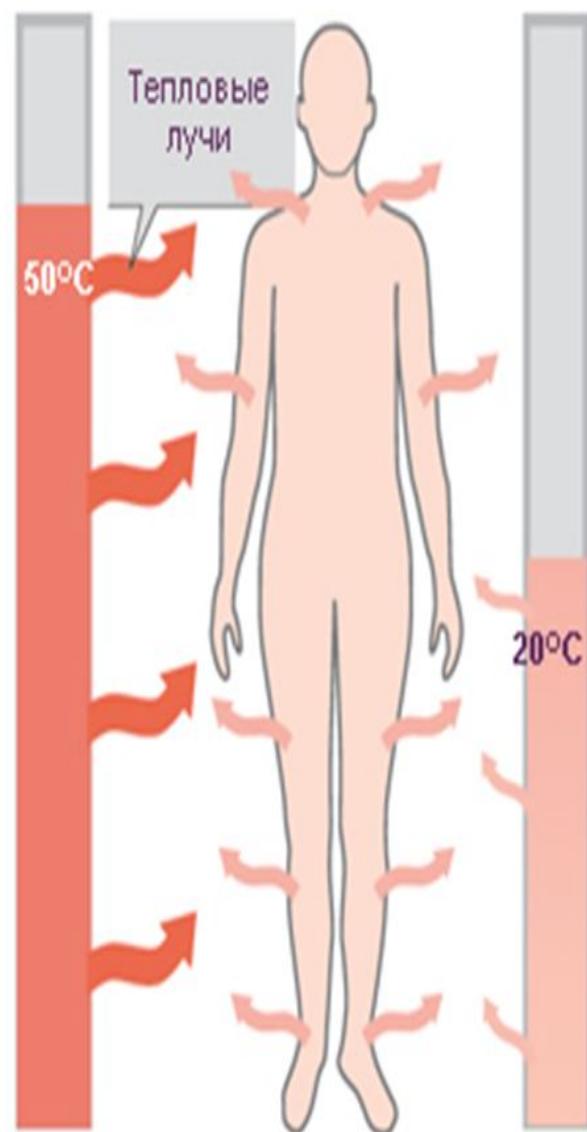


Передача тепла возможна только в сторону низких температур следующими путями:

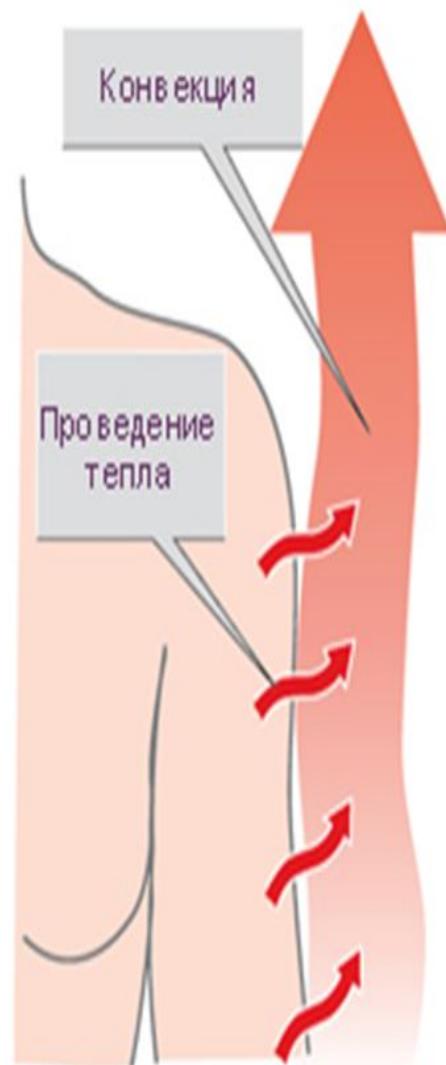
- *1) Без контакта молекул, за счет электромагнитного (теплового) излучения (радиации) когда фотоны излучаются из одних атомов и переносятся к другим;*
- *2) За счёт непосредственного контакта молекул тела и воздуха, когда при соприкосновении кинетическая энергия движения от одних молекул передаётся другим и далее нагретые массы воздуха переносятся внешней (конвективной) силой. Перемещение может происходить под действием силы Архимеда или благодаря ветру.*
- *3) При нулевом или отрицательном температурном напоре отведение тепла от тела возможно только испарением. Этот путь организм форсировано использует, когда первые два пути не могут передавать (отводить) тепло и остановить перегрев тела.*

