



ЦЕНТР  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОГО  
ТУРИЗМА  
УНИВЕРСИТЕТА ИННОПОЛИС

# ЦЕНТР НАУЧНО- ПОПУЛЯРНОГО ТУРИЗМА

Популяризация науки через живой опыт



ЦЕНТР  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОГО  
ТУРИЗМА  
УНИВЕРСИТЕТА ИННОПОЛИС

# НАУКА ВОКРУГ НАС: НАУЧНАЯ ТРОПА ИННОПОЛИСА

## ЧТО ТАКОЕ НАУЧНАЯ ТРОПА



### НАУКА ВОКРУГ НАС

Мир объясним прямо на местности



### ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ — ЛАБОРАТОРИИ

Горизонт (математика, Пифагор, Тейлор)

Закат (астрономия, Эратосфен)

Меандры реки (сила Кориолиса)



### УНИВЕРСИТЕТ ИННОПОЛИС

превращает ландшафт в учебную  
аудиторию под открытым небом

## КОМАНДА



Артём  
Оганов



Александр  
Гасников



Алексей  
Савватеев



Тимур  
Циунчук



Михаил  
Медведев



Виктор  
Бухштабер



Константин  
Цыбиков



Евгений  
Песня

## МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ

Проектируемая Научная тропа Иннополиса является частью Волжской тропы, которая проходит по всему правому берегу Волги. Находится в Верхнеуслонском районе, городском округе Иннополис. Научная тропа включает в себя два круговых маршрута протяженностью 8 и 4 км.



## НАУЧНАЯ ТРОПА — ЧАСТЬ ВОЛЖСКОЙ ТРОПЫ

350 км

5 муниципалитетов

26 оопт

100+ объектов

Первый протяженный маршрут России, имеющий возможность стать общенациональным: Большая Волжская тропа.  
Контент верифицируют ведущие ученые-популяризаторы





ЦЕНТР  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОГО  
ТУРИЗМА  
УНИВЕРСИТЕТА ИННОПОЛИС

# СЮЖЕТЫ В ПРИРОДЕ ЧЕРЕЗ ИИ-ГИД

ПОПУЛЯРНЫЕ МАРШРУТЫ  
БЕЗ НАУКИ

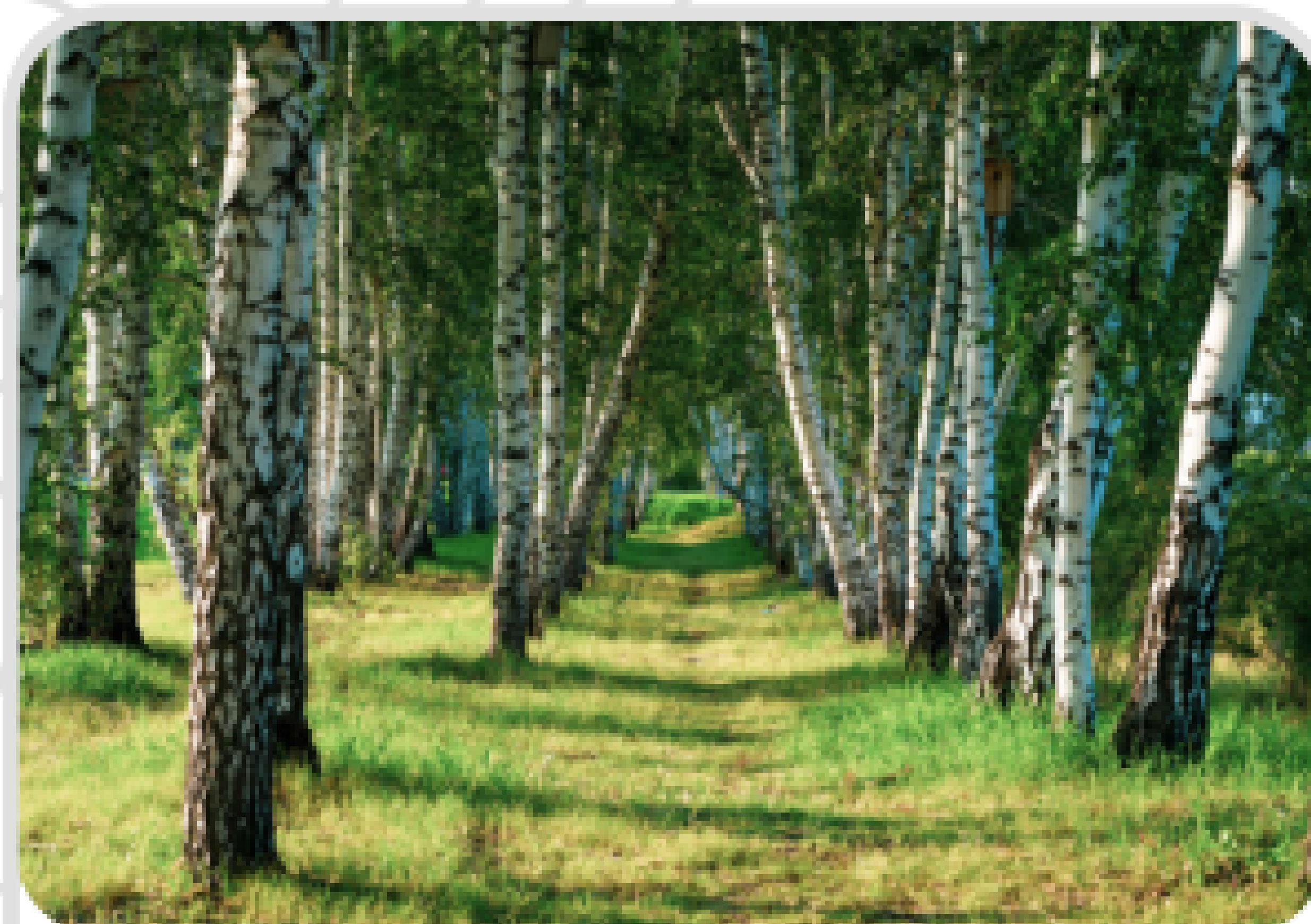
НАУЧНЫЕ МАРШРУТЫ  
БЕЗ СПРОСА



ОБОГАЩАЕМ НАУКОЙ  
ПРОСТРАНСТВА  
ДЛЯ ЖИЗНИ



QR-код на ИИ-гида



**Эффект Бернулли:**  
Невидимая сила  
вокруг нас

Где мы это видим?

Наклоненные к дороге березы  
(разница давления).  
Вытекание воды из баков,  
движение воды в реке,  
работа водонапорной башни —  
это всё уравнение Бернулли.



**Круговорот  
воды: от дождя  
до подземных рек**

Специфика локации  
(Иннополис):

Высокое залегание грунтовых  
вод из-за холмистого рельефа.  
Дождь — конденсация  
на холмах — фильтрация —  
подземные реки.



**Почему мы видим  
«за горизонт»?**

Математика ландшафта

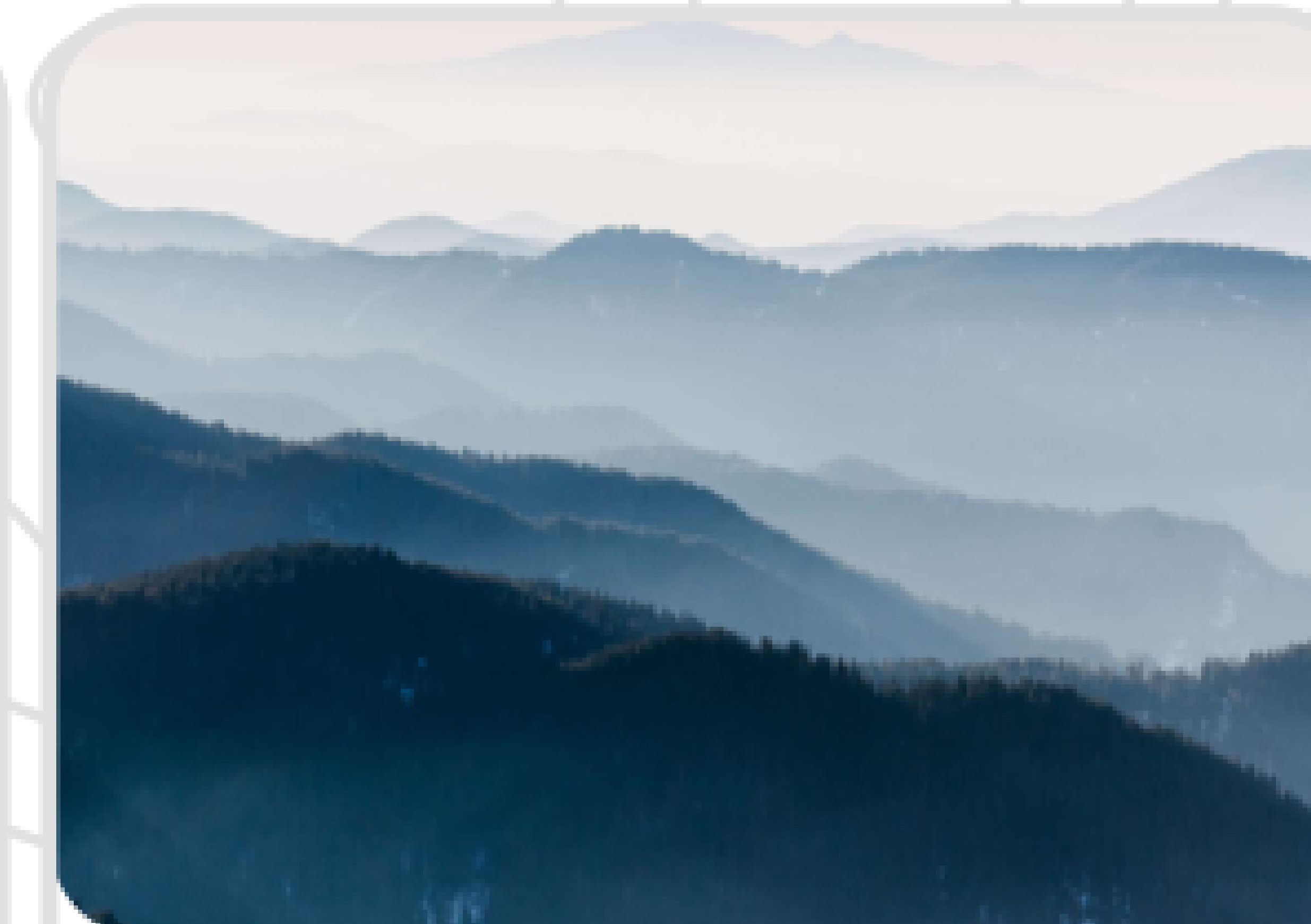
Теорема Пифагора в действии  
(радиус Земли + ваш рост).  
Ряд Тейлора для приближенных  
вычислений — упрощение  
расчетов.



