

СТАТИСТИКА «ЧЕРНЫХ ЛЕБЕДЕЙ»

О ХАРАКТЕРЕ ПОВЕДЕНИЯ ХВОСТА ЗАКОНА ПОВТОРЯЕМОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ обзор

М.В.Родкин

*Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,
г. Москва, Россия*

*В докладе-обзоре использованы результаты теоретических работ с
Н.В.Шебалиным, В.Ф.Писаренко, Г.С.Голицыным,
А.А.Любушиным, С.И.Шерманом, И.В.Кузнецовым и другими, а также
результаты полевых работ с А.А.Никоновым, С.В.Шваревым, С.Ж.Орунбаевым и
др.*

Как известно, вполне удовлетворительной и выдержавшей проверку временем карты ОСР к настоящему времени не существует.

Карты ОСР-78, ОСР-97, ОСР-15, ОСР-16 ...

Более ранние варианты карт исходили из требования картирования максимально возможного землетрясения M_{max} . Поздние варианты имеют статистический характер - дают не превышение данного значения M_{max} (иного) за $T_{лет}$ с вероятностью q (соответственно, уже почти не могут быть «совсем ошибочными»). При этом вероятности на длительный срок рассчитываются по искусственным каталогам по параметрам сейсмогенных узлов, линеаментов и диффузной сейсмичности, максимально возможной магнитуде на них и их повторяемости. Все эти подходы правдоподобны, но дискуссионны.

Примеры реализации сильных землетрясений на предположительно слабосейсмичных территориях, ожидаемая и наблюдаемая максимальная интенсивность:

Хебей	(Китай, 1966)	VI	IX
Хайченг	(Китай, 1975)	VI	IX
Газли	1976	V	IX
Тангшань	(Китай, 1976)	VI	XI
Спитак	1988	VII	X
Сусамыр	1992	VII	IX
Нефтегорск	1995	VII	IX
Вэнчуань	(Китай, 2008)	VII	XI

Явного прогресса со временем не наблюдается

Считается, что основной ущерб от землетрясений связан с редкими сильными событиями. Поэтому ключевой проблемой при оценке сейсмической опасности считается определение (наилучшая параметризация) закона повторяемости редких сильных землетрясений - т.е. поведение хвоста функции распределения.

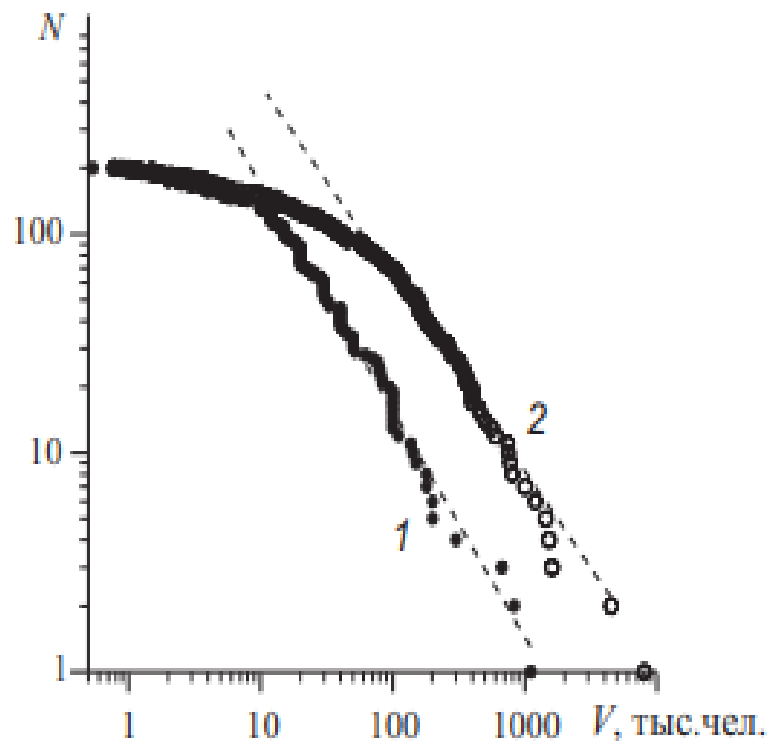
Используемыми моделями поведения хвоста функции распределения являются: классический закон Гутенберга-Рихтера, усеченный закон Г-Р, «ломаный» закон Г-Р, модели с более сложным поведением хвоста закона распределения. Ниже сравниваются преимущества и недостатки указанных способов представления, ...

а также предлагается на обсуждение еще один вариант.

С легкой руки Нассима Талеба за неожиданными, редкими и часто разрушительными явлениями прочно закрепился «ник» - «черный лебедь». А начиная с работ Н.В.Шебалина известно, что подавляющая часть разных видов катастроф, как природных, так и техногенных, описываются степенными распределениями, аналогичными закону повторяемости землетрясений Гутенберга-Рихтера. При этом случай землетрясений является наиболее обеспеченным статистикой и потому видимо наиболее исследованным.