## МЕХАНИЗМЫ ТЕПЛОУДАЧИ

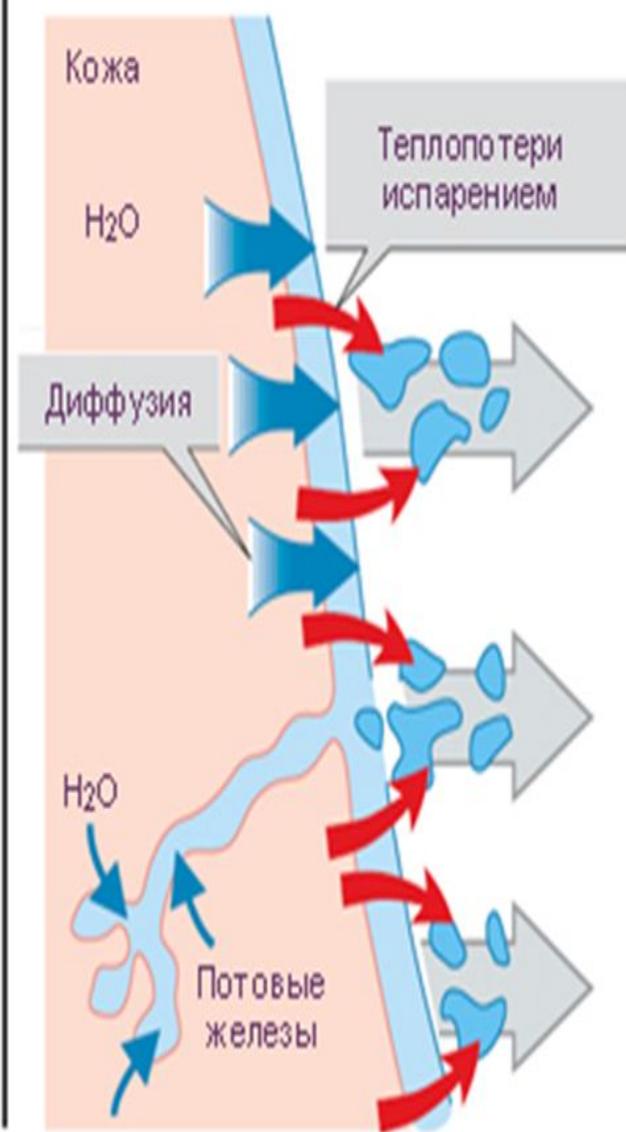
### Радиация



### Проведение и конвекция

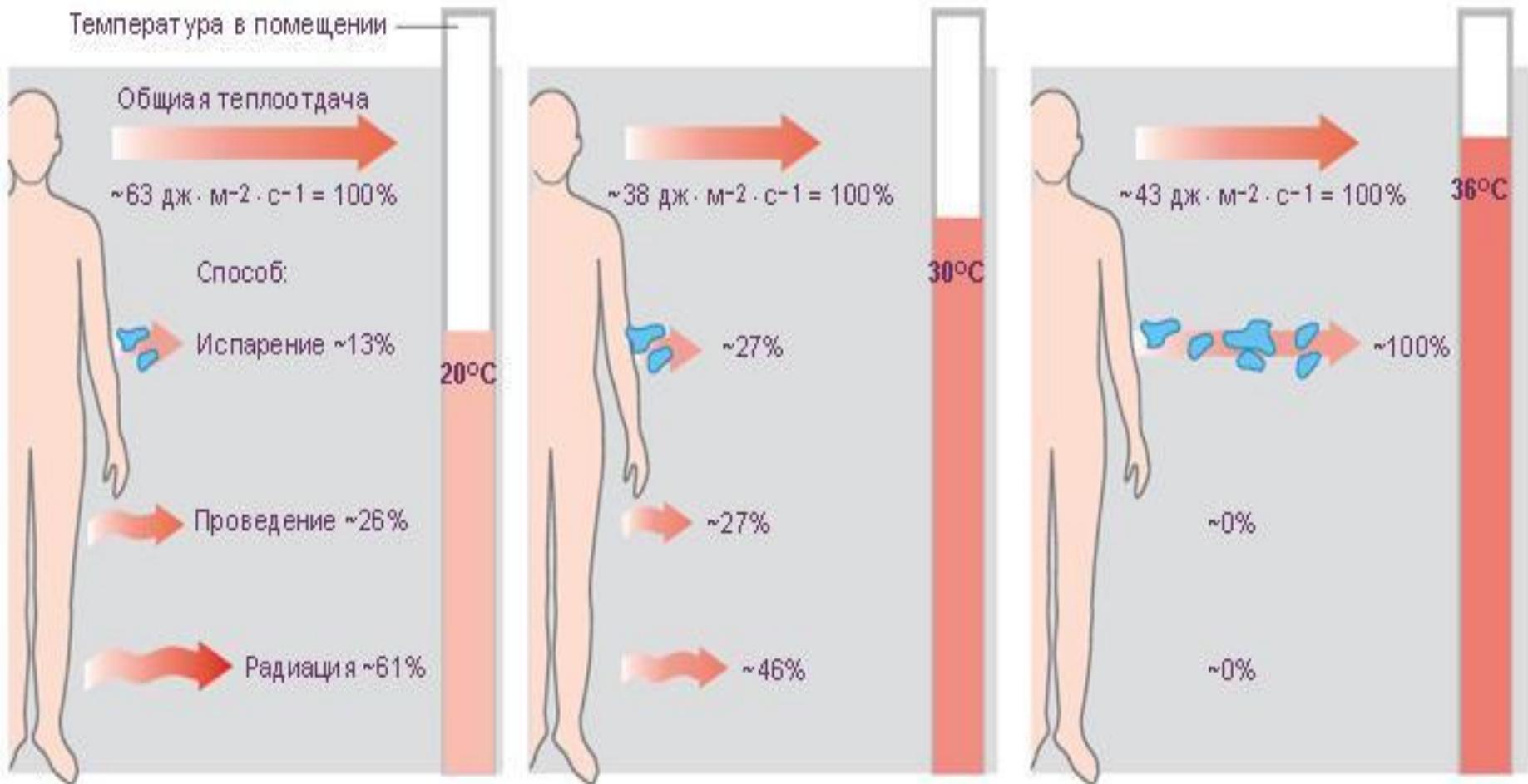


### Испарение

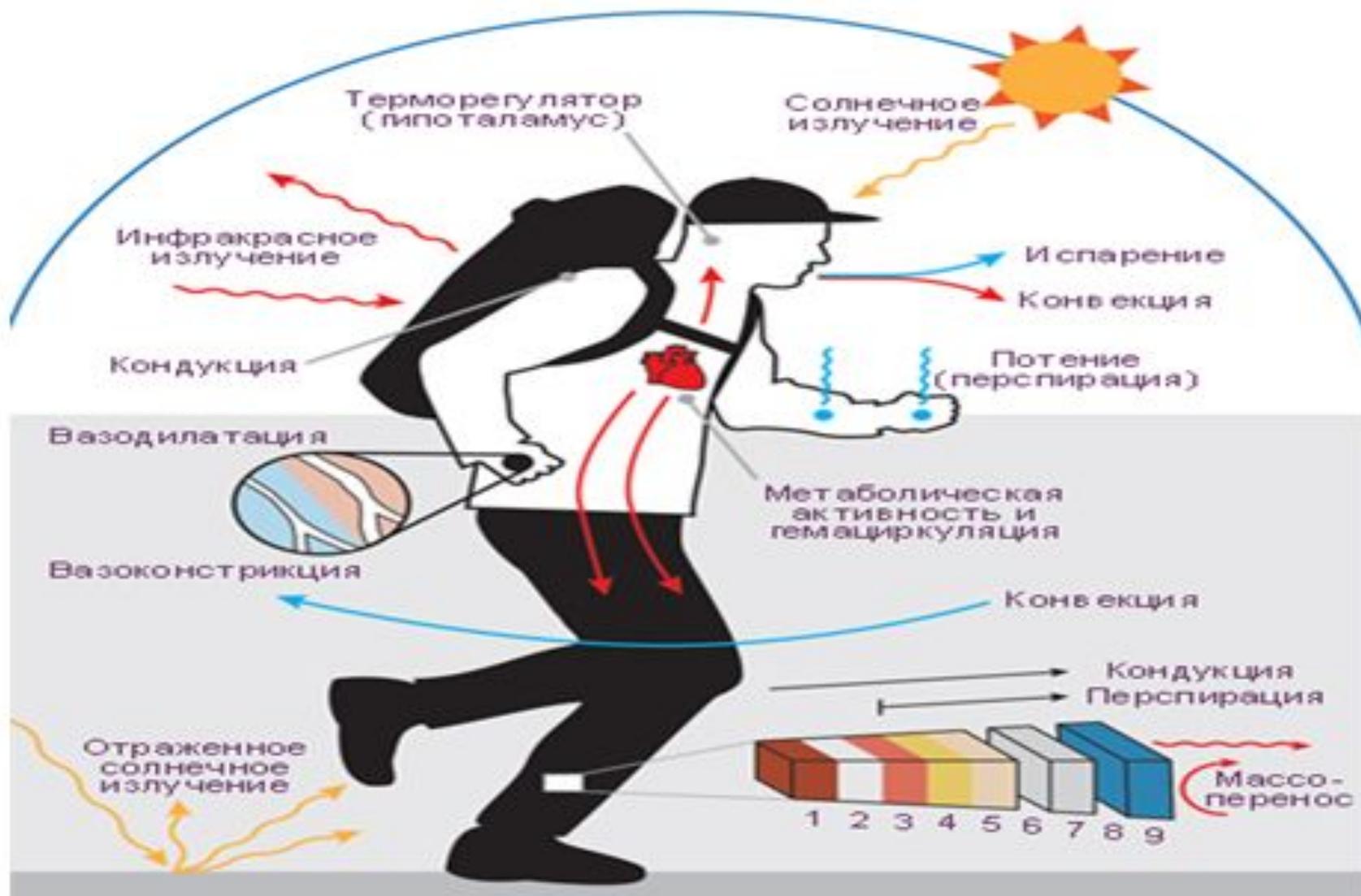


# Изменение теплоотдачи при различной температуре воздуха

ТЕПЛОТДАЧА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА (БЕЗ ОДЕЖДЫ, В ПОКОЕ) ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ СРЕДЫ



# Механизмы теплоотдачи



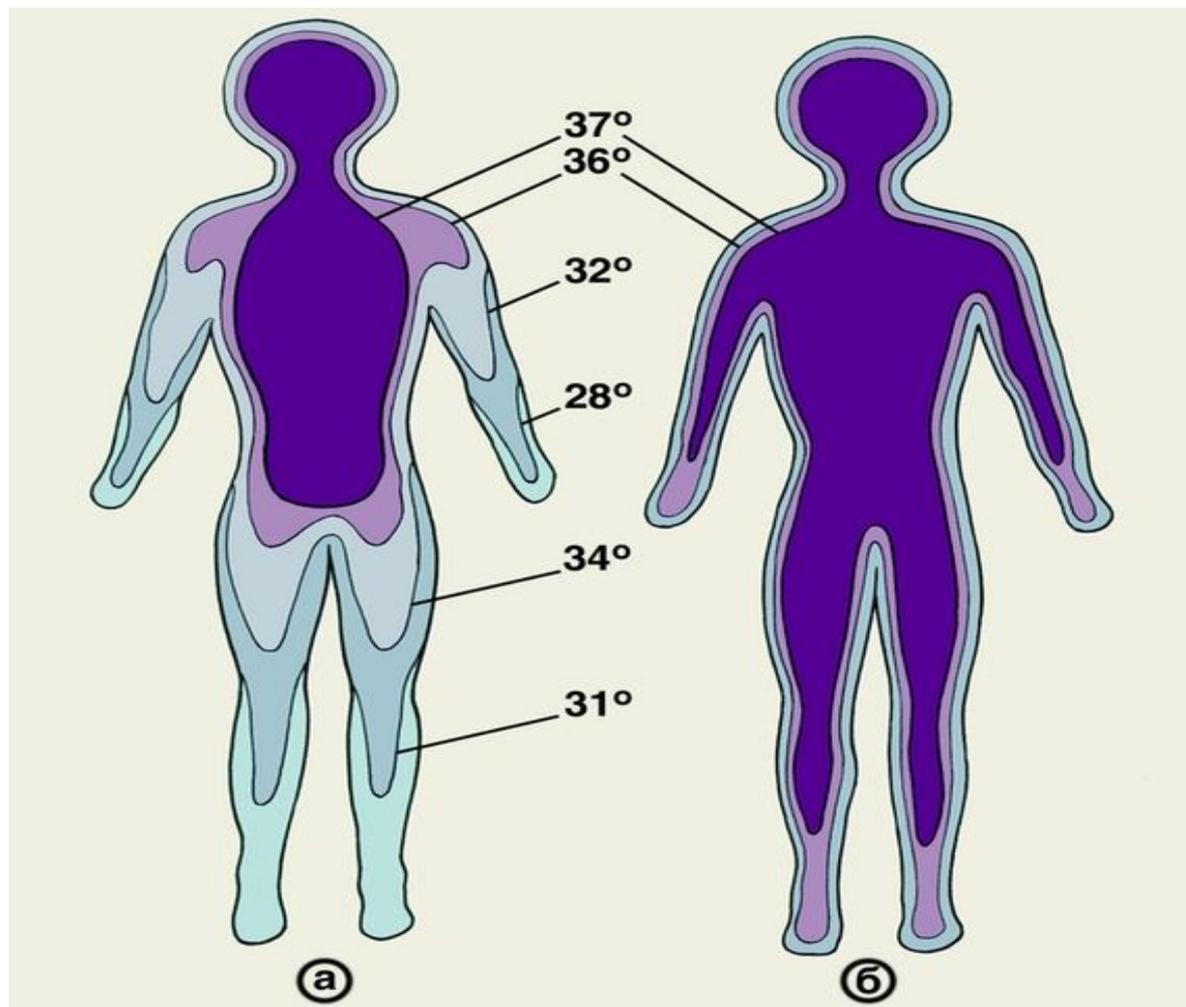
# *Основное назначение вырабатываемого тепла:*

- Обеспечение постоянства температуры тела, которая в нормальных-комфортных условиях «автоматически» без напряжения сердечнососудистой системы и прочих возможных регуляторов меняется в узких пределах:  $36,6 \pm_{-0,2}^{+0,9}$  °C.*
- Одно из утверждений о том, почему температура тела человека равна  $36,6^{\circ}\text{C}$ , свидетельствует, что именно при данной температуре все химические реакции в организме протекают наиболее эффективно.*

# Реакция организма человека на изменение температуры

- Ещё в 1988г. Павлов И.П. определил, что человеческий организм состоит из двух частей: теплокровная – ядро, имеющее небольшие колебания температуры и холоднокровная – оболочка, допускающая колебания на  $10^{\circ}\text{C}$  и более.
- При повышении температуры ядра, увеличивается, и температура в некоторой части слоя оболочки. Такая способность по отведению тепла указывает на регулируемую способность оболочки по ускорению или замедления отдачи тепла от тела.
- Оболочка ядра выполняет свои защитные функции уже в большем диапазоне внешних воздействий, который называют *допустимым*. Отправным моментом в этом случае может служить «поле допуска  $33_{-5}^{+4}\text{C}$ » температуры кожи.