**Как измерить  
Землю?**

История одного гномона

Разная длина тени в разных  
городах — доказательство  
шарообразности Земли —  
вычисление радиуса.  
Явления — солнечная и лунная  
дорожка на воде.  
Инструменты: Солнечные часы,  
гномон (вертикальный столб).



**Топология  
ландшафта**

Формула Эйлера  
для холмов и впадин

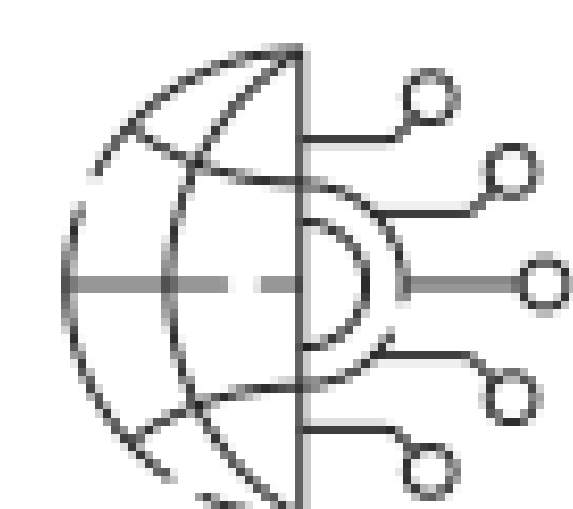
Посчитать вершины холмов,  
впадины и «седловины».  
Топология учит видеть  
структуру местности,  
а не просто красивый вид.



ЦЕНТР  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОГО  
ТУРИЗМА  
УНИВЕРСИТЕТА ИННОПОЛИС

# ТИРАЖИРОВАНИЕ И МЕХАНИЗМ РЕАЛИЗАЦИИ

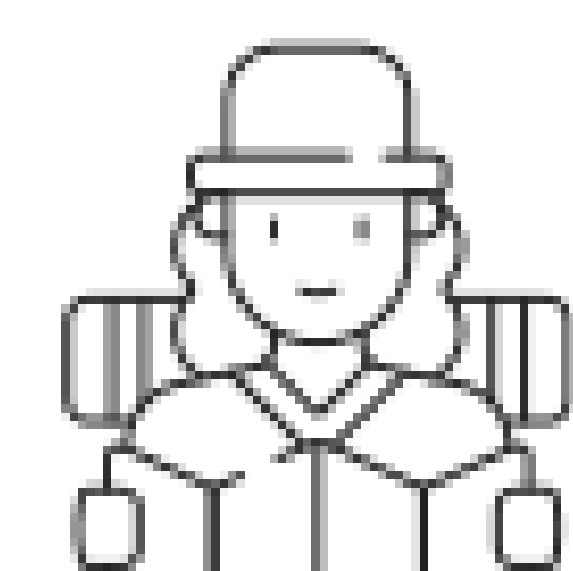
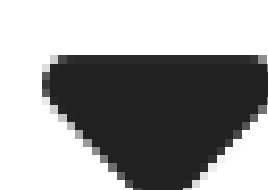
## ПОПУЛЯРНЫЕ ТУРИСТИЧЕСКИЕ МАРШРУТЫ В РЕГИОНАХ



### ОБОГАЩАЕМ МАРШРУТЫ НАУЧНЫМ КОНТЕНТОМ

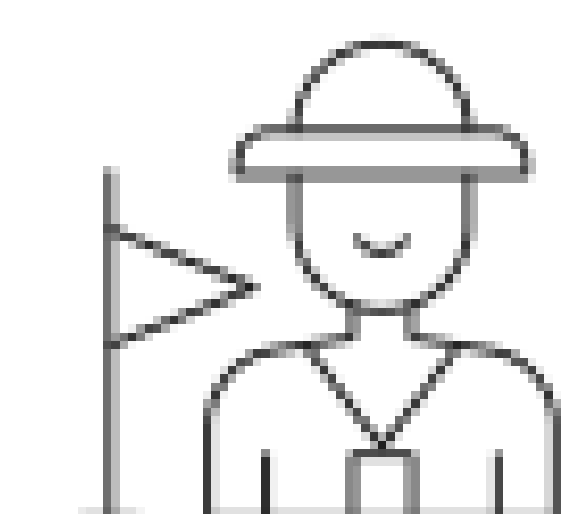
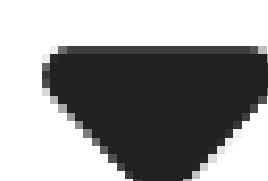
ИИ-гид

разработка Университета Иннополис



### ДЛЯ ШИРОКОЙ АУДИТОРИИ:

делает сложные научные  
понятия доступными



### ДЛЯ ГИДОВ И ЭКСКУРСОВОДОВ:

цифровая независимость  
от агрегаторов



### ДЛЯ ШКОЛ И СЕМЕЙ:

- организованные школьные походы
- семейный формат (природа + саморазвитие)

## КАРТА ПИЛОТНЫХ ПЛОЩАДОК

Научная тропа Иннополиса — стартовый полигон для апробации решений.





ЦЕНТР  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОГО  
ТУРИЗМА  
УНИВЕРСИТЕТА ИННОПОЛИС

# ДОСТИГНУТЫЕ ДОГОВОРЕННОСТИ В РЕГИОНАХ РФ И ЗАРУБЕЖОМ



*высокая степень готовности*

## РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН

Поддержка Раиса РТ в реализации научной тропы на территории Иннополиса



## НИЖЕГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ

Заинтересованность в развитии совместных инициатив в сфере научных троп



## ЧЕЧЕНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

Инициатива поддержана Министерством образования и науки и Министерством туризма ЧР

## РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)

## НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ

## РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ

## КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ

## САХАЛИНСКАЯ ОБЛАСТЬ

## КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА



ЦЕНТР  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОГО  
ТУРИЗМА  
УНИВЕРСИТЕТА ИННОПОЛИС

# БИБЛИОТЕКА НАУЧНЫХ СЮЖЕТОВ

Научить научному способу познания мира

# Как деревья сохраняют память о прошлом?



## Можно ли прочитать по дереву его возраст?

Каждый год дерево откладывает **новый слой древесины**. В благоприятные годы кольцо получается широким, в засушливые или холодные — узким.

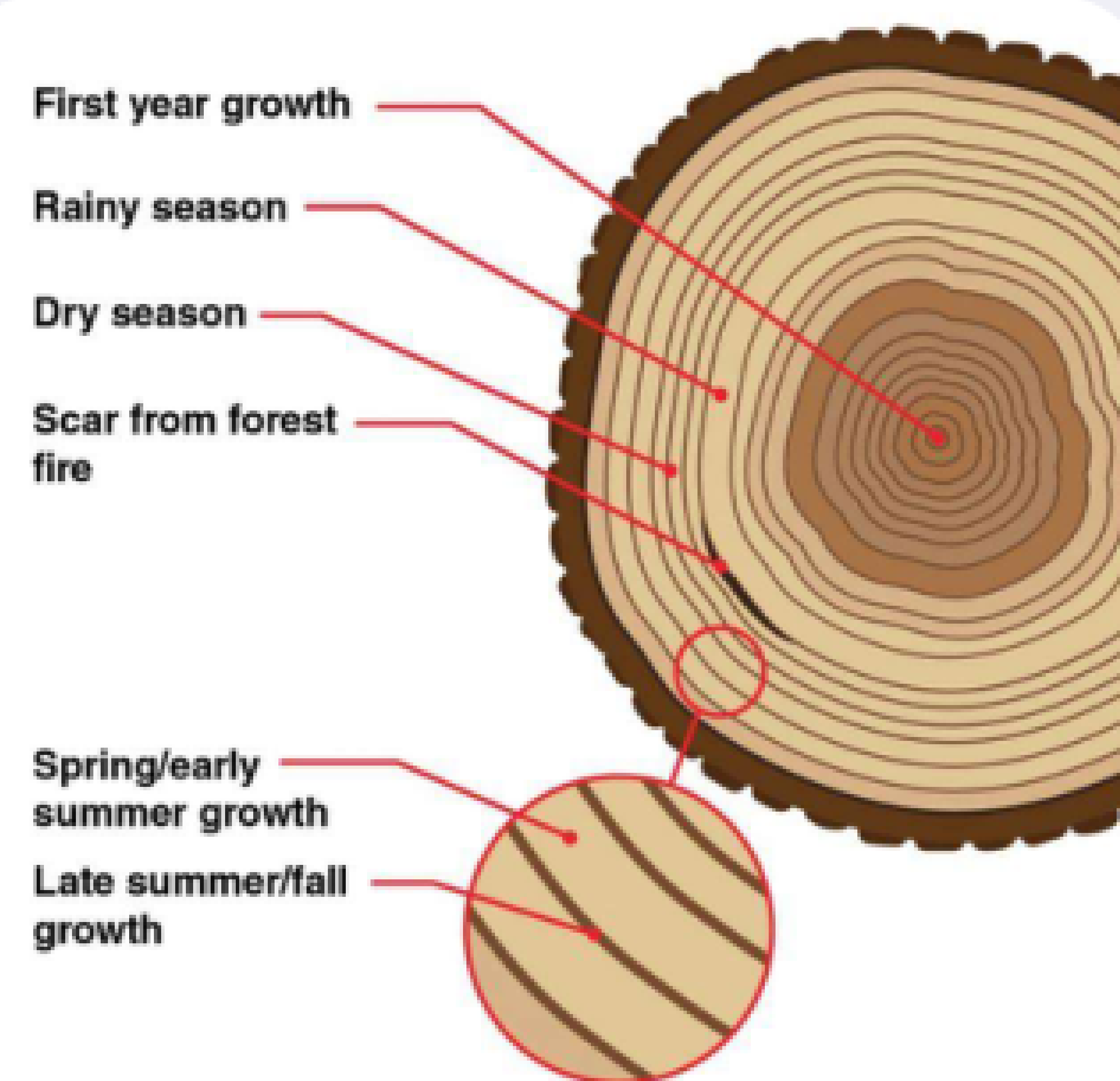
Последовательность широких и узких колец образует уникальный рисунок, похожий на **штрихкод времени**. По нему учёные могут узнать, в каких условиях росло дерево десятки и даже сотни лет назад.

