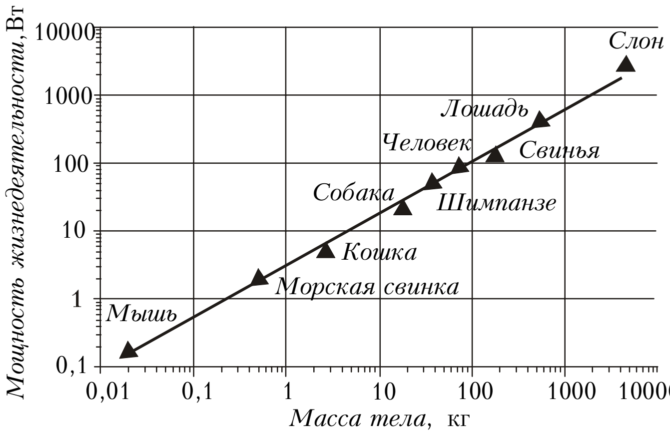
деятельности составляет около 80 Вт (это мощность, которую человек затрачивает в состоянии, близком к покою, а при предельных нагрузках затрачиваемая мощность существенно больше – до 10 кВт, например, при спринтерском беге).

Как можно «использовать» величину мощности жизнедеятельности (или, иначе, мощности метаболизма) человека 80 Вт? Если умножить ее на продолжительность суток (86400 с), то можно получить мини-



Кривая «От мыши до слона»

мальное потребляемое человеком суточное количество энергии – около 7 МДж, или 1800 ккал. Как вы помните, близкую к этому значению энергию человек должен ежедневно получать с пищей. Далее, если поделить 80 Вт на эффективную площадь, занимаемую человеком, $S \approx L^2$ (где $L \approx (m/\rho)^{1/3}$ – характерный размер, $\rho \approx 1000$ кг/м^3 – плотность человека), то можно получить удельную мощность, потребляемую человеком: около 500 Вт/м^2. Более точные оценки приводят к величине 1000 Вт/м^2 или даже несколько большей.

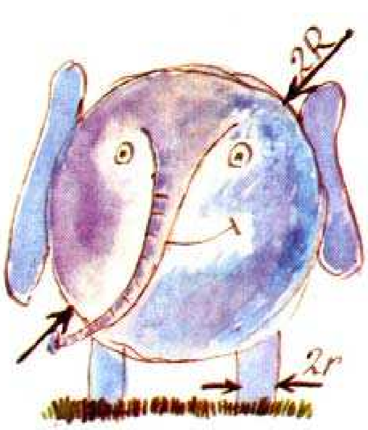
Сравнение мощностей, развиваемых растениями (1 Вт/м^2) и животными (1000 Вт/м^2), позволяет сделать вывод, что питание животных за счет продуктов жизнедеятельности растений делает необходимым их передвижение в поисках пищи (площадь, которую животное должно обойти в течение дня, на несколько порядков превышает эффективную площадь, занимаемую им самим). Этот вывод называется *законом необходимости передвижения животных*. Следует отметить, что растительноядные животные по численности преобладают. Очевидно, что плотоядные животные, питающиеся другими животными, должны двигаться быстрее, чем растительноядные, по крайней мере в моменты охоты.

Ограничения на размеры и массу животных

При увеличении размеров животного – для простоты представим его в виде шара радиусом R, стоящего на ногах длиной R и радиусом каждой ноги r, – его масса растет пропорционально R^3, а площадь ног – пропорционально r^2. Казалось бы, с ростом R давление на ноги $p \sim R^3/r^2$ может превысить допустимое, и придется ноги утолщать. А когда толщина станет сравнимой с размером животного ($r \sim R$), размеры живых существ достигнут предела. Однако измеренное допустимое давление в опорных частях животных довольно велико, так что если бы предел на максимальные размеры животных определялся прочностью, масса животного могла быть более тысячи тонн.

В поисках других ограничений снова обратимся к тому, что живые существа в процессе жизнедеятельности обязаны вырабатывать определенное количество энергии. Приведем выражение для упомянутой выше кривой «От мыши до слона» – зависимости мощности жизнедеятельности P (Вт) от массы животного m (кг):

$$P \approx 3m^{0,75}.$$



Такую тепловую мощность нужно отводить через поверхность тела площадью S. Поскольку S пропорциональна квадрату линейных размеров, т.е. $m^{2/3}$, может оказаться, что при большой массе тела отвести тепло будет затруднительно. Проделаем соответствующие оценки. Животное массой 100–200 т имеет объем 100–200 м^3 и поверхность тела $100-160$ м^2. Примем, согласно В.Г.Горшкову, что максимально возможная удельная мощность отвода тепла при испарении с поверхности составляет около 200 Вт/м^2. Тогда через указанную поверхность тела можно отвести 20–30 кВт тепла. Скорость же производства тепла P составляет 17–28 кВт. Видно, что животные с большой массой по возможности отвода тепла находятся уже вблизи предела. Тем более что при быстром передвижении они затрачивают еще большую мощность.

Отметим, что как современные, так и, скорее всего, доисторические гиганты животного мира – теплокровные животные. Это означает, что температура их тела выше температуры окружающей среды, и они могут сохранять примерно постоянную температуру в течение длительного времени.

Некоторым аргументом в пользу этого может служить оценка характерного времени τ остывания тела животного. Считая, как и раньше, что оно представляет собой шар радиусом R, получим

$$\tau \sim \frac{CR^2}{\chi},$$

где $C = \pi^{-2} \approx 0{,}1$ – коэффициент, связанный со сферической геометрией задачи, $\chi \approx 1{,}4 \cdot 10^{-7}$ м^2/с – температуропроводность воды (напомним, что тела животных из воды в основном и состоят). Отсюда следует, что, например, для человека массой $m = 80$ кг и эффективным радиусом $R_{\text{эф}} = (3m/(4\pi\rho))^{1/3} \approx 0{,}27$ м характерное время остывания составляет $\tau \sim 5 \cdot 10^4$ с (около 0,6 суток). При радиусе $R_{\text{эф}} \sim 0{,}5$ м и, соответственно, массе около 1 т (морж, бизон, носорог) $\tau \sim 1{,}8 \cdot 10^5$ с (около 2 суток). Наконец, для крупнейшего из животных массой 200 т (такого,