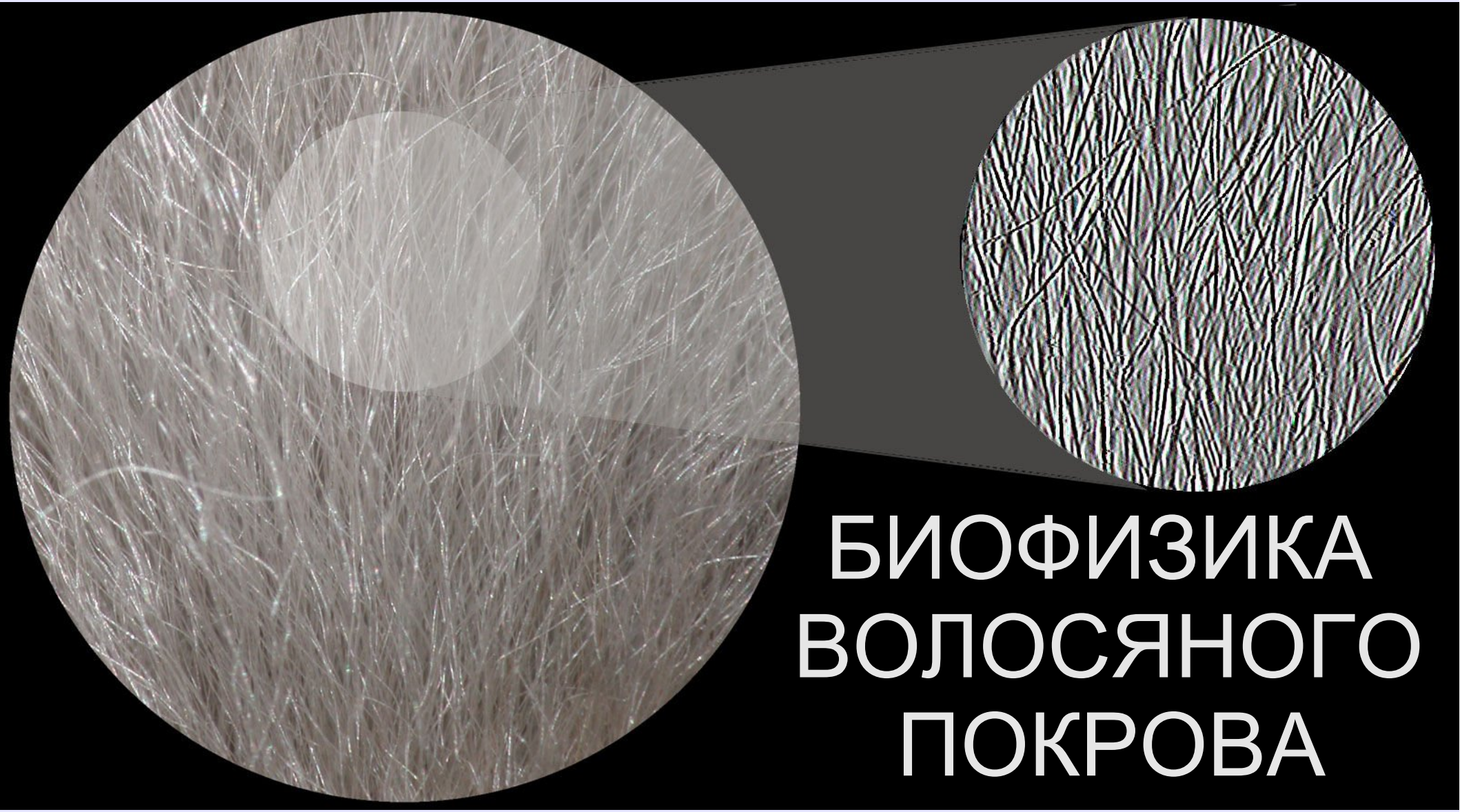


БИОФИЗИКА ВОЛОСЯНОГО ПОКРОВА

Ю.Ф. Ивлев

ИПЭЭ РАН

Диапазон изменчивости волосяного покрова

Густота волос (см$^{-2}$) – $10 \div 10^5$

Длина волос (см) – $0.5 \div 50$

Диаметр волос (мкм) – $5 \div 10^3$

Густота волос ($см^{-2}$) – $10 \div 10^5$

Длина волос (см) – $0.5 \div 50$