# Температура различных областей тела человека в условиях холода (а) и тепла (б)



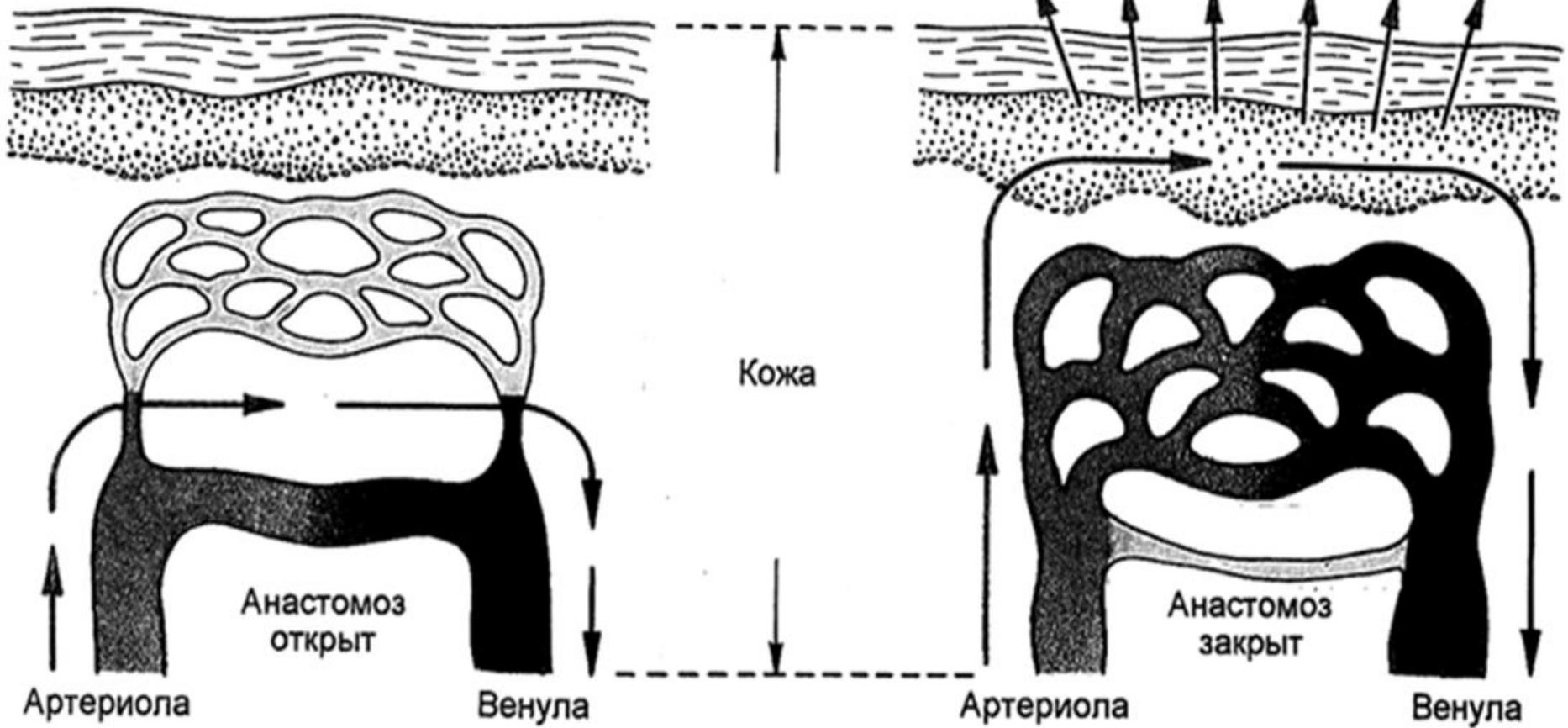
*Вредными, критическими, смертельно опасными физиологами считают:*

- температуру тела ( $36,6^{+6,4}_{-11,6}$ ),*
- температуру кожи  $33^{+8}_{-15}$*