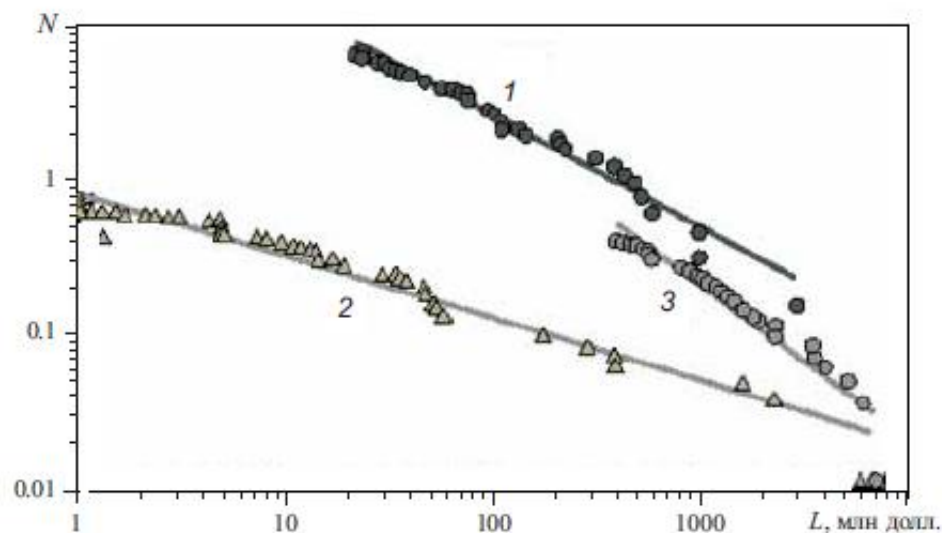
Поэтому исследование повторяемости сильных землетрясений – это не только сейсмическая опасность, но также и исследование по проблеме «черных лебедей».

Примеры других степенных распределений



Ненормированные дополнительные функции распределения числа жертв V при сильных исторических сейсмических катастрофах: 1 – реальное число жертв, 2 – нормированное на современную численность населения.

Пунктиром показаны аппроксимирующие степенные законы распределения, N – число событий

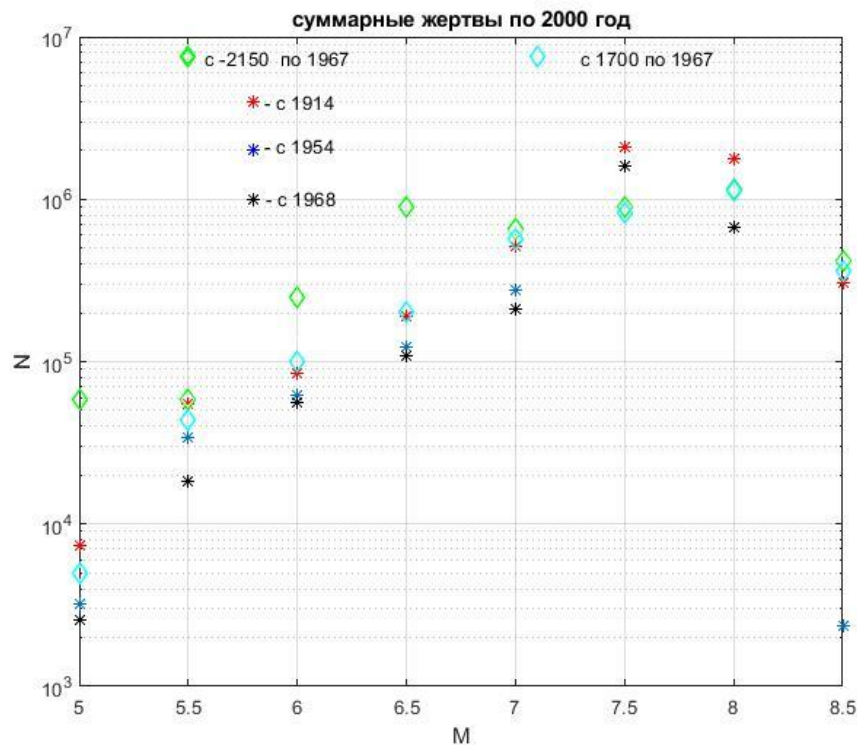


Дополнительные ненормированные функции распределения величин экономических потерь L в США от единичных событий (млн долл.) в год для наводнений (1), землетрясений (2) и ураганов (3). Данные за 1900–1989 гг. (землетрясения и ураганы) и за 1986–1992 гг. (наводнения). Линиями показаны графики аппроксимирующих степенных распределений со значениями показателя степени $\beta = 0.74$ (для наводнений), $\beta = 0.98$ (для ураганов) и $\beta = 0.41$ (для землетрясений),

Почему выше написано «считается», а не «известно»?

Действительно ли - основной ущерб от сильнейших землетрясений?

Эмпирика – да, рост числа жертв при изменении магнитуд на 2 единицы (энергии на порядок) - более 200 раз.