Диаметр волос (мкм) – $5 \div 10^3$

ТЕПЛОЗАЩИТА

ТЕПЛОЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ

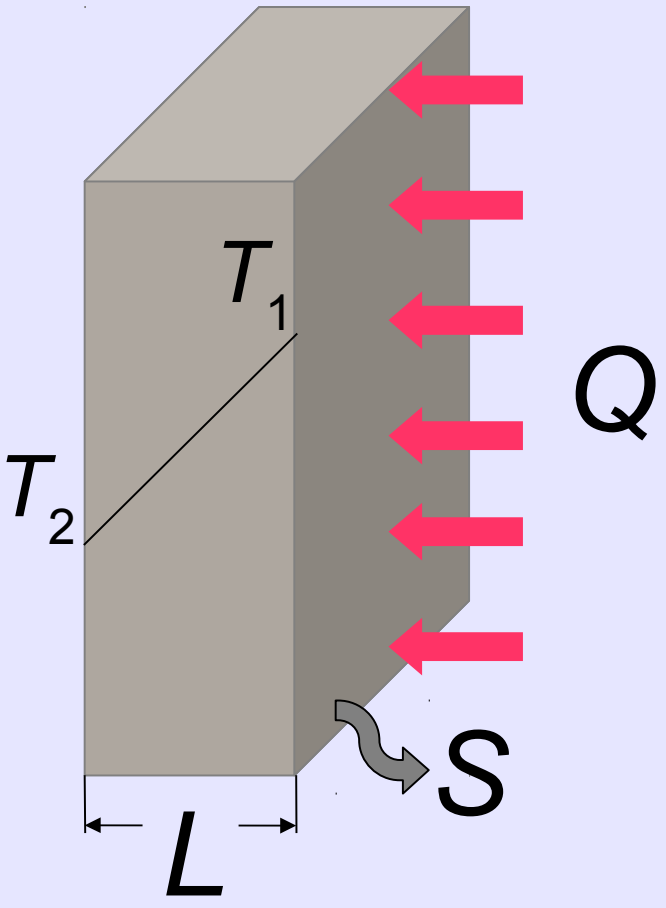
Хорошая теплоизоляция

Структурная устойчивость

Коэффициент теплопроводности (удельная теплопроводность)

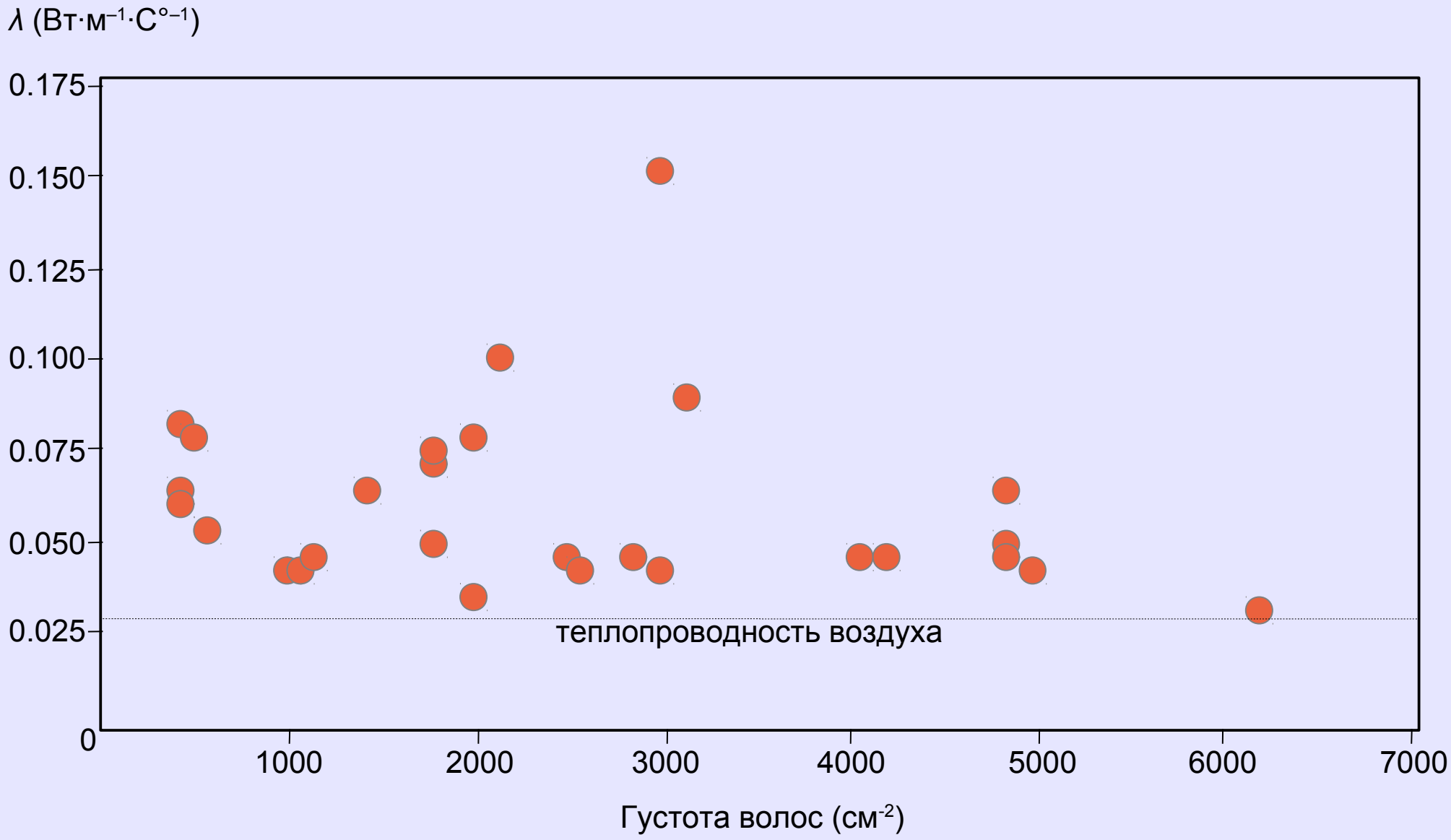
$$\lambda = \frac{Q}{S}\left(\frac{T_1 - T_2}{L}\right)^{-1}$$