### Как восстановить годы, которых никто не видел?

У разных деревьев, росших рядом, последовательность широких и узких колец оказывается одинаковой.

Если совместить такие рисунки, можно «сшить» древесную летопись из нескольких поколений деревьев.

Этот метод называется **перекрёстной датировкой**.



**Дендрохронология** позволяет датировать древние постройки, реконструировать климат прошлого и восстанавливать историю лесов по годичным кольцам деревьев.

**Ширина кольца** зависит от условий роста:

- Тёплый и влажный год → широкое кольцо;
- Холодный или засушливый год → узкое кольцо.

### Как можно это обыграть на маршруте?

Посетитель получает два настоящих спила дерева и пытается найти совпадающий рисунок широких и узких колец.

Ту же задачу ежедневно решают дендрохронологи, восстанавливая историю лесов, климатических изменений и возраст деревянных построек.



# Почему в Якутии зимой $-50^{\circ}\text{C}$ , а летом $+35^{\circ}\text{C}$ ?



## Резкоконтинентальный климат Якутии

Если посмотреть на карту, Якутск расположен примерно на той же широте, что и юг Аляски или юг Скандинавии.

Но **климат** совершенно разный. Якутск:  $-38^{\circ}\text{C}$ , Берген (Норвегия):  $+2^{\circ}\text{C}$ . Разница достигает почти:  $40^{\circ}\text{C}$ .

Главная причина в **теплоёмкости**. Чтобы нагреть вещество на один градус, требуется энергия:  $Q = c m \Delta T$

где  $Q$  — тепло;  $c$  — теплоёмкость;  $m$  — масса;  
 $\Delta T$  — изменение температуры.

у воды:  $c \approx 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$

у сухого грунта:  $c \approx 800 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$

⇒ вода запасает примерно в 5 раз больше тепла, чем почва той же массы.

### Почему океан сглаживает климат?

Летом океан нагревается медленно, а зимой медленно остывает. Кроме того, перемешиваются десятки и сотни метров воды. Фактически нагревается огромный резервуар.

### Простая оценка

Если летом прогревается 100 м воды или 1–2 м грунта, то запасённое тепло различается на порядки.

⇒ Рядом с океаном температура меняется медленно.



Для оценки континентальности используют годовую амплитуду температуры:

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$$

Чем больше  $\Delta T$ , тем континентальнее климат.

В Якутии годовая амплитуда превышает:  $\Delta T > 80^{\circ}\text{C}$

## Почему Якутия экстремальна?

Якутия находится глубоко внутри материка. До ближайшего океана тысячи километров.

⇒ Нет теплового буфера. Летом суша быстро нагревается. Зимой быстро теряет тепло.

Для измерения континентальности используется индекс континентальности Горчинского:

$$K = 1.7 \frac{A}{\sin \varphi} - 20.4 \quad \text{где} \quad \begin{array}{l} A — \text{годовая амплитуда} \\ \text{средних месячных } T \\ \varphi — \text{широта.} \end{array}$$

Формула показывает, насколько климат отличается от того, каким он был бы рядом с океаном на той же широте



# Мамонты Якутии: вечная мерзлота как машина времени



## Почему якутские мамонты целые, а не просто кости?

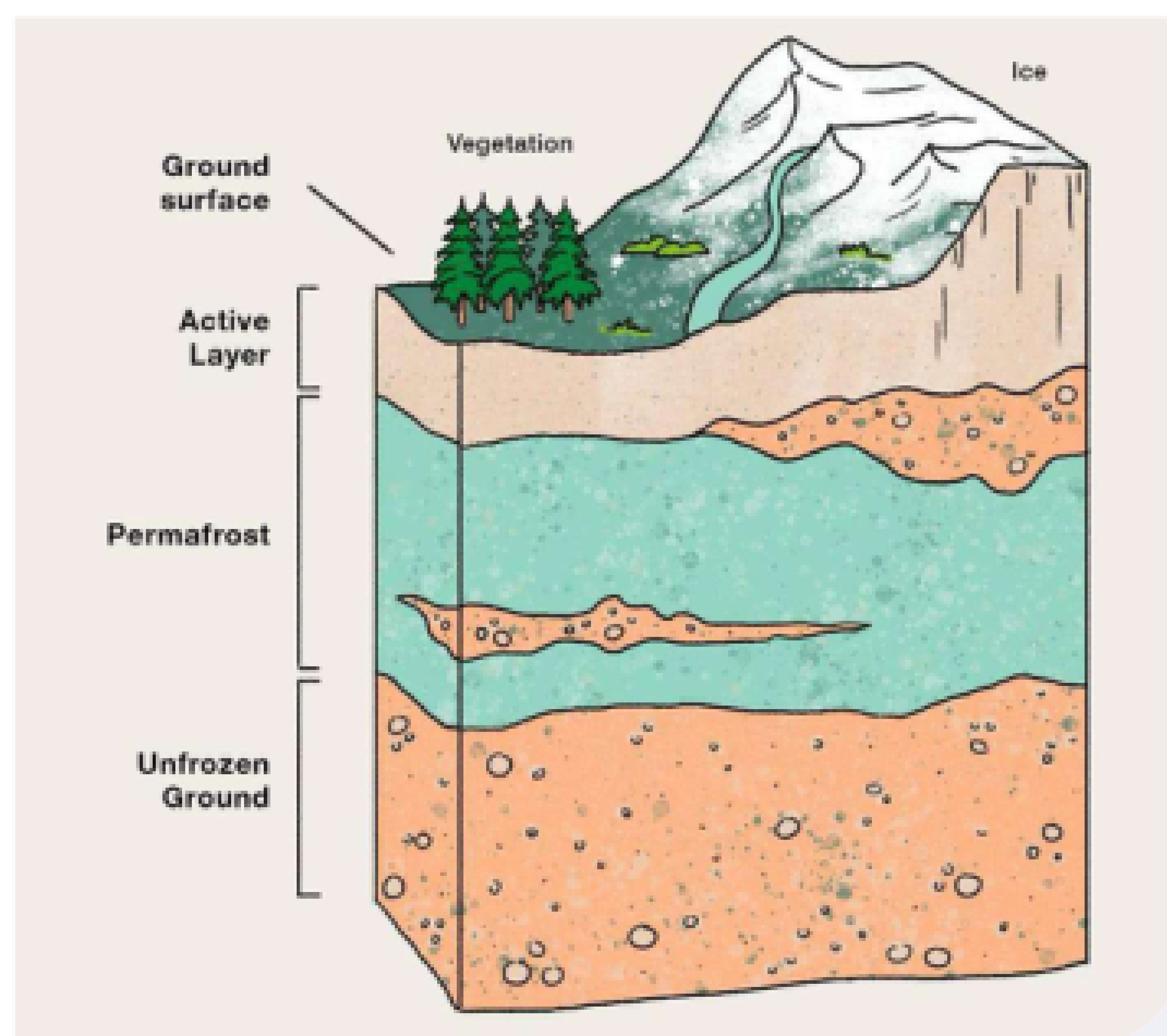
Многим якутским находкам десятки тысяч лет, но они сохранились не только в виде костей, а как настоящие биологические архивы — с кожей, шерстью, мышцами и содержимым желудка.

Постоянный холод, отсутствие кислорода и замедление химических реакций практически останавливают процессы разложения.

$N(t) = N_0 e^{-kt}$  где  $k$  — скорость распада.

$k$  зависит от температуры и на морозе падает в разы — поэтому холод и консервирует ткани.

Верхний слой почвы оттаивает летом и снова замерзает зимой, а ниже располагается **вечная мерзлота**, сохраняющая отрицательную температуру на протяжении тысяч лет.



## ДНК древнего мира

Холод не останавливает разрушение ДНК, но сильно его замедляет. При  $-5^\circ\text{C}$  модель растягивает его до миллионов лет.

