

Турбулентность, Динамика Атмосферы и Климата

**О точности выполнения статистического уравнения
Колмогорова для случайных движений для
описания природных явлений.**

Г. С. Голицын

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова,
Российская академия наук

19 ноября 2024, г. Москва

The aim of the science is to find of view from which the problem can be solved most simply and naturally.

J. W. Gibbs.

Случайность – необходимый, если не важнейший элемент мироздания, но в ней есть определенный порядок, ведущий к конкретным, часто устойчивым структурам. Устойчивость ограничена во времени и пространстве, которые свои в конкретных ситуациях.

А. Н. Колмогоров

Уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова для плотности вероятности

$$p(t, u_i, x_i)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} = D \frac{\partial^2 p}{\partial u_i^2} \quad (1)$$

$$p(t, u_i, x_i) = \left(\frac{\sqrt{3}}{2\pi Dt} \right)^3 \exp \left[- \left(\frac{u_i^2}{Dt} - \frac{3u_i x_i}{Dt^2} + \frac{3x_i^2}{Dt^3} \right) \right],$$

Монин, Яглом 1967 (24, §24.4)

А. М. Обухов 1959, $D = \frac{\varepsilon}{2}$ – скорость генерации/диссипации энергии

и три вторых момента

$$\langle u_i^2(t) \rangle = C_e \varepsilon t \quad \langle u_i x_i \rangle = \varepsilon t^2 \quad \langle x_i^2(t) \rangle = C_s \varepsilon t^3 = r^2 \equiv S$$

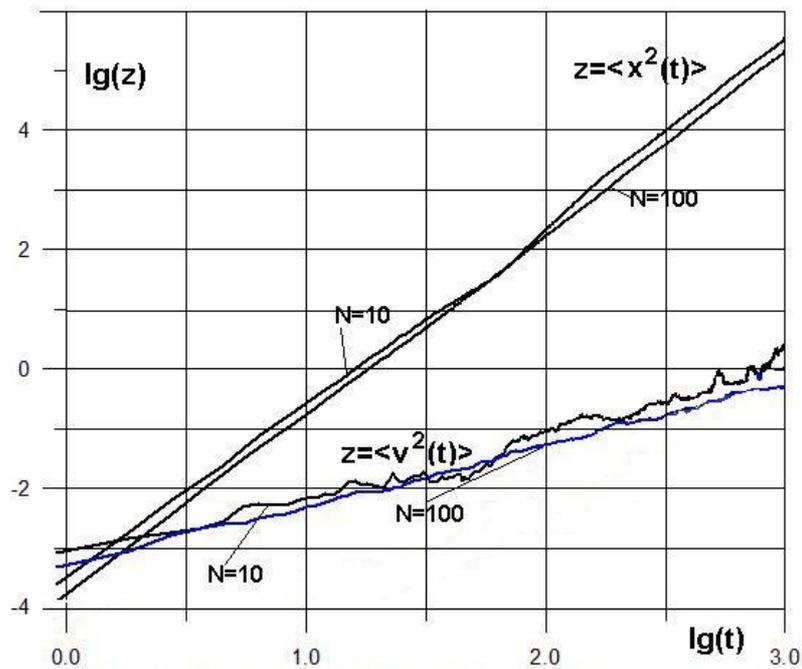
скорости и расстояния между частицами ансамбля,

ускорения $a(t)$ частиц марковские,

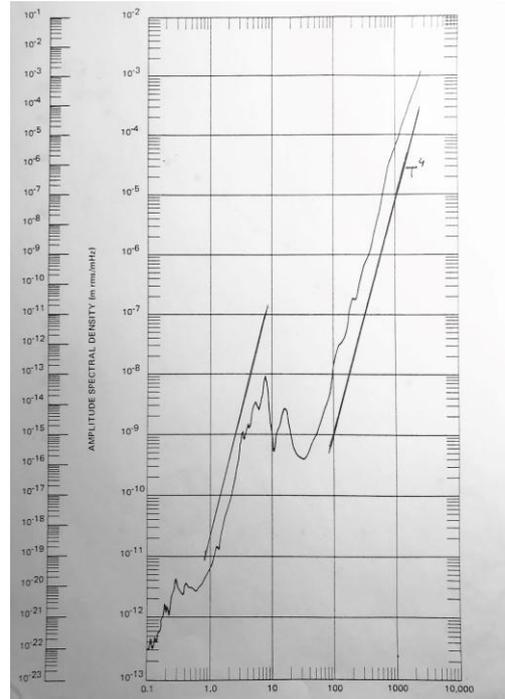
т. е. дельта-коррелированы по времени и между собой.