Количество теплоты, которое проходит за единицу времени через материал с единичной площадью сечения и при единичном температурном градиенте



Q – поток тепла
S – площадь сечения
T – температура
L – толщина образца

Теплопроводность волосяного покрова и густота волос



Возможные механизмы передачи тепла внутри волосяного покрова

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ
(через воздух и кератин)

ИЗЛУЧЕНИЕ

КОНВЕКЦИЯ

ИСПАРЕНИЕ

Основные механизмы передачи тепла внутри волосяного покрова

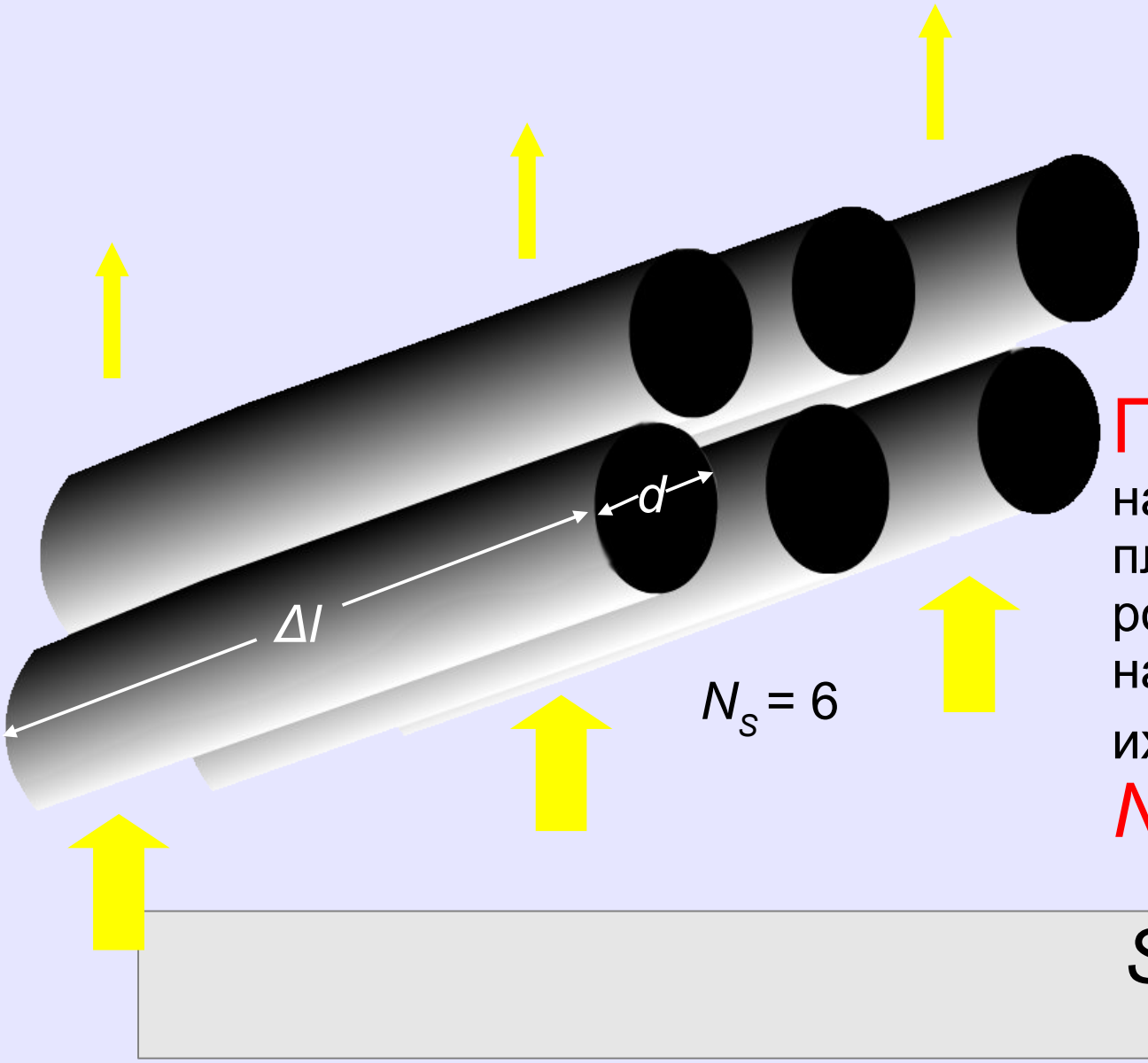
ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ
(через воздух и кератин)