Рекордные геномы мамонтов, прочитанные в Якутии, имеют возраст более: **1 млн. лет**

На фотографии Юкагирский мамонт

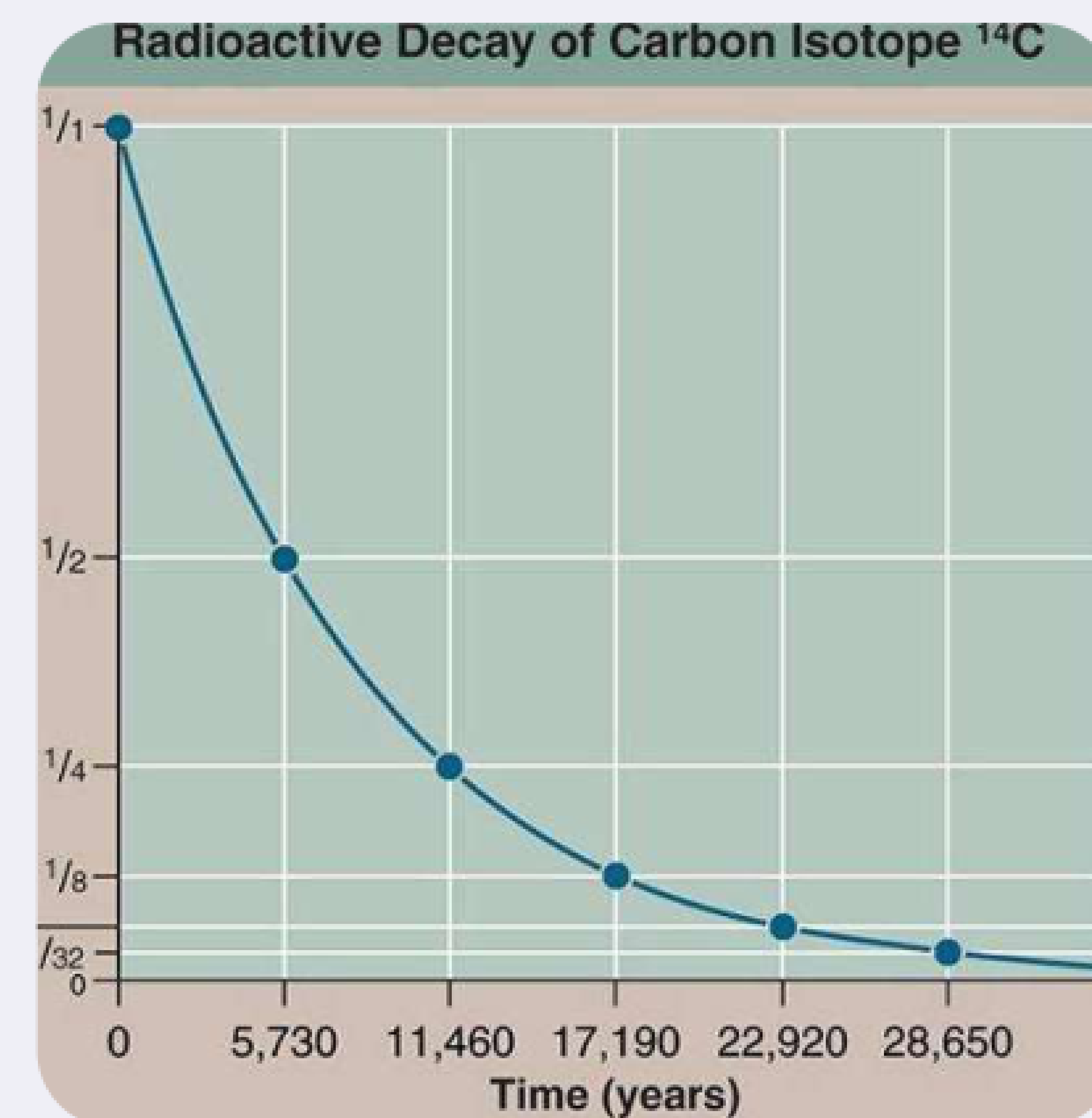
## Как определяют возраст?

Возраст находки чаще всего определяют по остатку радиоуглерода, который постоянно уменьшается.

$$t = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln \left( \frac{N_0}{N} \right)$$

$$T_{1/2}({}^{14}\text{C}) = 5730 \text{ лет}$$

Практический предел метода:  
**≈50000 лет**



# Калининградская область



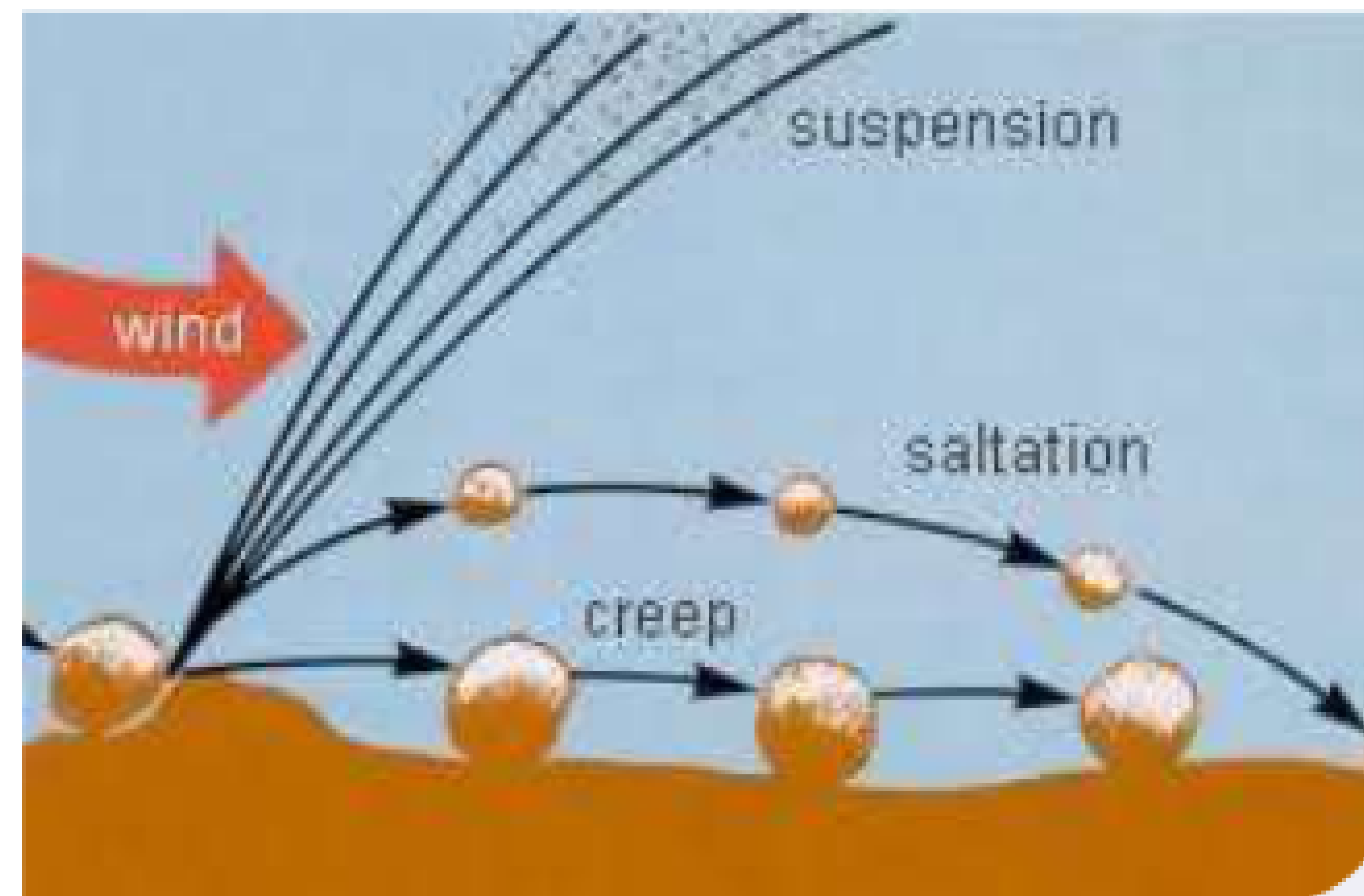
## Почему дюна движется и можно ли это посчитать?

На Куршской косе песок постоянно в движении: под етром он медленно течёт, и дюны смещаются на метры в год. Песок трогается лишь когда ветер переступает **критическое значение**. Эту границу оценивают по формуле Бэгнольда для пороговой динамической скорости:  $u^* \approx 0,1 \cdot \sqrt{(\rho_p - \rho_v)/\rho_v \cdot g \cdot d}$ .

За порогом поток песка растёт как куб динамической скорости:  $q \propto u^{*3}$ . Усилился ветер вдвое (а с ним и  $u^*$ ) — песка переносится в восемь раз больше. Поэтому несколько штормовых дней меняют рельеф косы сильнее, чем месяцы ровного бриза.

Сорванная песчинка летит по короткой баллистической дуге и, падая, выбивает несколько соседних — как первый шар разбивает бильярдную пирамиду.

Эта цепочка ударов-подскоков называется **сальтацией**. Из множества таких скачков складывается движение всей гряды.



## Как научились удерживать песок на месте?

Решений два — инженерное (фашинные клетки) и биологическое (травы).

**Плетёные заборчики-фашины** повышают шероховатость поверхности  $z_0$ . У самой земли скорость падает ниже порога трогания, ветер теряет несомый песок и роняет его прямо у преграды. Так искусственный вал — авандюна — растёт сам собой.

Корневая сетка **песколюба (аммофила)** превращает сыпучий склон в связное тело. Поэтому один шаг по дюне способен разрушить то, что трава строила годами.