Квадрат скорости – энергия на единицу массы: $\langle u^2(t) \rangle = E(t)$

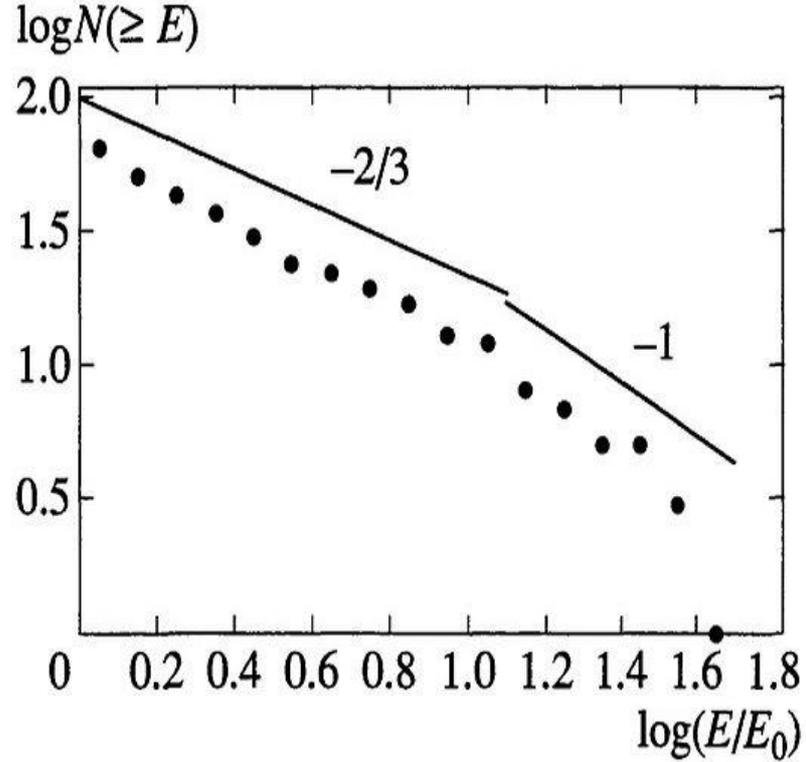
Общеизвестное правило: крупные неприятности гораздо реже мелких



Вторые моменты функции распределения А. Н. Колмогорова



Спектр микросейсм в интервале периодов от 0.1 до 2400 секунд; спектр приборя в секундах.



Зависимость кумулятивного числа звездных вспышек от их энергии.

Распределение числа частиц, событий в ансамбле из N_0

$$N_e(\leq E) \cong \frac{1}{t} = \frac{C_e \varepsilon}{E} \text{ кумулятивное распределение вероятностей}$$

$$N_s(\leq S) \sim \frac{1}{t} = \left(\frac{C_s \varepsilon}{S} \right)^{1/3} \text{ для площадей}$$

Дифференциальные распределения $N_e(E) = \frac{dN_e(\leq E)}{dE} = \frac{C_e \varepsilon}{E^2}$

$$N_s(S) = \frac{d}{dS} N_s(\leq S) = \frac{(C_s \varepsilon)^{1/3}}{S^{4/3}} \quad N(\leq S) + N(\geq S) = N_{\text{общ}}$$

Величина, обратная $N_e(\geq E)$ -

есть среднее время ожидания события с энергией $\geq E$. Feller W.

Энергетический спектр для КЛ –

– число их частиц в единицу времени на единицу площади!