# Механизм изменения теплоотдачи

Теплоотдача снижена

Теплоотдача повышена



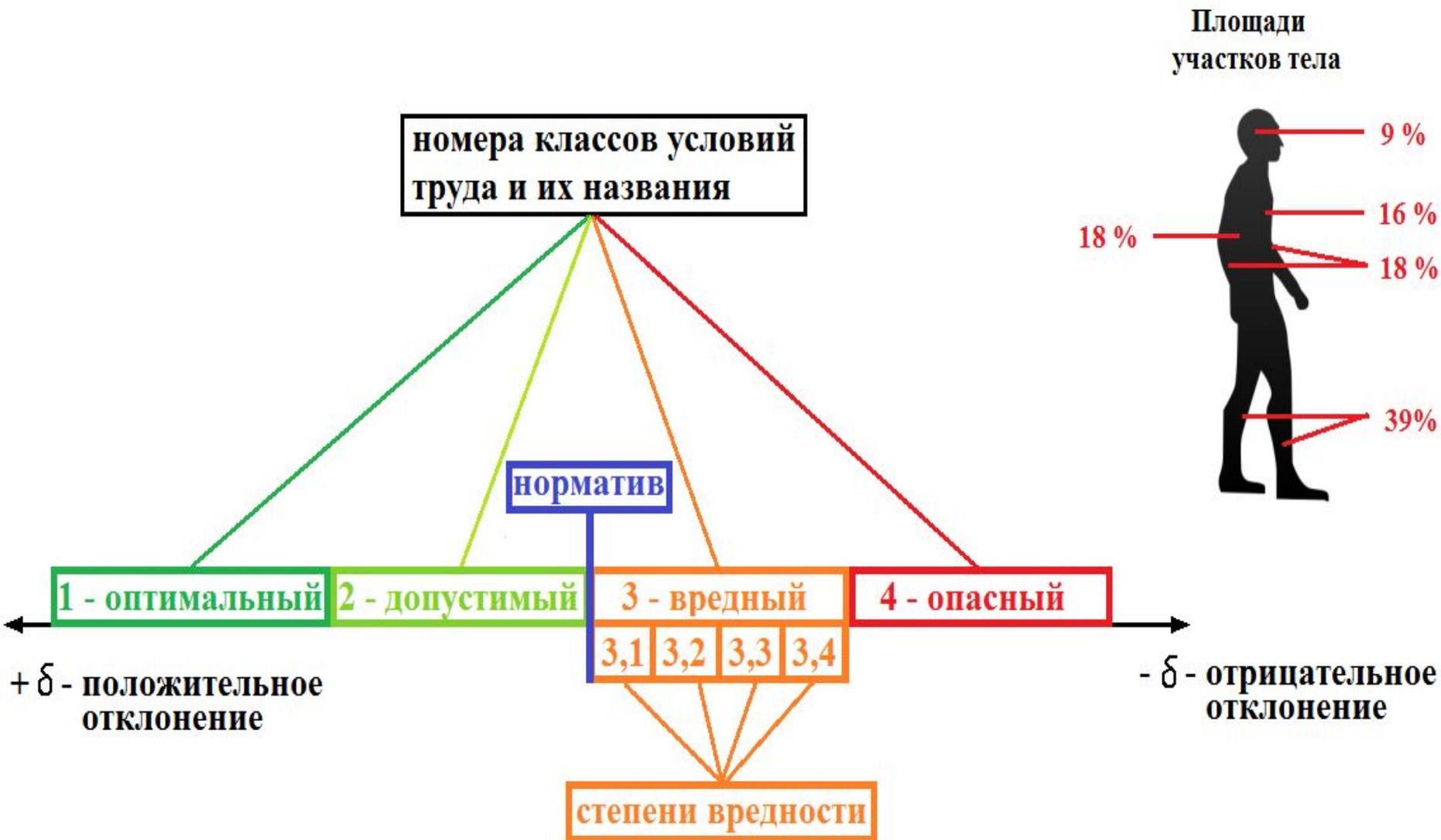
Холод

Жара

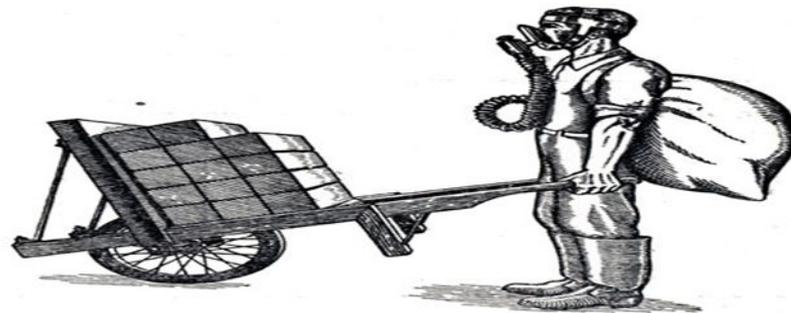


# Классификация условий труда (СанПиН 2.2.4.548 - 96)

## по отклонению от нормативов



# Суммарная величина энергозатрат



- В нормативных документах [6] (ГОСТ, СанПиН) для характеристики работ по категориям энергозатрат используют суммарную величину:

- $$M_{\text{сум}} = M_0 + M_{\text{доп}} = M_0 + \frac{M_{\text{мех}}}{\eta}.$$

- Отношение, называемое коэффициентом физической активности:

- $$\frac{M_{\text{сум}}}{M_0} = \omega$$

- Из всей дополнительно производимой энергии только 20...21,7% расходуется на механическую работу  $M_{\text{мех}}$  (её иногда называют управляемая энергия). То есть максимально КПД человека всего лишь:

- $$\eta = \frac{M_{\text{мех}}}{M_{\text{доп}}} = 0,2$$

# Передача тепла возможна только в сторону низких температур следующими путями:

- 1) Без контакта молекул, за счет электромагнитного (теплового) излучения (радиации) когда фотоны излучаются из одних атомов и переносятся к другим;
- 2) За счёт непосредственного контакта молекул тела и воздуха, когда при соприкосновении кинетическая энергия движения от одних молекул передаётся другим и далее нагретые массы воздуха переносятся внешней (конвективной) силой. Перемещение может происходить под действием силы Архимеда или благодаря ветру.
- 3) При нулевом или отрицательном температурном напоре отведение тепла от тела возможно только испарением. Этот путь организм форсировано использует, когда первые два пути не могут передавать (отводить) тепло и остановить перегрев тела.

# Радиация

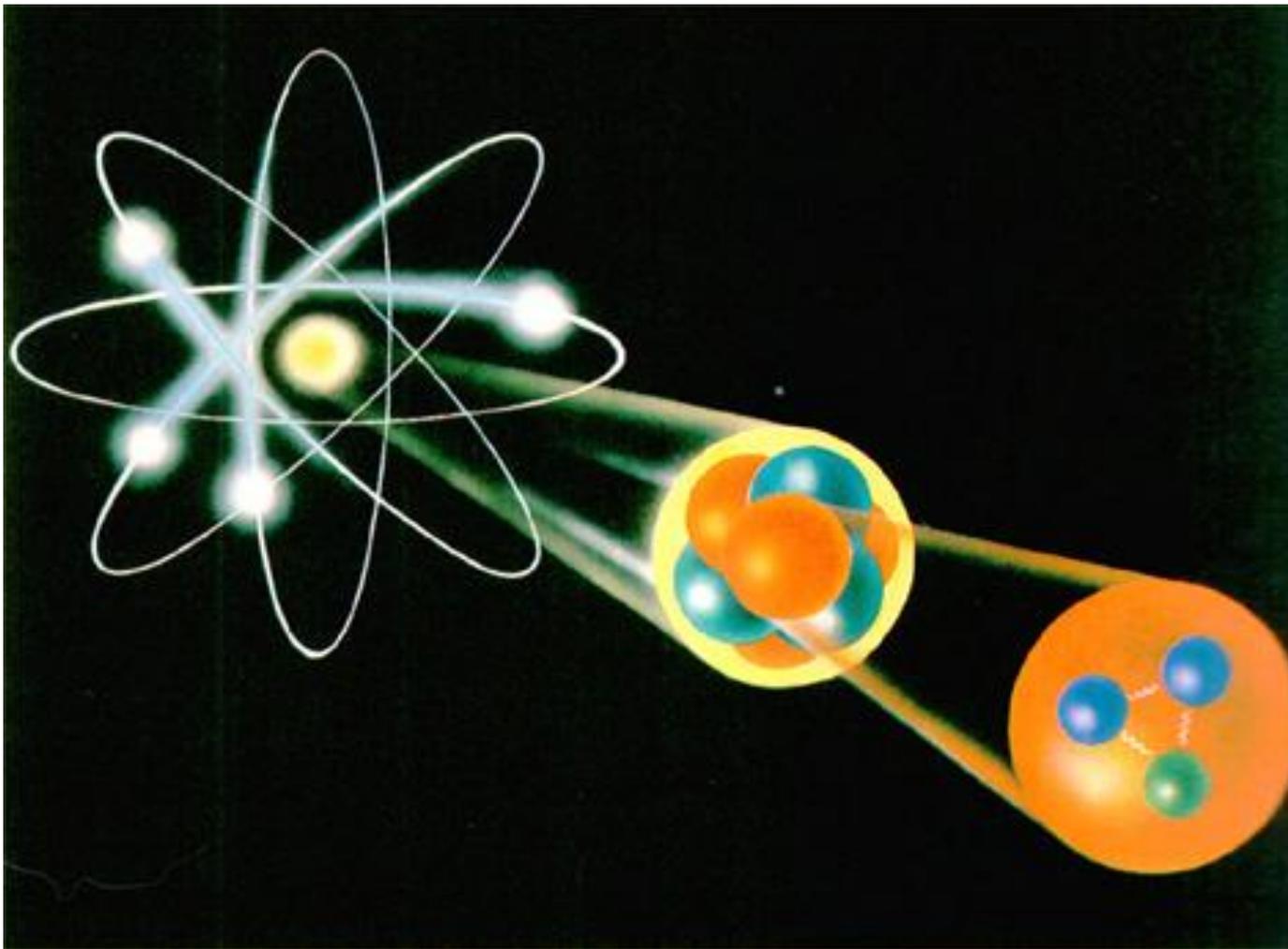
- Плотность потока от абсолютно черного тела в пределах полусферы телесного угла определяется по закону Стефана - Больцмана:

$$E_p = k_{CB} \cdot T^4$$

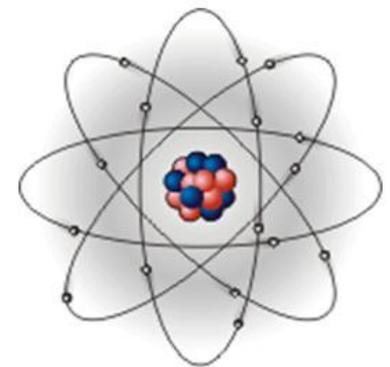
- ( $k_{CB} = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}^4}$  - постоянная Стефана - Больцмана,  $T$  - температура излучающего тела по шкале Кельвина). Тепловое излучение от стен и других предметов, нагретых воздухом поглощается телом человека. Излучающие свойства не черных тел отличаются и это учитывается, введением специального поправочного коэффициента- $\epsilon$ . Для тела человека можно принять:  $\epsilon = 0,75$  (примерно как для бумаги, дерева).

- Теряемая энергия, как **разница** между излучаемым и поглощаемым теплом, определится как:

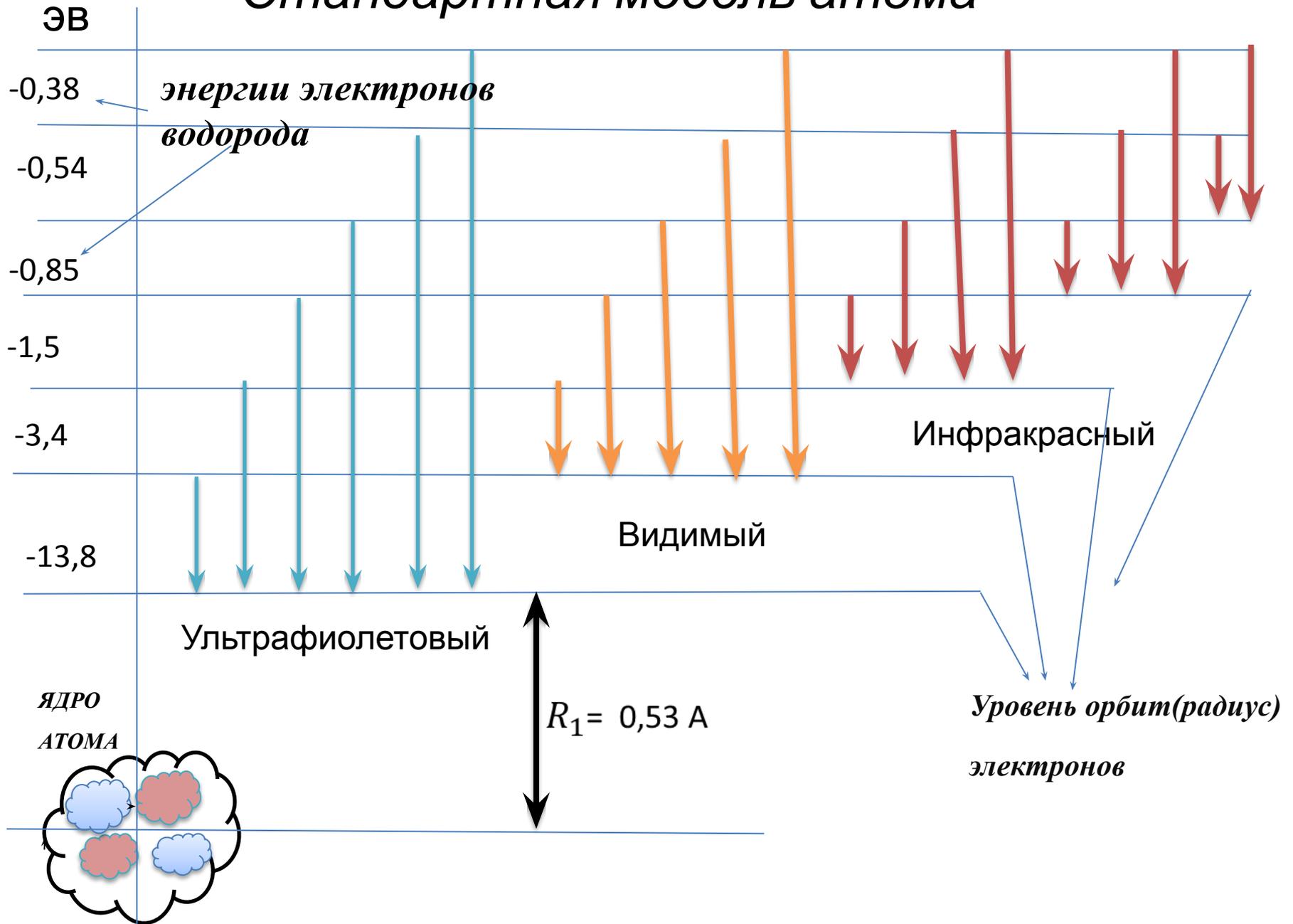
$$E_p = k_{CB} \cdot \epsilon \cdot S(T_K^4 - T_B^4) = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,75 \cdot 1,8(300^4 - 293^4) = 59 \text{ Вт}$$



**Планетарная модель атома**



# Стандартная модель атома



## Контактная отдача и конвективный перенос энергии ( $E_K$ )

- *Допускаем, что тепло передаётся в окружающую среду через прослойку воздуха (толщина которой  $\chi = 4 \dots 10$  мм) вокруг человеческого тела по закону передачи через твёрдые тела.*
- Поток энергии от тела человека в окружающую среду прямо пропорционален тепловому напору (перепаду температур между кожей и воздухом ( $t_K - t_B$ )) и обратно пропорционален термосопротивлению (эмпирический закон Ньютона):

$$E_K = \frac{S \cdot (t_K - t_B)}{R_K}$$

- Здесь:  $R_K = \frac{\chi}{\lambda}$  - коэффициентом термического сопротивления при контактной теплопередаче;
- $\lambda$  — коэффициент теплопроводности - количество теплоты проходящей через среду толщиной в 1 м, площадью в  $1 \text{ м}^2$  за 1 секунду при температурном градиенте в 1 градус  $\left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right]$ .