ИЗЛУЧЕНИЕ

Структура волосяного покрова и теплопроводность

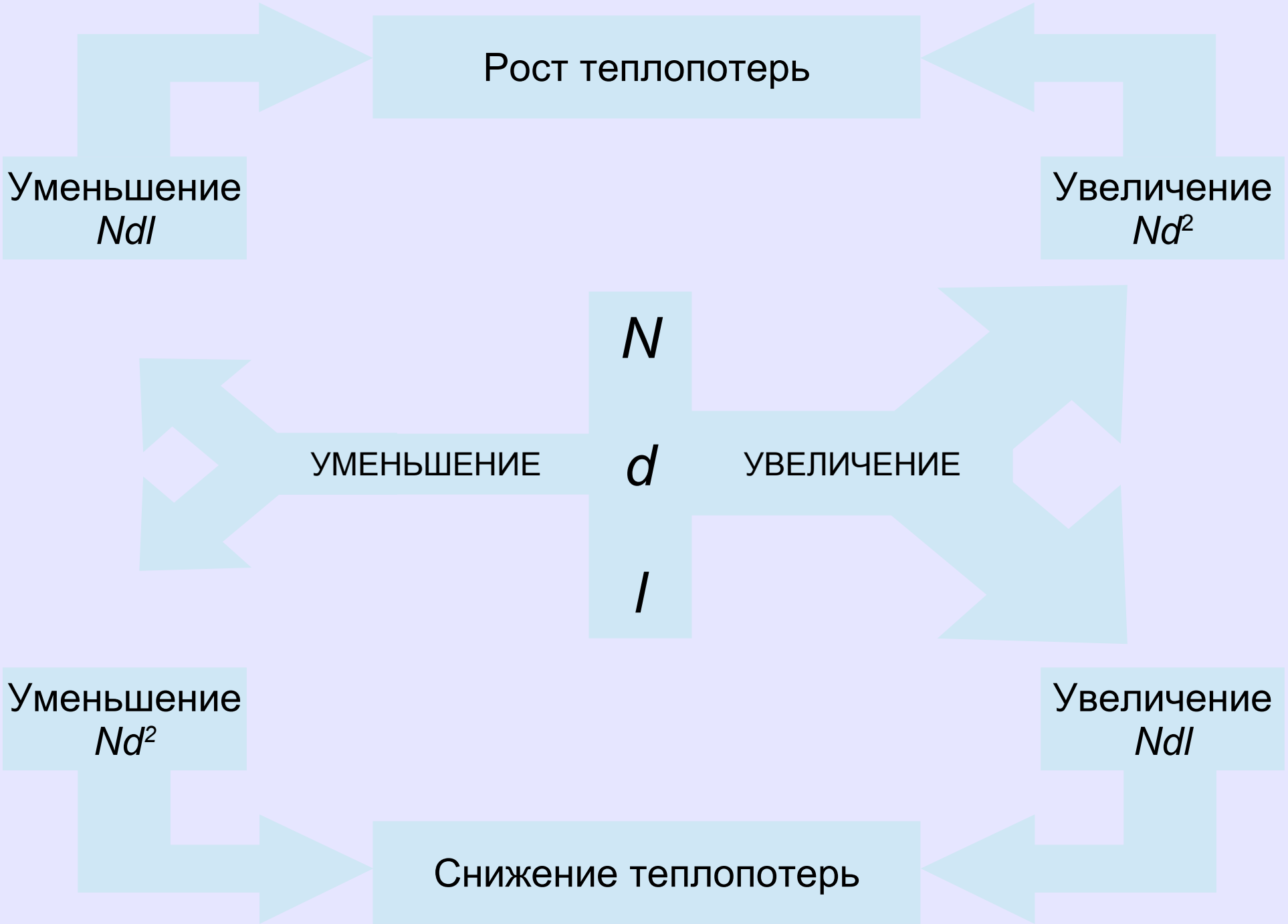
- Теплопроводность кератина в 10 раз выше теплопроводности воздуха
- Чем меньше объемная доля кератина внутри волосяного покрова, тем меньше теплопередача внутри него и тем лучше теплозащитные свойства
- объемная доля кератина пропорциональна произведению густоты волос (N) на квадрат их диаметра (d): Nd^2

Волосы экранируют излучение



Площадь “экранов”
над поверхностью кожи площадью S ропорциональна числу волос над этой поверхностью N_s, их длине Δl и толщине d:

$$N_s d \Delta l$$


Рост теплопотерь
Уменьшение
Ndl
Увеличение
Nd2
N
d
l
УМЕНЬШЕНИЕ
УВЕЛИЧЕНИЕ
Уменьшение
Nd2
Увеличение
Ndl
Снижение теплопотерь