# Калининградская область

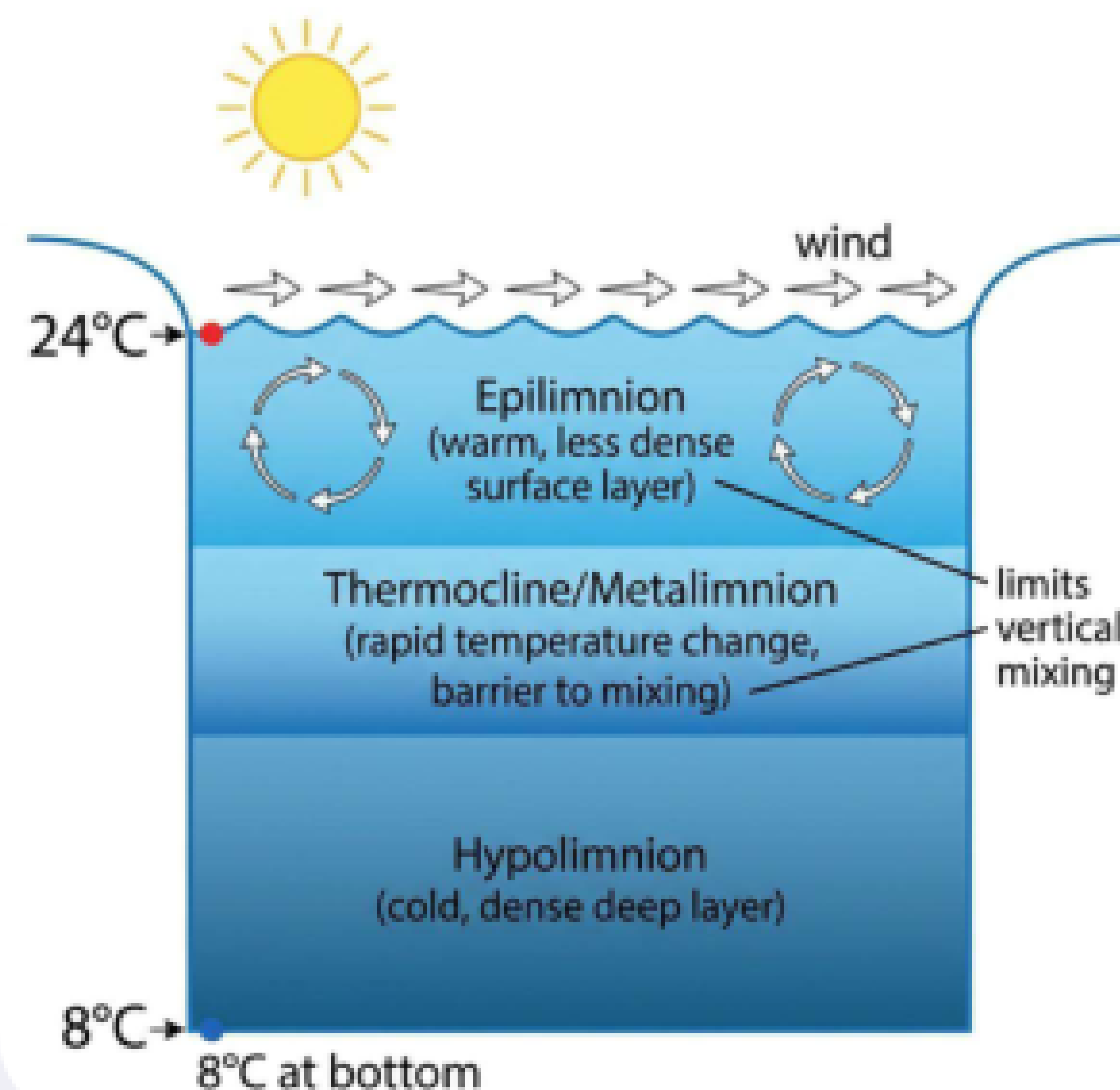


## Как озеро делится на «этажи»?

Летом Солнце прогревает только верхушку. Возникают три слоя: тёплый перемешанный **эпилимнион** (18–22 °С), холодный **гиполимнион** у дна (~4–6 °С) и тонкая прослойка между ними — **термоклин**, где температура падает примерно на градус с каждым метром.

Разница плотностей тёплой и холодной воды всего ~2 кг/м³, но и этого хватает, чтобы слои не смешивались: ветру энергетически «дорого» поднимать тяжёлую воду наверх.

Дважды в год озеро «переворачивается»: осенью поверхность остывает до +4 °С, тяжелеет, тонет и перемешивает всю толщу, насыщая дно кислородом; то же повторяется весной. Такие озёра называют **димиктическими**.



Устойчивость термоклина измеряют частотой Брюнта–Вайсяля:

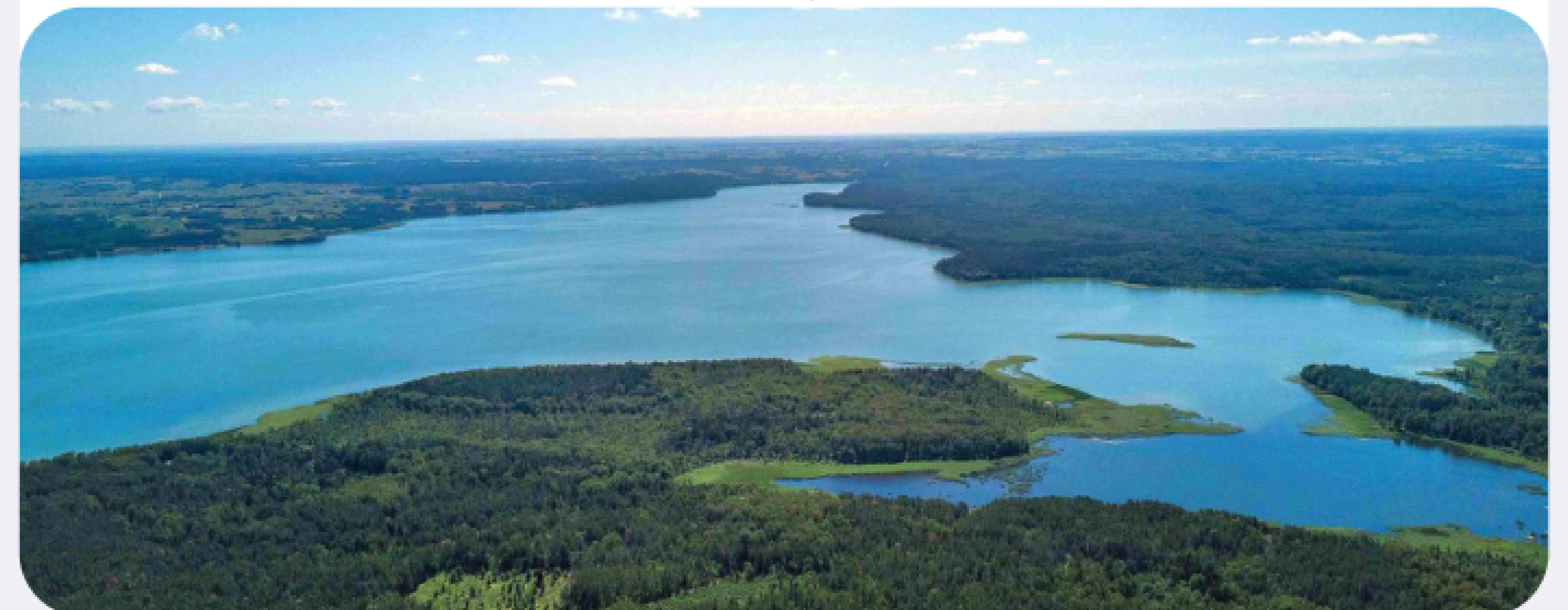
$$N = \sqrt{-\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz}}$$

чем резче скачок плотности, тем быстрее «качаются» внутренние волны на границе слоёв.

## Почему озеро Виштынец называют Балтийским Байкалом?

Озеро Виштынец возникло после отступления ледника и оказалось старше современного Балтийского моря. Большая глубина, чистая вода и низкое содержание питательных веществ делают его типичным олиготрофным озером, где сформировались **особые водные экосистемы**.

Почти все жидкости при нагреве расширяются и становятся легче. Вода — редкое исключение: плотнее всего она не при 0 °С, а при +3,98 °С. Вблизи этой точки плотность хорошо описывается параболой:  $\rho(T) \approx \rho_0 \cdot [1 - \beta \cdot (T - 4)^2]$ ,  $\beta \approx 7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ . И выше, и ниже **+4 °С** вода легче и всплывает, поэтому самая тяжёлая вода всегда тонет и копится у дна.



# Скрытая математика в природе



## Почему размер меняет устройство организма?

Живой организм нельзя просто увеличить.

Кислород для обмена веществ поступает через поверхность — стенки альвеол и капилляров, а питать нужно весь объём тела.