# Почему ощущение холода больше?

Материал	
Сталь	47
Стекло	1,2
Вода	0,6
Дерево	0,2
Пенополистирол	0,04
Воздух	0,02
Вакуум	0

$R_k = \frac{\chi}{\lambda}$  - коэффициент теплового сопротивления

Вид одежды	Тепловое сопротивление одежды	
	$^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$	«clo»
Легкое летнее платье	0,08	0,5
Домашняя одежда, школьная форма	0,15	1,0
Демисезонная одежда	0,31–0,39	2,0–2,5
Зимняя одежда	0,49–0,54	3,0–3,5

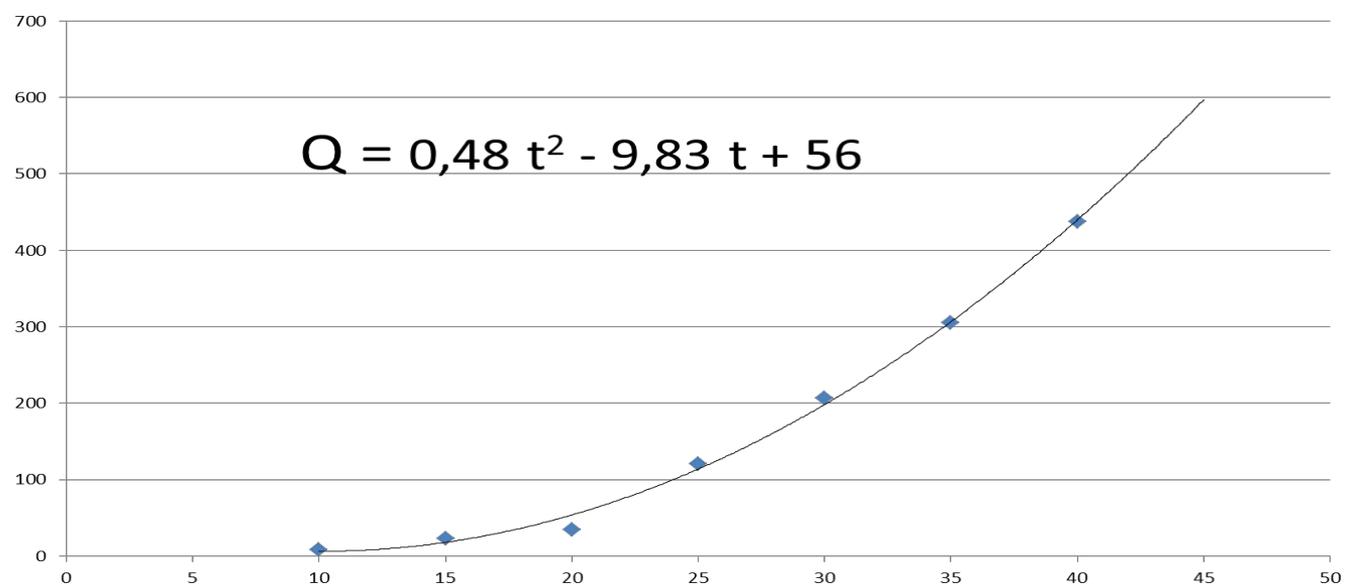
# Процесс испарения и конвективный перенос пара

- *Испарение происходит всегда и его основные назначения: обеспечение теплового, водного баланса и вывод шлаков. Испарение на 2/3 происходит с кожи и на 1/3 с поверхности лёгких, хотя поверхность последних в 50 раз больше.*
- *Собственно интенсивность испарения через поверхность раздела вода-воздух определяют по закону Дальтона, с введением поправки на ветер:*

$$\bullet \theta = \frac{k_v \cdot A \cdot S (p_{\text{нп}} - p_{\text{п}})}{p}$$

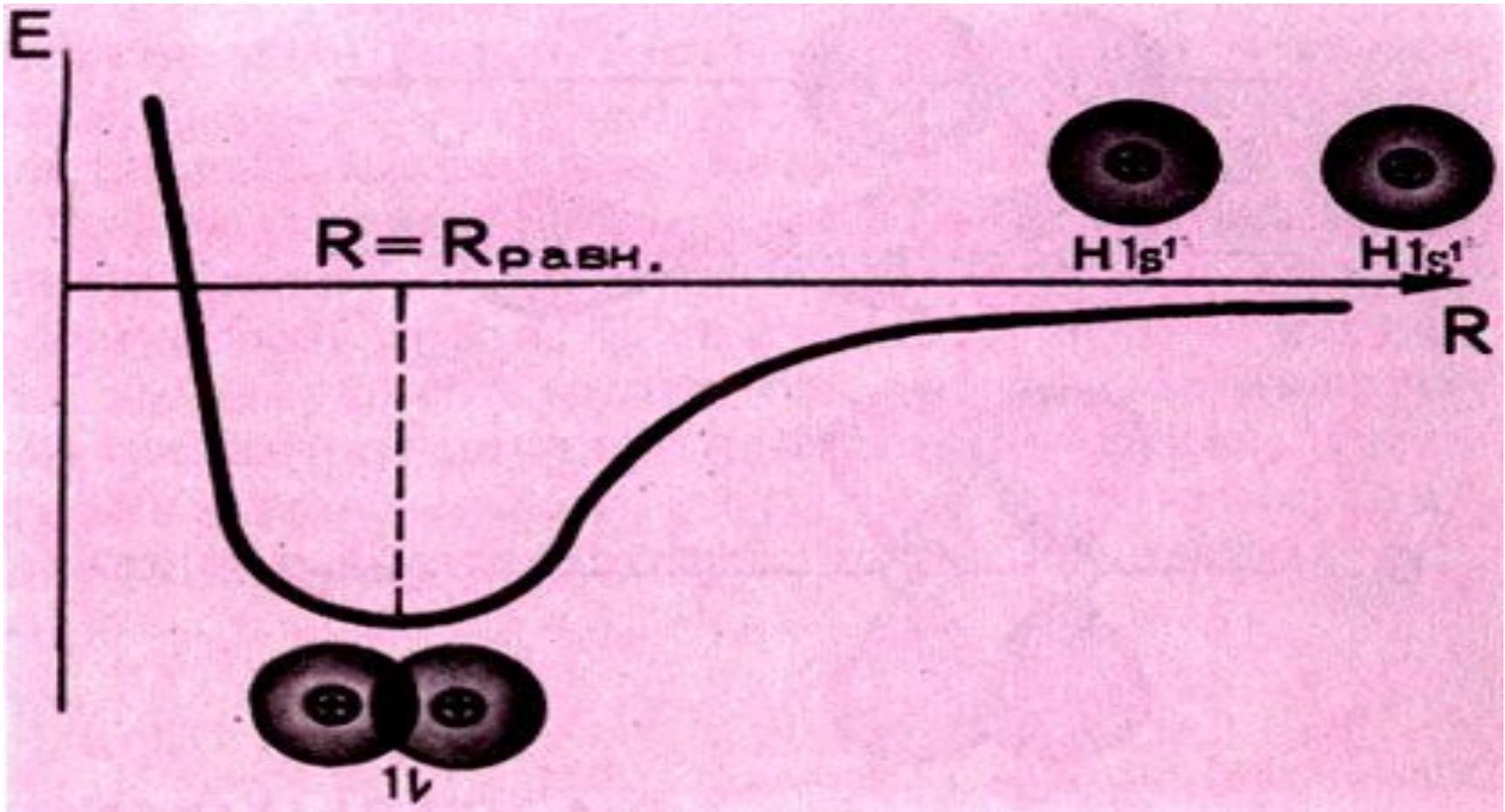
- где:  $k_v$  - коэффициент учитывающий скорость ветра,  $A$  - коэффициент;  $S$  - площадь испарения;  $p = 101,3 \cdot 10^3$  Па - атмосферное давление;  $d = (p_{\text{нп}} - p_{\text{п}})$  - дефицит влажности;  $p_{\text{нп}}$  - давление (в состоянии насыщения) пара испаряющегося из жидкости с температурой  $[t_{\text{жид}}]$ ;  $p_{\text{п}}$  - давление пара находящегося в воздухе при температуре воздуха  $[t_{\text{в}}]$ .
- **Когда прекратится испарение?**

