НАУЧНАЯ ТРОПА ИННОПОЛИСА

Откуда берётся туман?

Ранним утром вдоль реки часто можно увидеть белёсую пелену. Та же картина возникает осенью в низинах: видимость падает до нескольких десятков метров, а контуры деревьев полностью растворяются. Почему воздух становится непрозрачным?

Рис. 1. Утренний туман над рекой Ходдер: пелена лежит в долине, дальние деревья растворяются в белом. Фото: Chris Heaton, CC BY-SA 2.0, Wikimedia Commons.

Невидимый газ и белая пелена

В атмосфере всегда есть водяной пар — и он невидим. Для каждой температуры существует своё равновесное давление пара: то, при котором испарение и конденсация идут вровень и вода с паром сосуществуют. Работает простое правило — эта величина удваивается примерно на каждые 10 градусов (6,1 гПа при 0 °C, 12,3 гПа при +10 °C, 23,4 гПа при +20 °C).

Дальше начинается главное. Когда воздух остывает, пара в нём остаётся ровно столько же — а равновесное давление едет вниз. Рано или поздно они встречаются, и с этого момента пар готов превращаться в воду.

Готов — но сам по себе не может: капле нужно с чего-то начаться. Конденсация идёт не в пустоте, а на микроскопических частицах аэрозоля: кристалликах морской соли, органике, продуктах горения. Годятся не все — из десятков тысяч частиц

в кубическом сантиметре в капли вырастают сотни, самые подходящие по размеру и составу.

Свет, проходя сквозь такую взвесь, рассеивается на каплях во все стороны. Капли намного крупнее длины световой волны, поэтому рассеивают все цвета одинаково — туман выходит молочно-белым. Небо синее по обратной причине: там свет рассеивается на молекулах азота и кислорода, которые намного мельче длины волны, и синему достаётся сильнее всех.

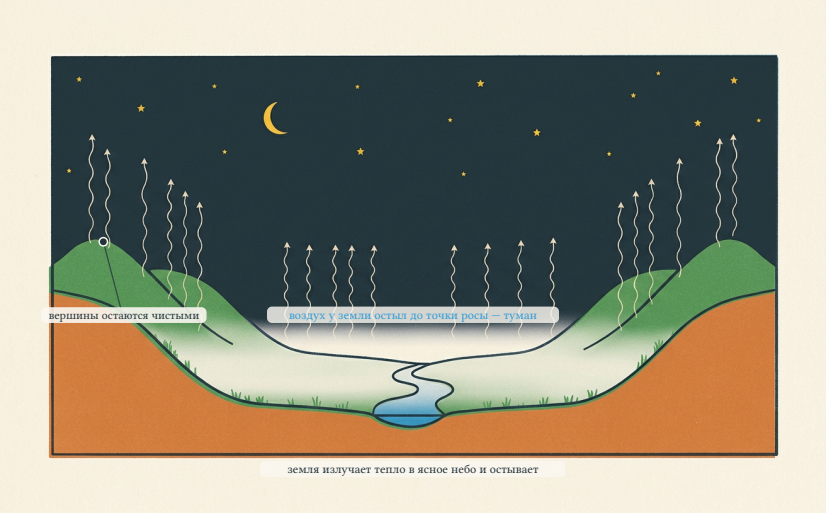

Рис. 2. Радиационный туман: ясной ночью земля остывает, охлаждает прилегающий воздух, и пар в нём достигает насыщения. Туман растёт от земли вверх. Схема.

Два способа достичь насыщения

Температуру, до которой нужно охладить воздух, чтобы он достиг насыщения — при неизменном давлении и неизменном содержании влаги, — называют точкой росы. Ниже нуля говорят о точке инея. Достичь её можно двумя путями, и по ним удобно разделить все туманы.

Охлаждение. В ясные ночи земля излучает тепло в небо и остывает сама. Холодный воздух плотнее, он стекает по склонам и скапливается в низинах — потому туман и любит долины.

Но одного холода мало, нужен ещё и ветер, причём строго определённый. В полный штиль остывает лишь тонкая приземная плёнка воздуха: выпадает роса или иней, а тумана нет. Лёгкий ветерок 0,5–2 м/с разносит охлаждение вверх на десятки метров — и туман набирает толщину. Ветер сильнее 3 м/с подмешивает сверху сухой воздух и всё разрушает. Так возникает радиационный туман. Восход он обычно переживает и в первые полчаса даже густеет, пока лучи не прогреют землю.

Самый масштабный вид — адвективный туман: тёплый влажный воздух накатывает на холодную сушу или море. В отличие от радиационного, солнце его не разгоняет, и держаться он может сутками.

Смешение. Второй путь короче: смешать две порции влажного воздуха разной температуры. Смесь может оказаться пересыщенной, даже если ни одна из порций такой не была, — почему так выходит, разбирается на втором уровне.

Так работает туман испарения. Осенью и зимой, когда река ещё хранит летнее тепло, а воздух уже выстыл, над водой поднимается парение — это он в чистом виде. Летним утром у реки обычно действуют оба механизма сразу: в долину натекает холодный воздух со склонов, и к радиационному туману добавляется испарение с тёплой воды.

Рис. 3. Два способа достичь насыщения: добавить в воздух пара — так парит тёплая река холодным утром — или охладить сам воздух, как при адвективном тумане. Схема.

Где работает та же физика

То, что мы в быту называем «паром» над чашкой чая или дыханием на морозе, — это уже не пар, а капельки тумана смешения. Настоящий пар невидим.

Облако в небе состоит из тех же капель (или кристаллов льда), но охлаждается иначе — за счёт расширения воздуха при подъёме. До высоты, где начинается конденсация, воздух остывает примерно на 10 градусов на километр; выше — вдвое медленнее, потому что выделяющаяся при конденсации скрытая теплота подогревает его изнутри. Эту высоту называют уровнем конденсации: по ней и выстраивается ровное плоское основание облаков над хребтом.

Исчезает туман тоже красиво: солнце нагревает не сам воздух, а землю. Тепловой поток от поверхности разрушает туман снизу, слой приподнимается и превращается в низкую слоистую облачность.