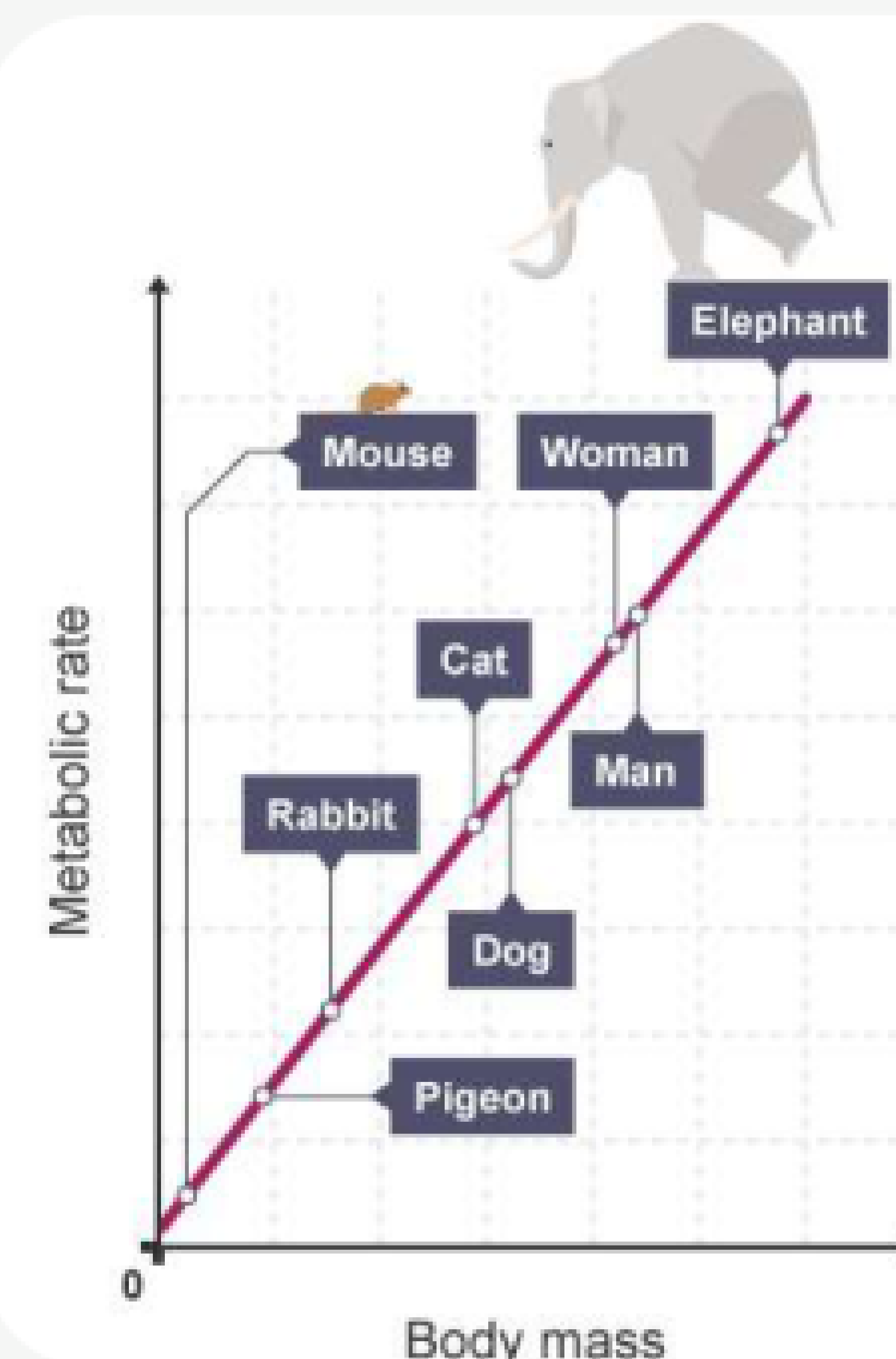
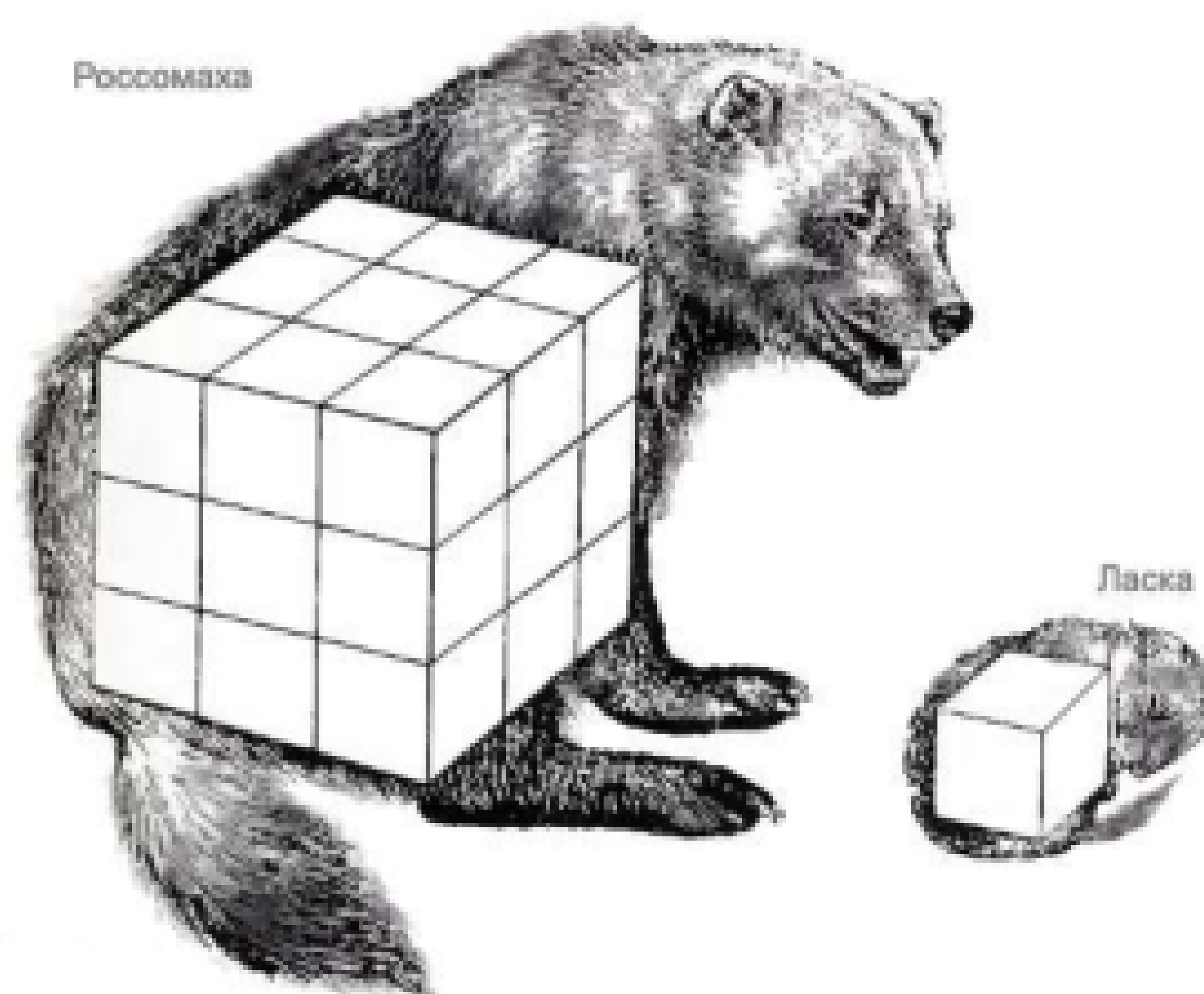
Оценим мощность обмена веществ **B** через линейный размер животного **L**:

- площадь газообмена легких будет пропорциональна квадрату **L**, если считать их гладкими:  $S_L \sim L^2$
- масса тела, которую необходимо питать, пропорциональна объёму:  $M \sim L^3$
- обмен веществ напрямую зависит от внутренней площади легких:  $B \sim S_L$

Получающаяся пропорциональность:

$$B \sim S_L \sim L^2 \sim M^{2/3}$$

Это означает, что слон расходует намного больше энергии, чем мышь, но значительно меньше, чем ожидалось бы при простом масштабировании.



## Другая зависимость

Из соображений размерности слева вышло  $2/3$ . Но экспериментальные данные — от мыши до слона — в среднем ложатся на другой степенной закон:

$$B \sim M^{3/4}$$

(закон Клайбера–Горшкова)

Обмен растёт быстрее, чем  $2/3$ . Откуда «лишнее»? Почти наверняка — в фрактальном устройстве доставки.

## Что общего у дерева, облака и берега?

Их форму не описать привычной геометрией: размерность фрактала **дробная** — она показывает, насколько плотно структура заполняет пространство.

$$N(r) \sim r^{-D}$$

Сеть сосудов и бронхов — такой же фрактал: ветвится и почти заполняет объём тела. Её измеренная размерность  $\approx 2,7-2,9$  — между плоскостью (2) и объёмом (3).