Эта площадь должна быть связана с самими лучами

Знаем их объемную плотность (давление)

$$w_0 = nE = 0.5 - 0.7 \text{ eVcm}^{-3}$$

$$1\text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J, т. е. } w = 10^{-13} \text{ J/м}^3$$

Объемная плотность энергии, как давление

$$w = nE, \quad [n] = \frac{1}{L^3} = \frac{1}{S^{3/2}} \quad S^{-1} = \left(\frac{w}{E} \right)^{2/3}$$

$$\text{Для КЛ: } N(\geq E) \sim \frac{\varepsilon}{E} \left(\frac{w}{E} \right)^{2/3} \sim E^{-5/3}$$

ε – скорость генерации энергии у нас в Галактике

$$\varepsilon = \frac{3 \cdot 10^{45} \text{ J}}{100 / 2,5 \text{ года}} = 10^{33} \text{ Вт} = G$$

Окончательно дифференциальный спектр КЛ

$$N(E) = C \frac{G}{E^2} \left(\frac{w}{E} \right)^{2/3} \sim E^n$$

ПАМЕЛА: $n = 2.67 \pm 0.02$ теория $n = \frac{8}{3} = 2 + \frac{2}{3} \frac{2}{3} \approx 0.67$

В 2003 г. я представил статью со спектром после $3 \cdot 10^6$ GeV, колена, для которой источником служат первичные частицы КЛ, еще удерживаемые магнитным полем, но уходящие из диска Галактики.

Там у меня был показатель

$$-\frac{19}{9} = -\left(2 + \frac{1}{9}\right) \text{ против } -2.1 \text{ в } 1990 \text{ г.}$$

$$I(\geq E) = \begin{cases} 1 \cdot [E(\text{ГэВ})]^{-1.7} \\ 3 \cdot 10^{-10} [10^{-6} E(\text{ГэВ})]^{-2.1} \end{cases}$$

Землетрясения

закон Гутенберга - Рихтера $\lg N(\geq m) = a - bm$

$b \approx 2/3$ для $m \leq 7.5$ 0.65 ± 0.02 Смирнов, Исполинова 1995

$b = 1$ для $m > 7.5$ Okal, Romanowitz 1994, USA Berkeley

M – сейсмический момент, $M = \mu S u$

$$L = (M / \Delta \sigma)^{1/3}, \quad T = M / F$$

$F \approx 4.5 \cdot 10^{13}$ Вт (кгм²/с³) для всей земной сферы

$h \approx 30$ км – средняя толщина хрупкой коры

параметр подобия $\Pi = \frac{L}{h} = \frac{M^{1/3}}{\Delta \sigma^{1/3} h}$

$$m = \frac{2}{3} \lg M - 6, \quad m = \lg(S / S_0), \quad \text{где } S_0 \approx 100 \text{ м}^2 \text{ Kasahara 1981}$$

Сейсмический момент имеет размерность энергии

$m = 7.5$ соответствует $\Pi = 1.07$ при $\Delta\sigma = 4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 40 \text{ МПа}$