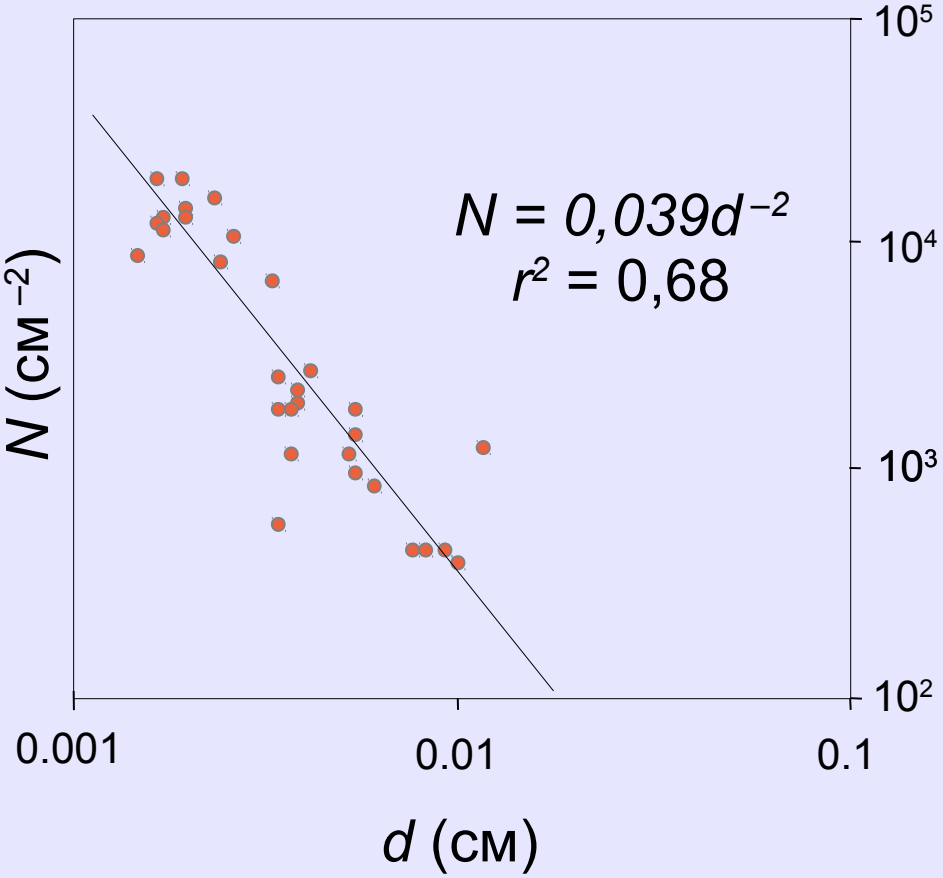
Оптимизация теплозащитных свойств волосяного покрова

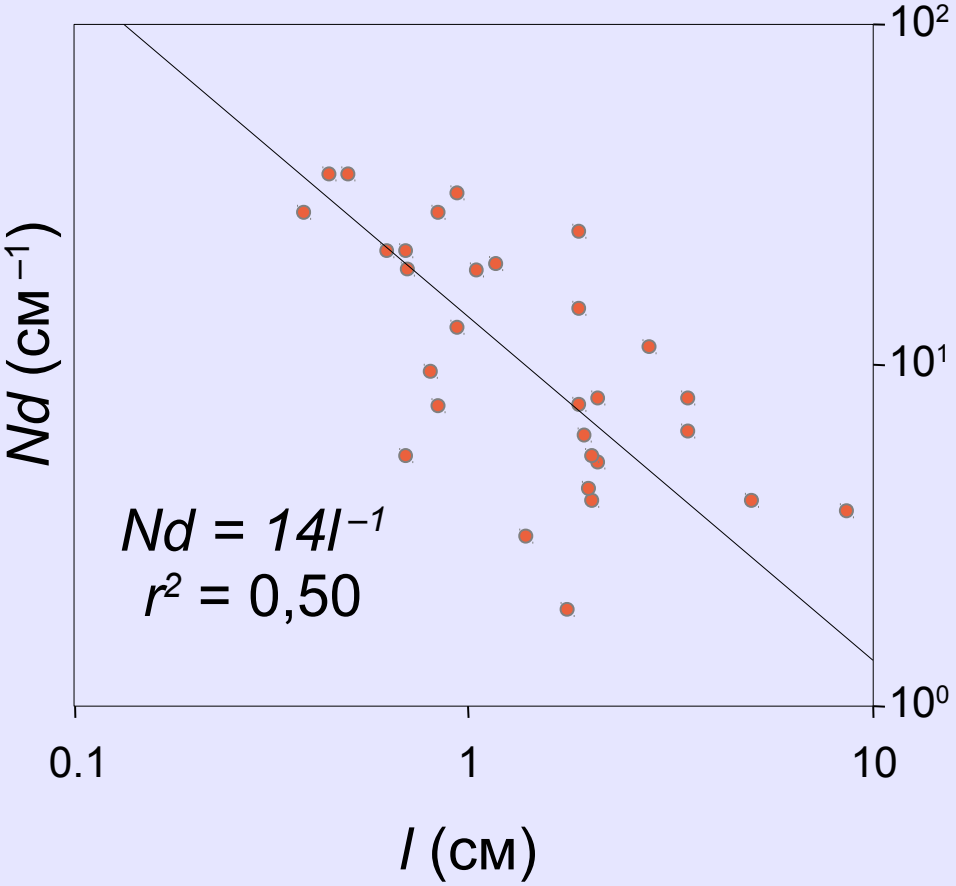
Оптимизация соотношения теплопередачи теплопроводностью и излучением

