



НАУЧНАЯ ТРОПА ИННОПОЛИСА

Почему с высоты видно дальше?

Почему с высоты видно дальше?

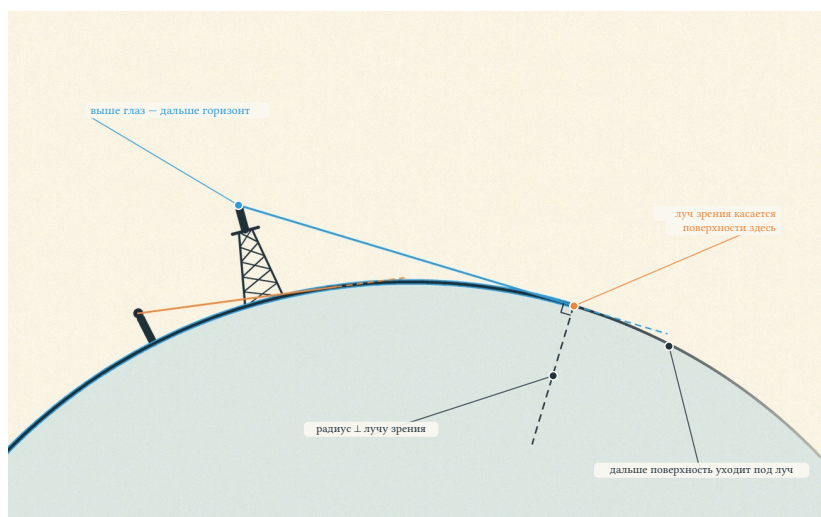


Рис. 1. Горизонт — касательная к шару Земли: радиус в точке касания перпендикулярен лучу зрения.

Почему с балкона девятого этажа видно дальше, чем со двора, а с самолёта — дальше, чем с балкона? Земля — шарообразная, и её поверхность изгибается. Чем выше глаз наблюдателя, тем больше удалённых её участков остаётся в пределах прямой видимости; всё, что лежит дальше, скрыто за выпуклостью шара. Эта граница видимости и называется горизонтом. Со ста семнадцати метров над окружающей равниной она проходит примерно в 38 километрах от точки наблюдения — именно это, геометрически идеальное, расстояние выгравировано на шкале топоскопа. В живом воздухе видно немного дальше, около 42 километров; откуда берётся прибавка — на уровне «Глубже».

Откуда берётся 38 километров

Сначала представим Землю как идеальный шар, а наблюдение — как геометрически «чистую» задачу: никакие препятствия, атмосфера или искажения света не мешают, а видимость определяется только формой поверхности.

Геометрия задачи. Наблюдатель находится на высоте h над поверхностью. Самая дальняя видимая точка лежит там, где поверхность Земли «уходит из-под взгляда» — то есть в точке касания. Соединим три точки: центр Земли, точку касания и точку наблюдателя. Получается треугольник со сторонами R , d и $R + h$. Радиус всегда перпендикулярен касательной — значит, треугольник прямоугольный, и прямой угол приходится на точку касания.

Расчёт. По теореме Пифагора

$$d^2 = (R + h)^2 - R^2 = 2Rh + h^2.$$

модель

При h порядка сотен метров и $R = 6371$ км слагаемое h^2 на много порядков меньше произведения $2Rh$, и им можно пренебречь. После подстановки радиуса и приведения единиц остаётся удобная формула (здесь d в километрах, h в метрах):

$$d \approx 3,57 \sqrt{h}.$$

оценка порядка

При $h = 117$ м (высота точки наблюдения над окружающей равниной, на которой расположен Приют №5) она даёт $d \approx 38,6$ км.

Поправка на воздух. В реальности видимость заметно превышает геометрическую: эмпирический коэффициент ближе к 3,86, и те же 117 метров дают уже около 42 километров.¹ Воздух у поверхности плотнее, чем в верхних слоях; показатель преломления плавно убывает с высотой, и горизонтальный световой луч в таком градиенте слабо искривляется вниз. Геометрически это означает, что луч огибает не реальную Землю, а воображаемый шар большего радиуса. Эффект называется атмосферной рефракцией и меняется с температурой и давлением воздуха.

Где работает та же формула. Через $\sqrt{2Rh}$ рассчитывают радиогоризонт антенн связи и радиолокаторов, дальность видимости огней маяков с моря, расстояние, на котором с борта самолёта на крейсерской высоте десять километров земная поверхность ещё различима — около 360 километров.

Если смотреть не на землю, а на предмет высотой h_2 , горизонты складываются: предмет виден, пока он не дальше $d \approx 3,57 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$ километров¹. Огонь маяка высотой 50 м виден с палубы (глаз на 5 м) на расстоянии $3,57 (7,07 + 2,24) \approx 33$ км, хотя сам горизонт с палубы лежит всего в 8 км.

¹Геометрический коэффициент 3,57 и эмпирический 3,86 (при h в метрах и d в километрах), а также модель эффективного радиуса $\frac{7}{6}R$ — Horizon. Distance to the horizon.