Эта «почти-объёмность» и даёт  **$3/4$**

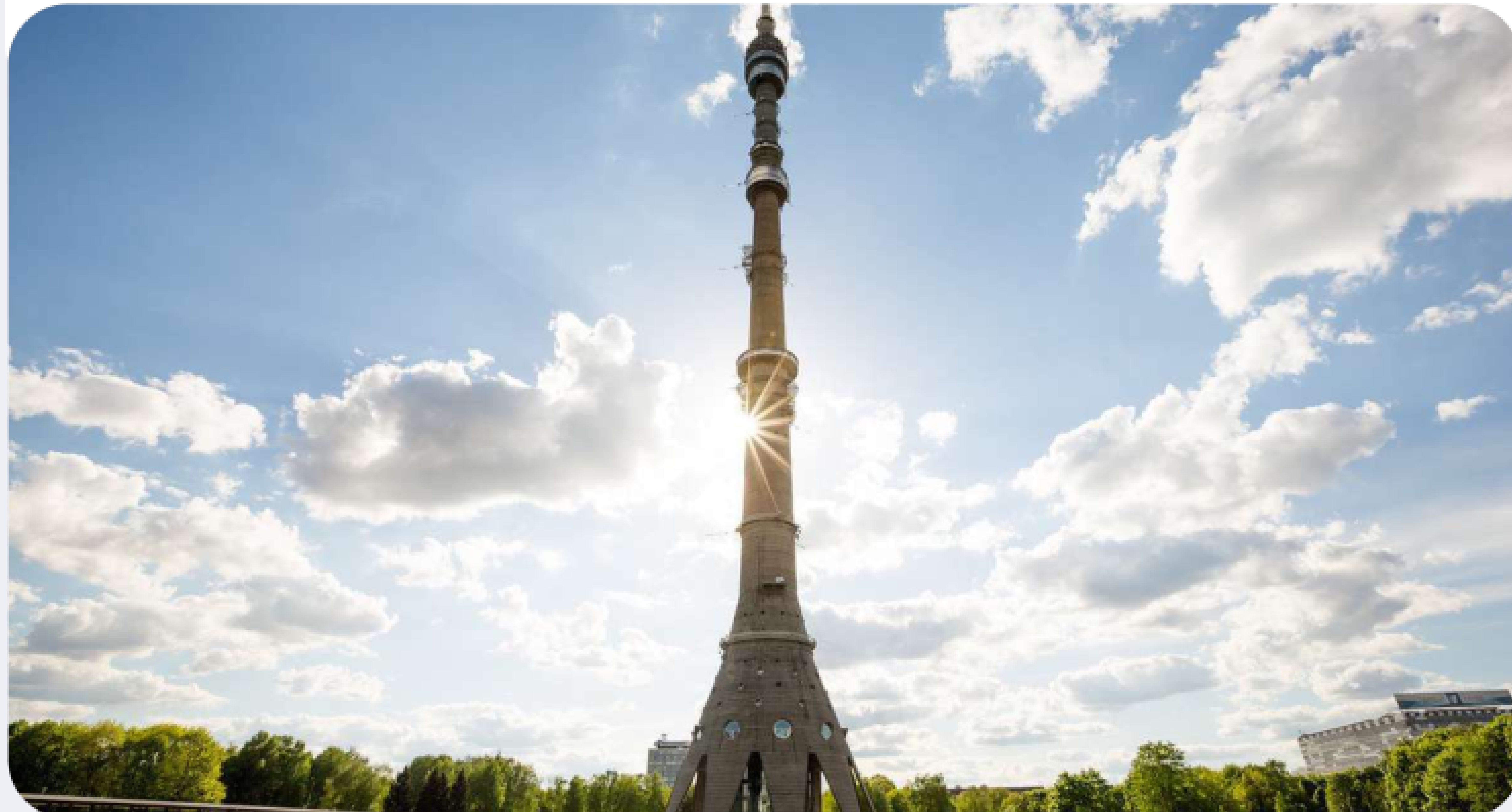
# Московская область



## Почему Останкинская башня такая высокая?

Радиоволны отражаются от атмосферы и от поверхности Земли, поэтому радио ловит сигнал даже за горизонтом. Телесигнал распространяется волнами другой частоты — они проходят сквозь ионизированные облака и могут дойти до приёмника только по прямой.

Поэтому Останкинскую башню сделали такой высокой: с её вершины сигнал перешагивает крыши.



## Почему башни Москва-Сити качаются и не падают?

Башни Москва-Сити качаются, но не падают. Высотки всегда отклоняются под ветром — это нормально и просчитано инженерами. В железобетоне бетон работает на сжатие, а стальная арматура внутри — на растяжение и изгиб; вместе они дают упругий каркас, который гнётся, но не ломается.

Деформации описываются **законом Гука**. Отдельно инженеры считают собственные частоты башни — чтобы ветер не раскачал её в резонанс.



# Нижегородская область



## Почему закат окрашивается в красный?

Когда Солнце высоко над горизонтом, его свет проходит через сравнительно тонкий слой атмосферы, и короткие синие лучи рассеиваются сильнее остальных — поэтому небо кажется голубым.

На закате путь света через атмосферу становится длиннее: синие и зелёные лучи рассеиваются, а до наблюдателя доходят главным образом жёлтые, оранжевые и красные оттенки. Это явление называется **рэлеевским рассеянием**



## Почему видимый диск Солнца бывает не круглым?

У горизонта солнечный диск нередко выглядит сплюснутым по вертикали. Это связано не с формой Солнца, а с **атмосферной рефракцией** — в плотных нижних слоях атмосферы свет распространяется медленнее и постепенно искривляется, из-за чего изображение Солнца искажается.



# Чеченская Республика

## Откуда в горах берётся река?

В горах вода определяет, где могут появиться селения, пастбища и дороги. Древний Хой расположен над ущельем реки Ахкете, а неподалёку озеро Кезеной-Ам собирает воду с окружающих склонов. Но где начинается река?

Посмотрите на склоны вокруг озера. Даже в сухую погоду на них видны ложбины, сходящиеся книзу. Во время дождя и таяния снега по ним бегут струйки. Они соединяются в ручьи, а ручьи в небольшие горные реки. Две такие реки, **Харсум** и **Кауха**, впадают в **Кезеной-Ам**.

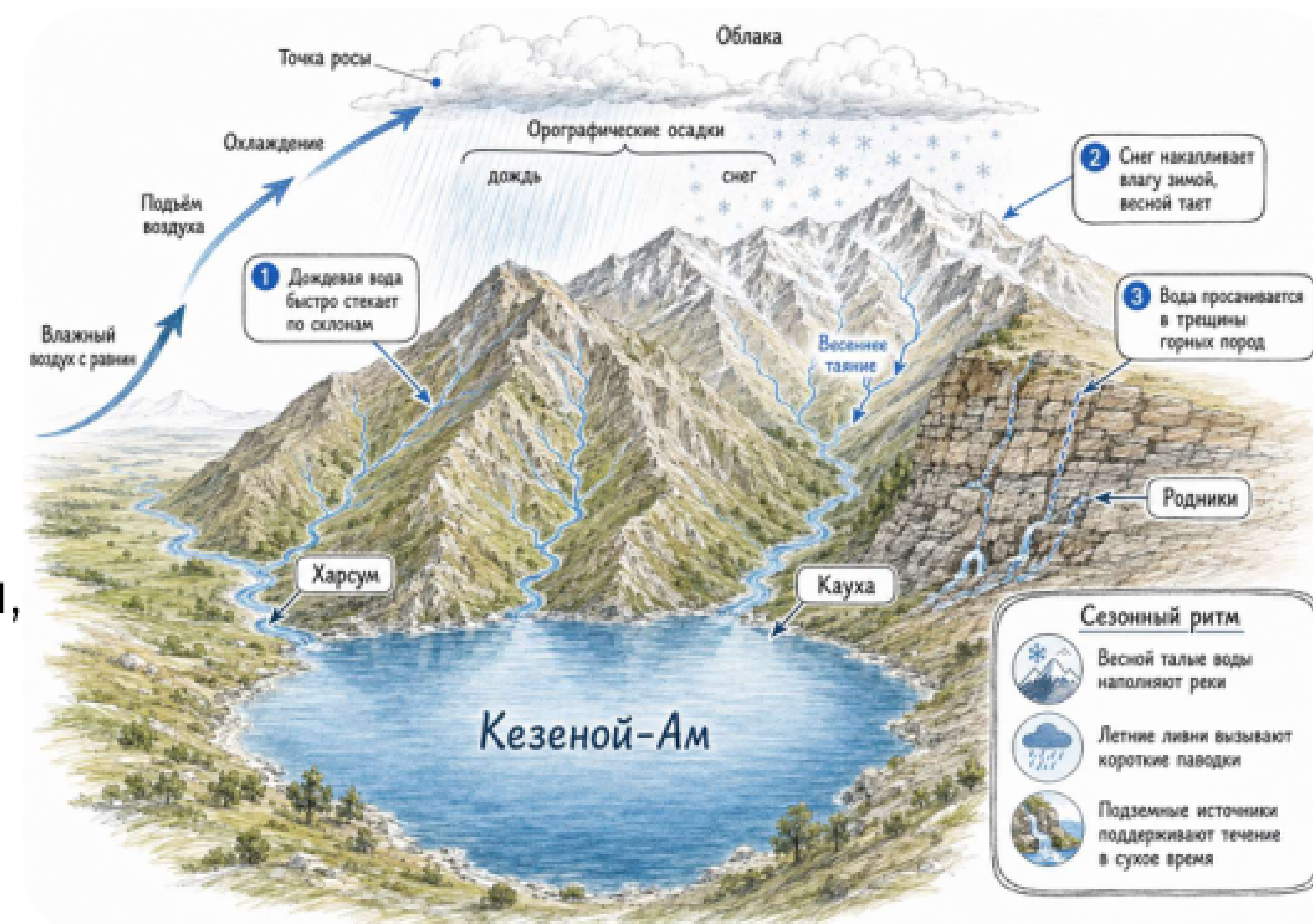
**Река начинается еще в атмосфере**, когда влажный воздух с равнин, встречая горы, поднимается вверх, расширяется и охлаждается. Достигнув точки росы, он образует облака, и на склоны выпадают дождь и снег. Такие осадки называют **орографическими**.

**Питание горных рек** обычно смешанное. Дождевая вода может сразу стекать по склонам. Снег накапливает влагу на зиму и отдаёт её во время таяния. Часть воды просачивается в трещины горных пород и позже выходит на поверхность родниками.

В окрестностях Кезеной-Ама особенно важен **снег**. Весной талые воды наполняют реки, **летние ливни** вызывают короткие паводки, а **подземные источники** поддерживают течение в более сухое время.

Для Чеченской Республики реки **Харсум** и **Кауха** — это небольшие водотоки, но для самого озера они особенно важны: это его основные поверхностные притоки.