Nd^2 – const

Ndl – const

Соотношение основных структурных показателей волосяного покрова





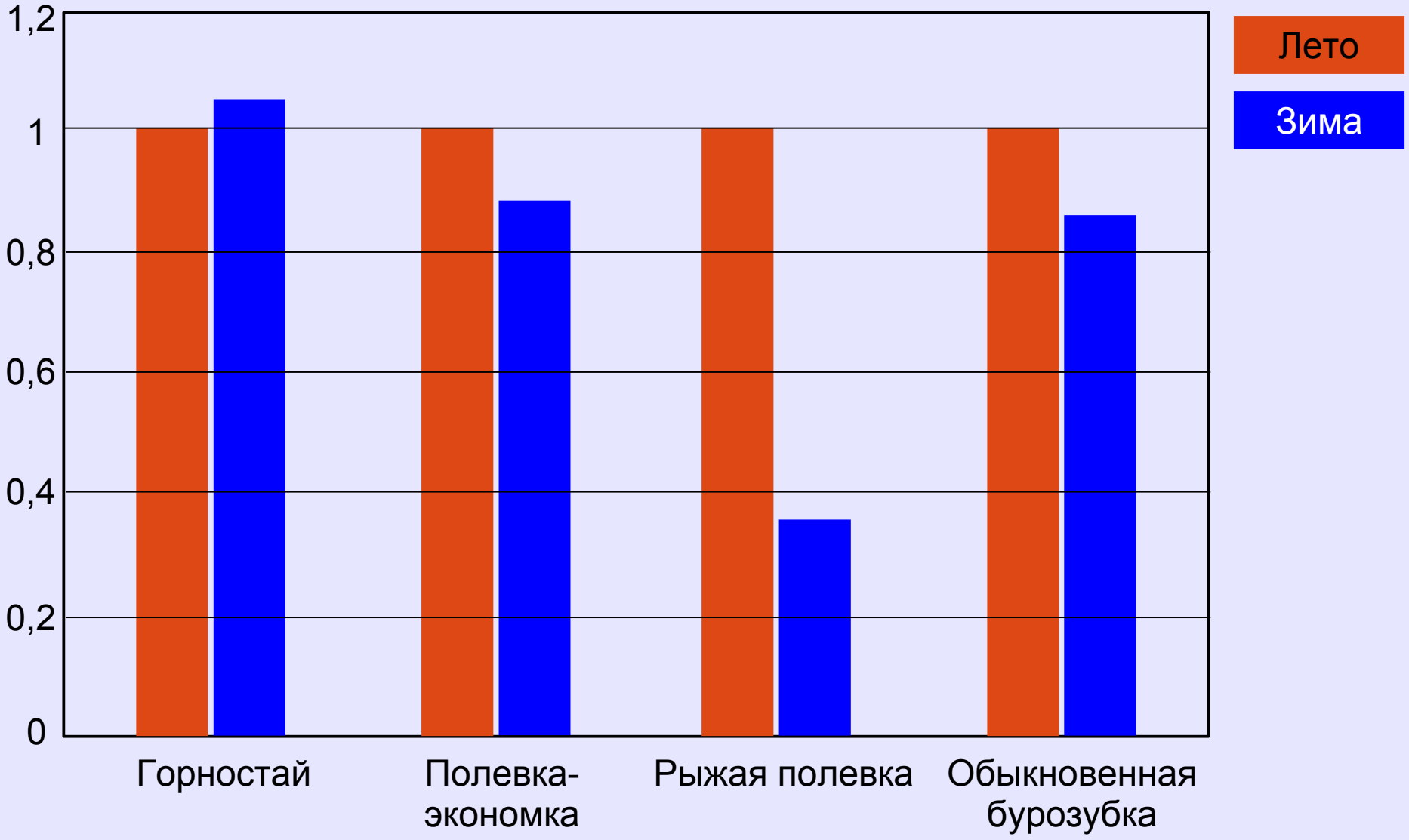
Nd^2 – const

Ndl – const

$N \sim l^{-2}$

$d \sim l$

Объем волос в летнем и зимнем покрове



Во время сезонной линьки количестство биоматериала и энергии для генерации покрова ограничено

Nd^2l – const

Увеличение длины волос (l)