К34:
$$N(\geq M) = \frac{F}{M} f(\Pi), \text{ Голицын 2001 (В. И. К-Б.)}$$

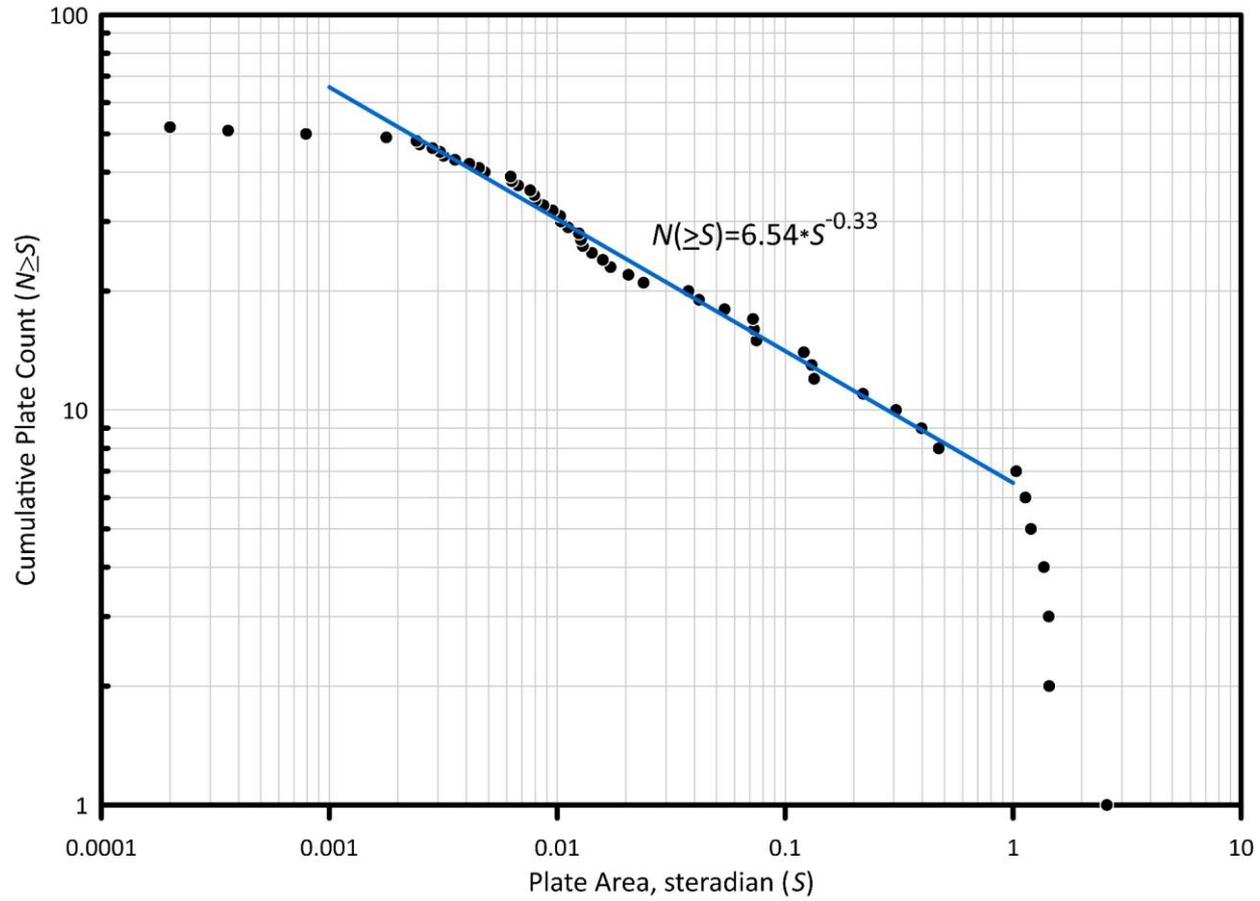
$$f(\Pi) = \begin{cases} \Pi \sim M^{1/3} & \text{при } m < 7.5 \\ \text{const (0.35)} & \text{при } \Pi < 1, m > 7.5 \end{cases}$$

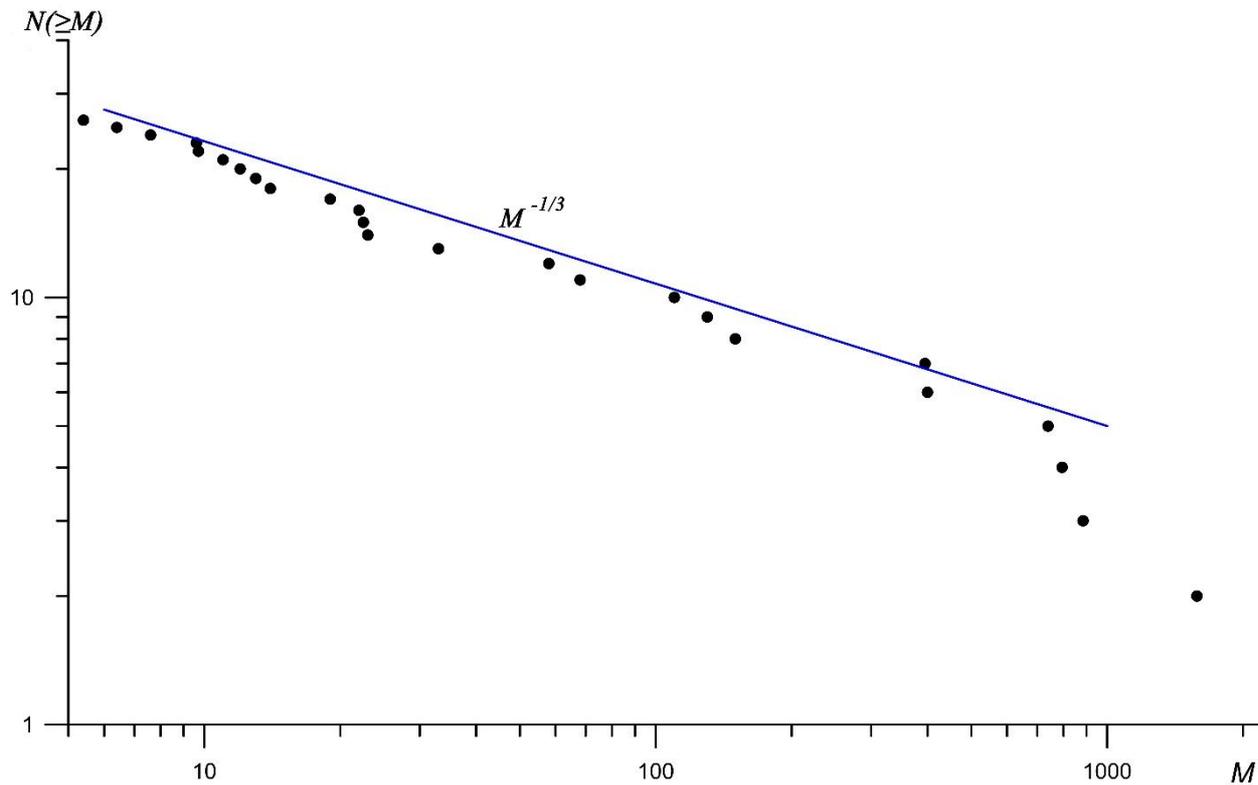
Chili, 1960 $m = 9.5$, Alaska, 1964 $m = 9.4$