История Харсума и Каухи необычна. Когда-то обвал перегородил их долины естественной каменной плотиной. Вода стала накапливаться за преградой и возникло озеро Кезеной-Ам. Дальше вода просачивается через плотину и выходит на поверхность источниками, продолжая путь в сторону реки Ахкете, протекающей у Хоя.

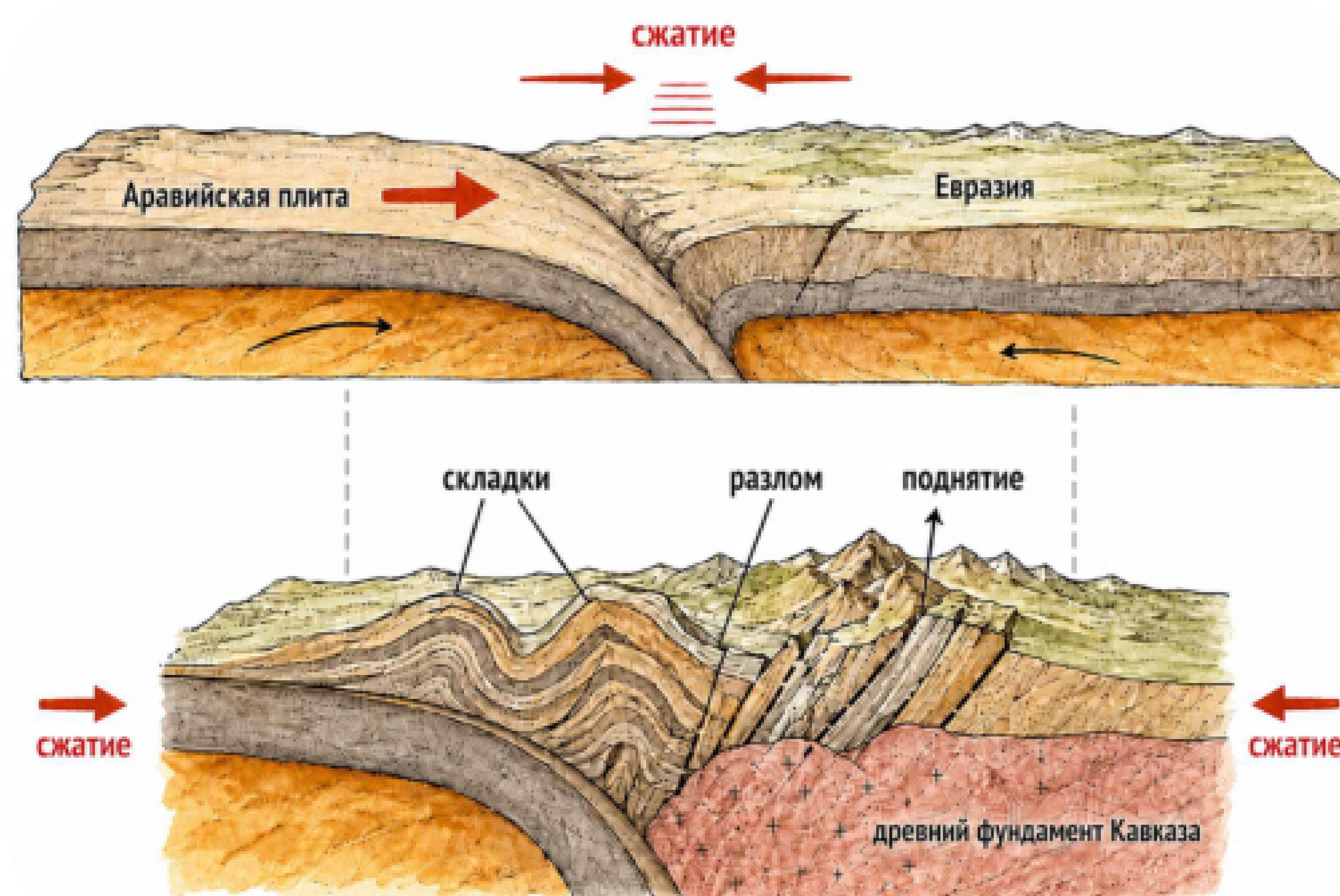


## Почему Кавказ продолжает расти?

В горной Чечне рельеф всегда задавал направление движения. Дороги шли не по прямой, а вдоль речных долин, через ущелья, седловины и перевалы. Поселения возникали там, где находились более пологие и защищённые участки.

Посмотрите на хребты вокруг Кезеной-Ама. Озеро лежит на южном склоне **Андийского хребта** — одной из горных цепей **Большого Кавказа**. Пейзаж кажется неподвижным, но его форма постоянно меняется: земная кора поднимает горы, а вода, мороз и сила тяжести разрушают их.

Наружная твёрдая оболочка Земли — **литосфера** — разделена на крупные плиты. К югу от Кавказа **Аравийская плита** движется на север и давит на Евразию.



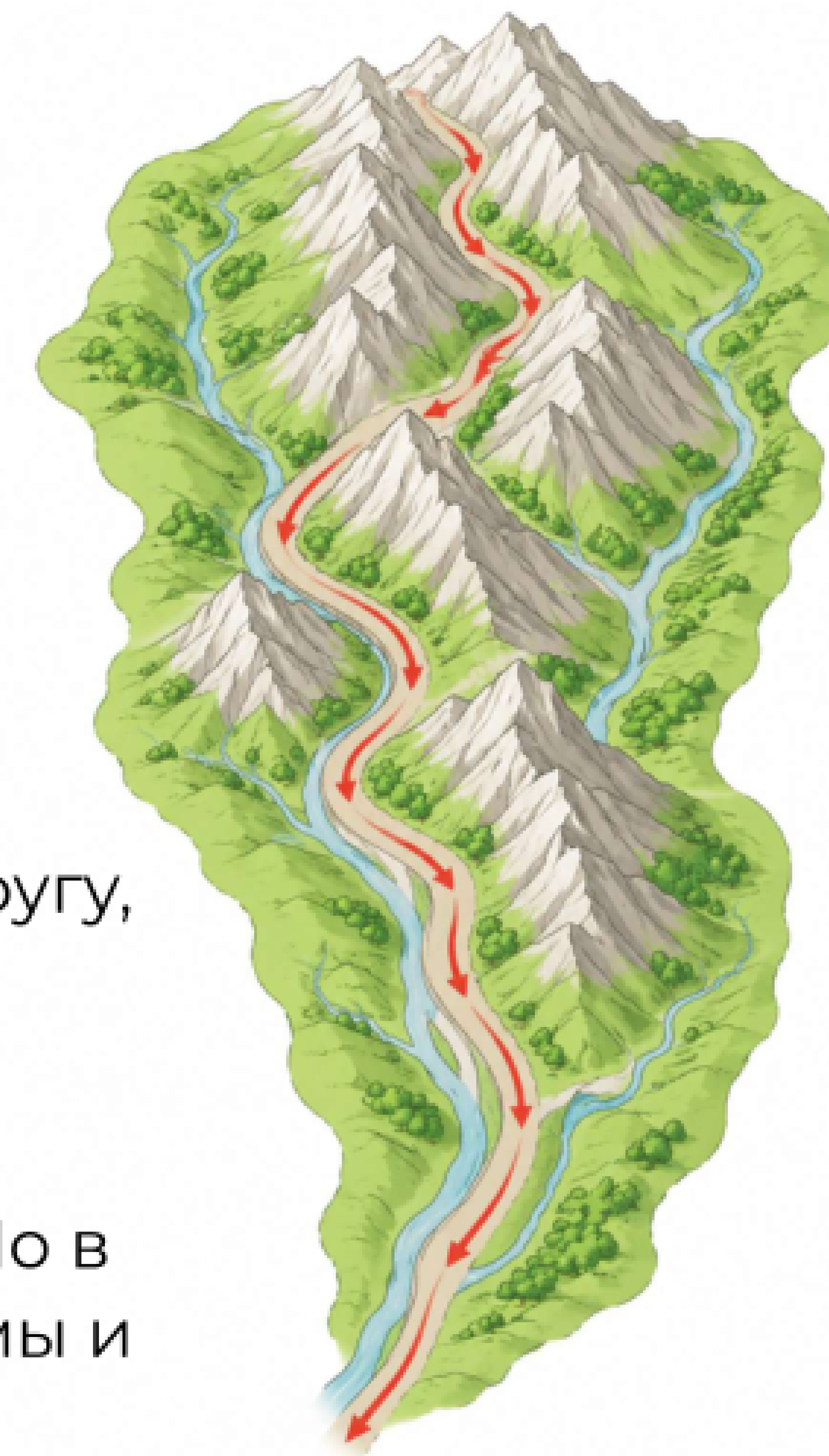
Между ними земная кора сжимается и утолщается. Слои горных пород **изгибаются в складки**, раскалываются, а вдоль разломов одни блоки надвигаются на другие. Так породы постепенно оказываются на большой высоте.

Этот процесс можно сравнить со складкой на ковре: если медленно сдвигать его края навстречу друг другу, ковёр начнёт собираться в приподнятые складки. Похожим образом при сжатии земной коры поднимаются слои горных пород. Но в земной коре ещё возникают разломы и надвиги.

### От чего зависит высота?

Форму гор создают сразу две противоположные силы. Тектоническое сжатие поднимает и утолщает земную кору, а выветривание, реки и обвалы постепенно снижают хребты. Высота гор зависит от того, какой из процессов в данный период идёт быстрее.

Самая высокая точка Чеченской Республики — **гора Тебулосмта** высотой около **4492 метров**.





ЦЕНТР  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОГО  
ТУРИЗМА  
УНИВЕРСИТЕТА ИННОПОЛИС

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**