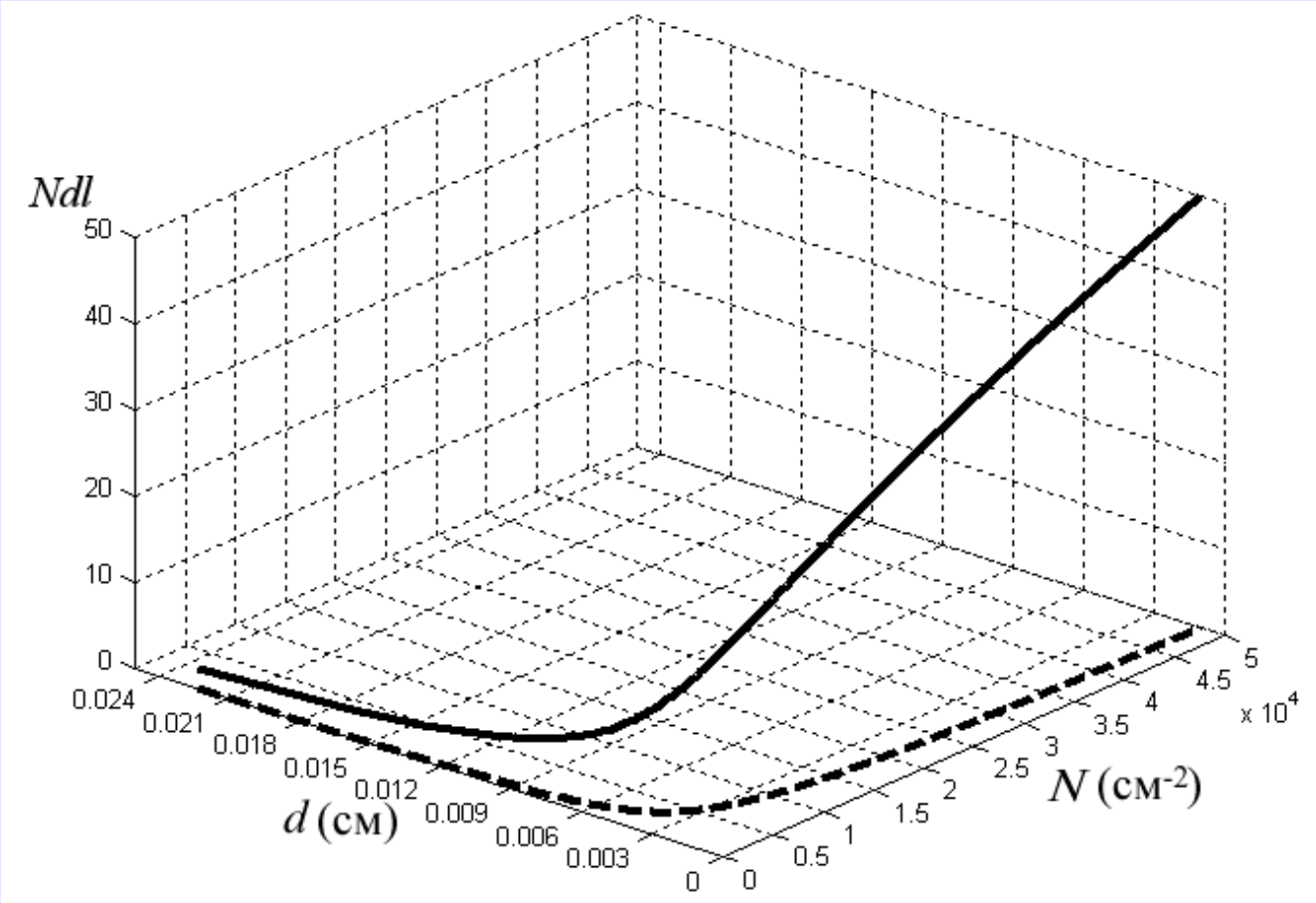
Nd^2l – const

Уменьшение объемной доли волос (Nd^2)
Снижение теплопроводности

Усиление теплопотерь излучением

Компенсаторные взаимосвязанные изменения густоты волос и их толщины

Оптическая плотность волосяного покрова (*Ndl*) при разных значениях густоты (*N*) и толщины (*d*) волос



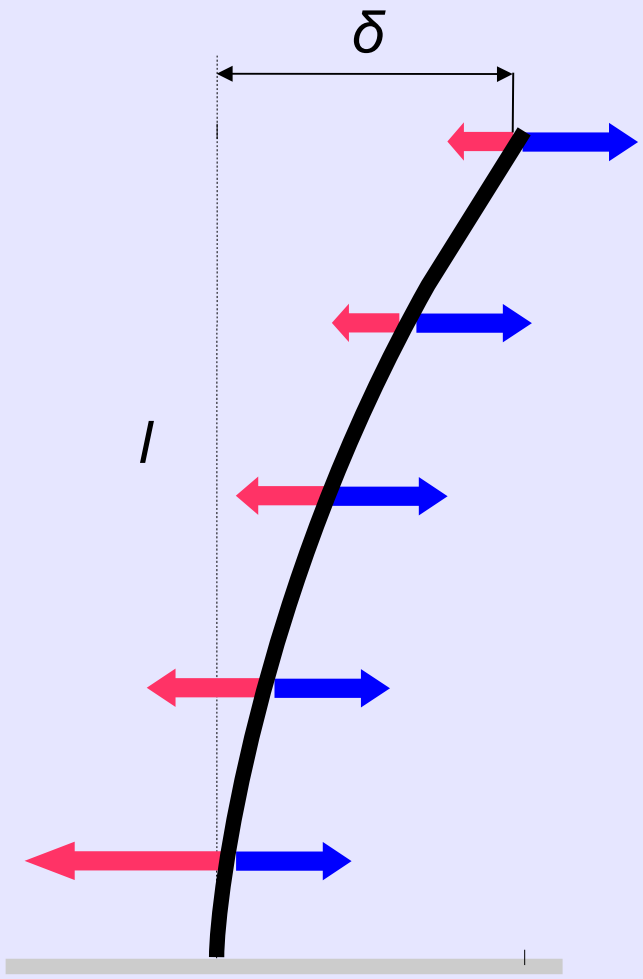
Nd^2l – const

$Nd^2 = 0{,}05$

$l = 1$ см

Прерывистой линией показана взаимная связь между толщиной и густотой волос. Сплошной линией показано изменение оптической плотности.