# Интенсивность испарения



- Анализ опытных данных (Витте Н.К., Коц Я.М.), позволяет принять, что испарение кожи для человека, находящегося в покое до температуры воздуха около  $15^{\circ}\text{C}$ , постоянно и составляет  $\theta_0 \cong 30\text{г/час}$ .
- Всегда работают потовые железы только на 10% поверхности тела (конечности, подмышечные впадины). Перспирация (неощутимая) становится ощутимой только после того, как температура воздуха в  $28..29^{\circ}\text{C}$ , приближается к  $5^{\circ}\text{C}$  разнице с температурой кожи ( $33..34^{\circ}\text{C}$ ).
- Интенсивность включения потовых желез примерно пропорциональна квадрату температуры воздуха и при  $45^{\circ}\text{C}$  все 100% включаются.

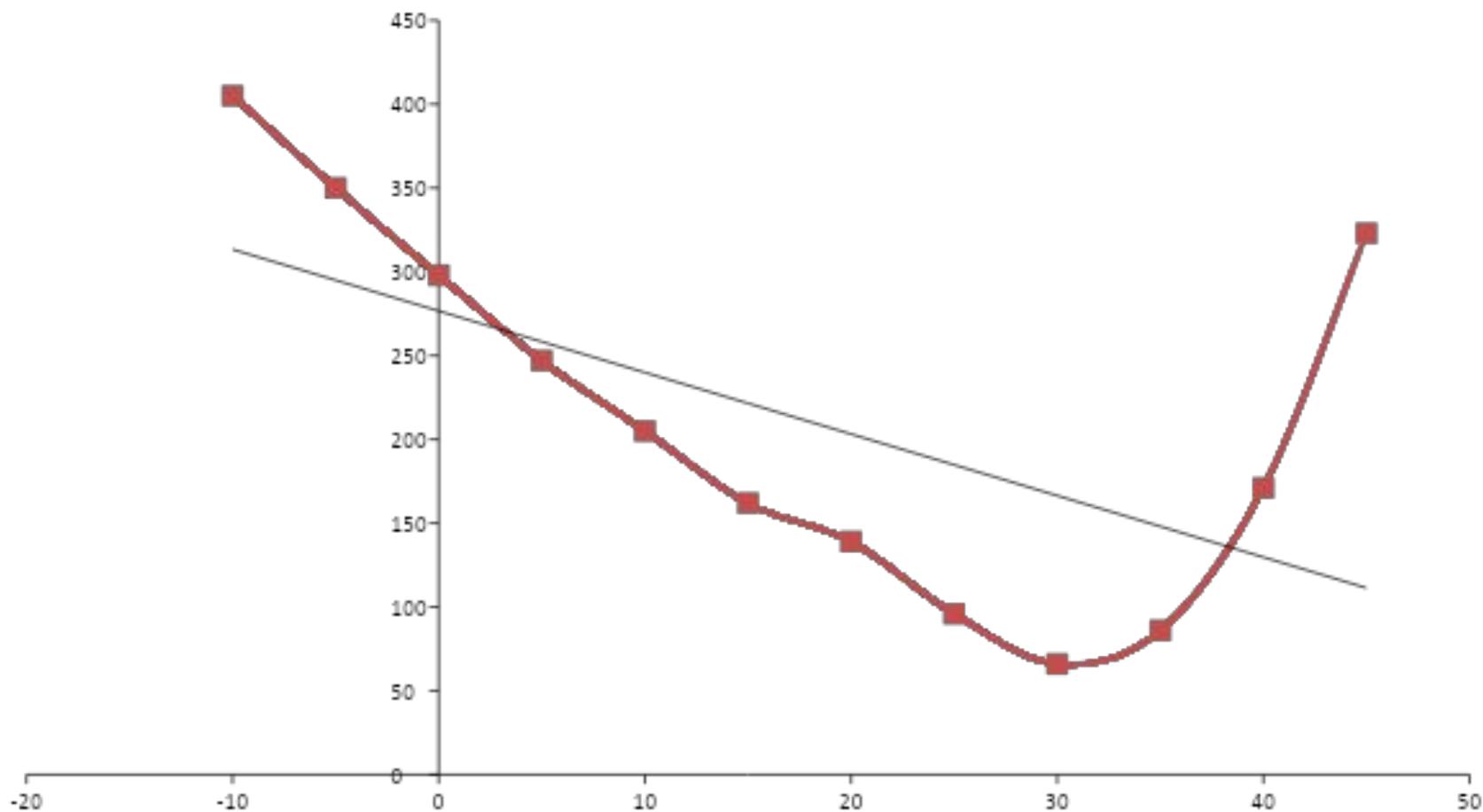
# Энергия связи двух атомов в зависимости от расстояния между ними



## Результаты расчетов

Вид теплоотдачи	<i>Расчетная зависимость;</i>		
Радиация		59	59
Испарение и конвекция		30	5
Кондукция и конвекция		39	39
Через лёгкие		10	4
Общая теплоотдача		138	107

Расчетная (суммарная) величина отводимого тепла  
( $E_{\text{сум}}$ , Вт) при различной температуре воздуха  
( $t_{\text{в}}$ , °C).



# Выводы

- Полноценная жизнедеятельность человека в условиях основного обмена осуществляется в пределах 18–22°C
- Организм может многократно увеличить теплопродукцию, в то время как снизить ее он может незначительно, причем в большей степени за счет отказа от физической активности
- Температура тела человека характеризует процесс терморегуляции организма. Она зависит от скорости потери теплоты, которая, в свою очередь, зависит от температуры и влажности воздуха, скорости его движения, наличия тепловых излучений и теплозащитных свойств одежды
- Процессы отвода (передачи) энергии в окружающую среду базируются на разнице параметра этой среды и параметра живого организма. Такими параметрами является температура кожи, влагосодержание в воздушной прослойке у тела человека и температура, влажность атмосферы. При нулевой разнице параметров человек перегреется

# Удельная теплоемкость воды Дж/кг К

Water Specific Heat Capacity vs Temperature (p = 1 bar)