Если считать, что $m_{\text{пред}} = 10$, то такие ЗТ раз в 2000 лет.

Распределение литосферных плит по площадям $S^{-0.33}$,

галактик по массам $M^{-1/3}$, $0.33 - \frac{1}{3} = \frac{1}{300}$

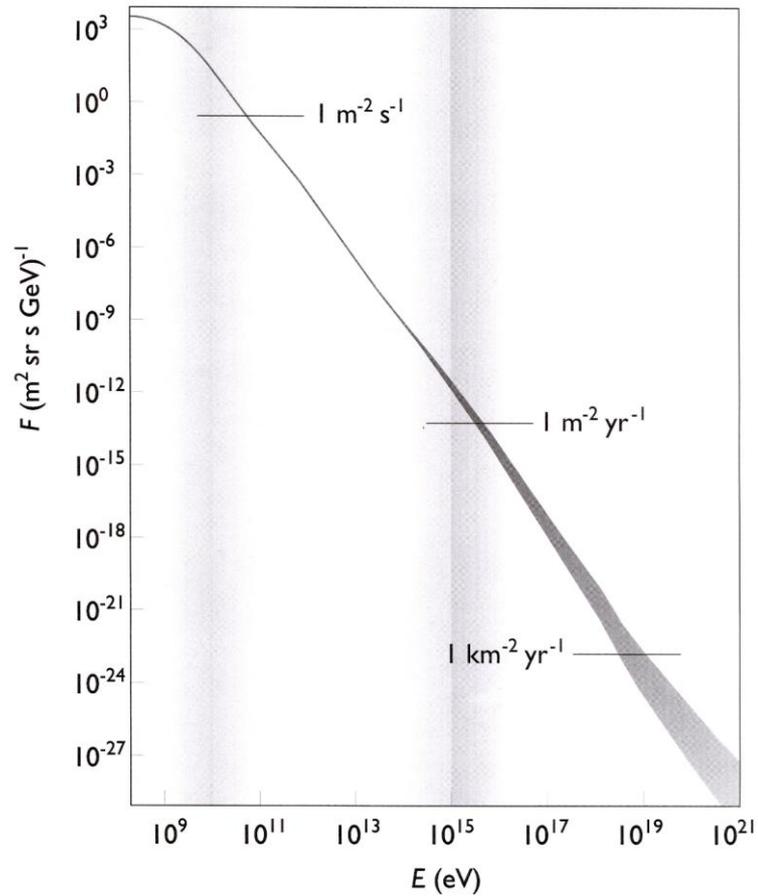




Кумулятивное распределение по массам близлежащих галактик.

Интегральный спектр космических лучей.

Википедия.



Появление третьих степеней – результат взаимодействия
поверхностных процессов с объемными. *RJES2019.*

The aim of the science is to find of view from which the problem
can be solved most simply and naturally. **J. W. Gibbs**

Случайность – необходимый, если не важнейший элемент
мироздания, но в ней есть определенный порядок, ведущий к
конкретным, часто устойчивым структурам. Устойчивость ограничена
во времени и пространстве, которые свои в конкретных ситуациях.

А. Н. Колмогоров

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