Восстановление волоса после деформации



силы упругости
силы адгезии

δ – смещение волоса
l – длина волоса
E – модуль упругости волоса
J – осевой момент инерции поперечного сечения волоса
k – число контактов волоса с другими волосами
F_k – сила адгезии единичного контакта

$$\delta = a\frac{kF_k l^3}{EJ};\ J \sim d^4;\ k \sim Ndl$$

$$\delta \sim \frac{Nl^4}{d^3}$$

Динамическая устойчивость: $\frac{l}{\delta} \sim \frac{1}{N}\left(\frac{d}{l}\right)^3$

Динамическая устойчивость волосяного покрова (l/δ)

$$\frac{l}{\delta} \sim \frac{1}{N}\left(\frac{d}{l}\right)^3$$

$$N \sim l^{-2};\ l \sim d$$

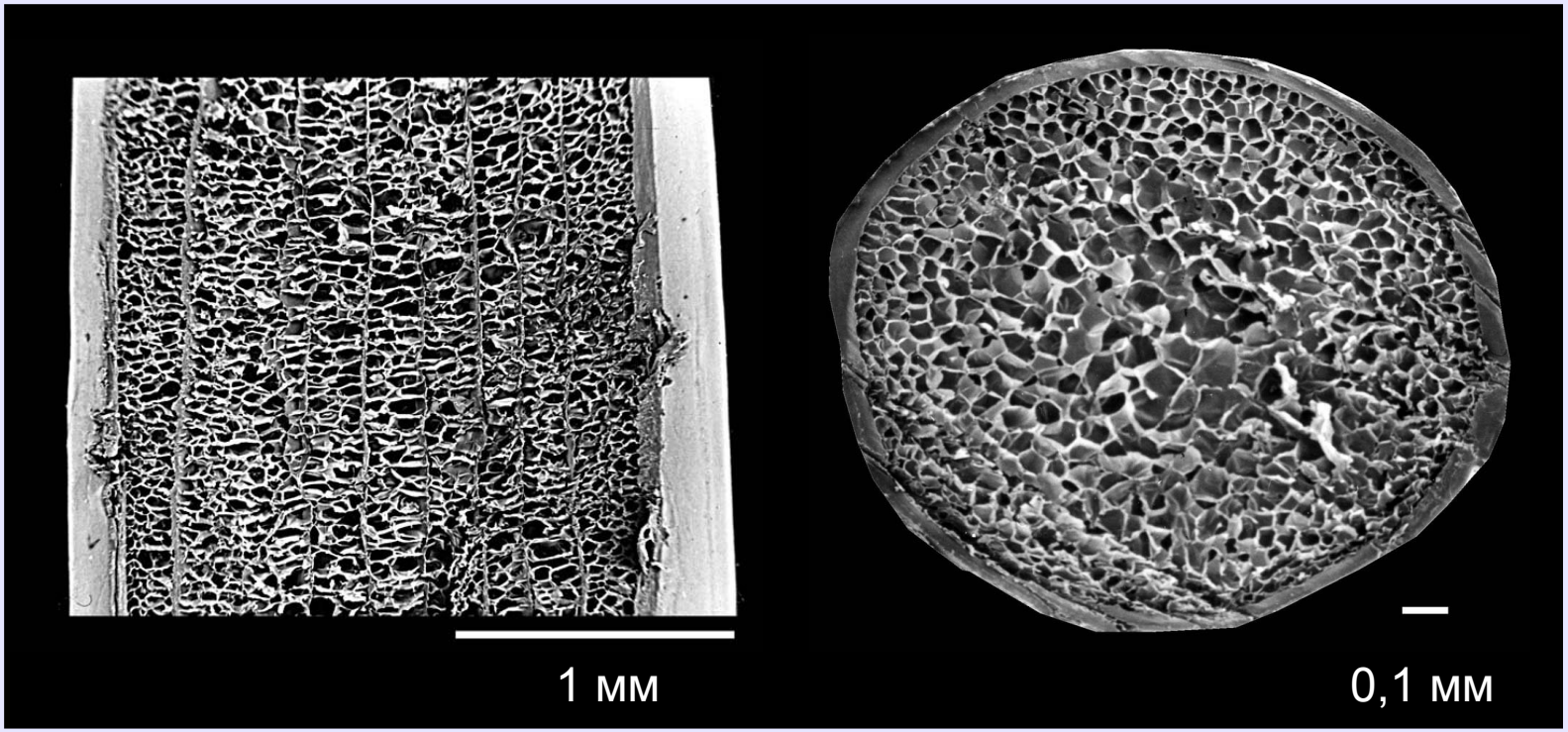
$$\frac{d}{l} - \text{const}$$

$$\frac{l}{\delta} \sim \frac{1}{N} \sim l^2$$

Иглоподобные образования возникают на тех участках тела, автогруминг которых затруднен

Иглы могут эффективно экранировать тепловое излучение

Erethizon dorsatum



Ячеистая структура медулярной части игл американского дикобраза может увеличить экранирующую поверхность в 10-100 раз

Перспективные исследовательские задачи

- Связь структуры волосяного покрова с «комфортным» поведением
- Возникновение и эволюция защитных образований волосяного покрова
- Функциональный смысл топографической изменчивости волосяного покрова
- Морфо-функциональные особенности волосяного покрова летающих животных
- Функциональные аспекты происхождение волосяного покрова
- Редукция волосяного покрова
- Разработка методов количественного описания структуры волосяного покрова