Однако загадка - согласно уравнениям макросейсмического поля суммарные площади от землетрясений разной магнитуды сравнимы.

$$I = b \cdot M - d \cdot \sqrt{(R^2 + H^2)} + c,$$

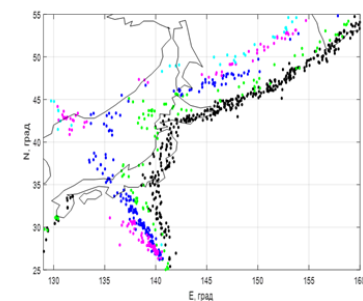
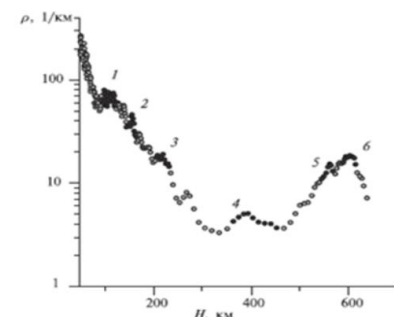
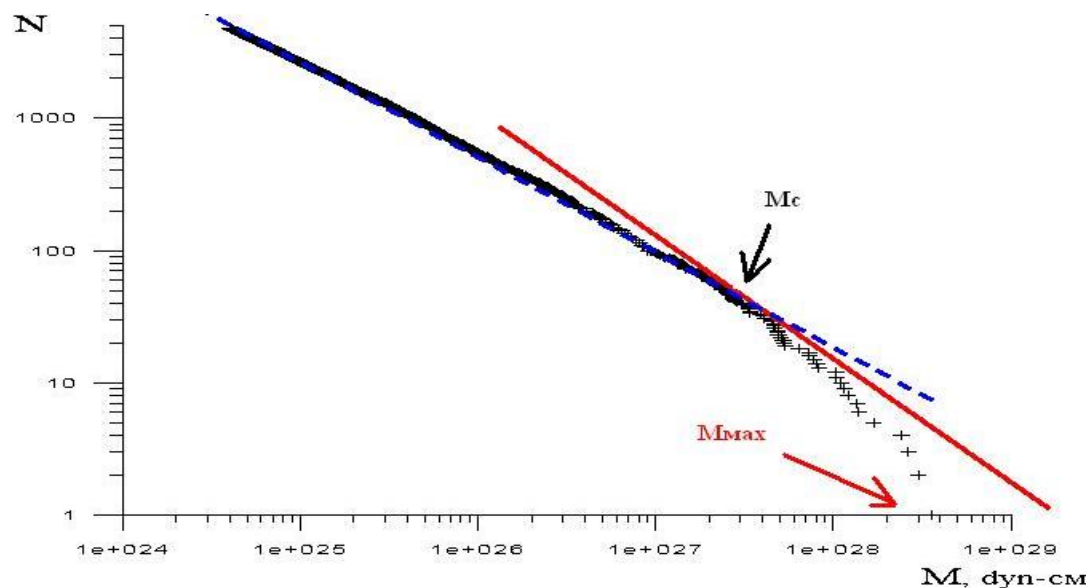
$$b=1.5; d = 3.5 - 4.5; c = 3 - 4.5.$$

*Отсюда площадь изосейсты X при изменении на 1.0 магнитуды меняется в пределах 5-8-10 раз,
А число событий – примерно в 10 раз.*

Можно бы ожидать, что и ущербы тогда тоже будут сравнимы???????

Примем, однако, что так и есть – займемся хвостом.

Различие закона распределения обычных и сильных землетрясений



+ - данные Гарвардского каталога сейсмических моментов.
 ---- - обычный закон Гутенберга-Рихтера, $\beta \approx 0.65$ (диапазон $\beta < 1$, среднее, бесконечная мощность источника энергии сейсмогенеза);

бесконечное

— - критический наклон графика Г-Р, $\beta = 1$ (область M_c , диапазон $\beta \approx 1$).

Область M_{max} - диапазон $\beta > 1$ (неизвестное распределение с конечным средним значением и конечной мощностью источника энергии сейсмогенеза).

Распределение сильных землетрясений явным образом отличается от обычного неограниченного закона Г-Р с $\beta < 1$ и (формально) **бесконечным средним значением**.

Но, Земля конечна, бесконечно сильных событий быть не может, безграничных распределений тоже?

Ряд закона Г-Р – расходящийся – рост магнитуды на единицу отвечает уменьшению числа событий на порядок, но рост энергии одного события (энергии, сейсмического момента) в 30 раз. **Этому отвечает наличие бесконечного источника энергии, что заведомо не выполняется.**

Значит, закон Г-Р в области хвоста распределения заведомо нарушается.

Но как, какие есть варианты решения?

1) Усеченный закон Г-Р; УГР

конечность энергии, ограниченность распределения

2) Ломаный закон Г-Р;

конечность энергии, неограниченность распределения

3) Сглаженные варианты:

а) Экспоненциальный множитель (Я.Каган)

конечность энергии, неограниченность распределения

б) Обобщенное предельное распределение Парето, GPD

конечность энергии, ограниченность распределения (??)

в) Численное решение.

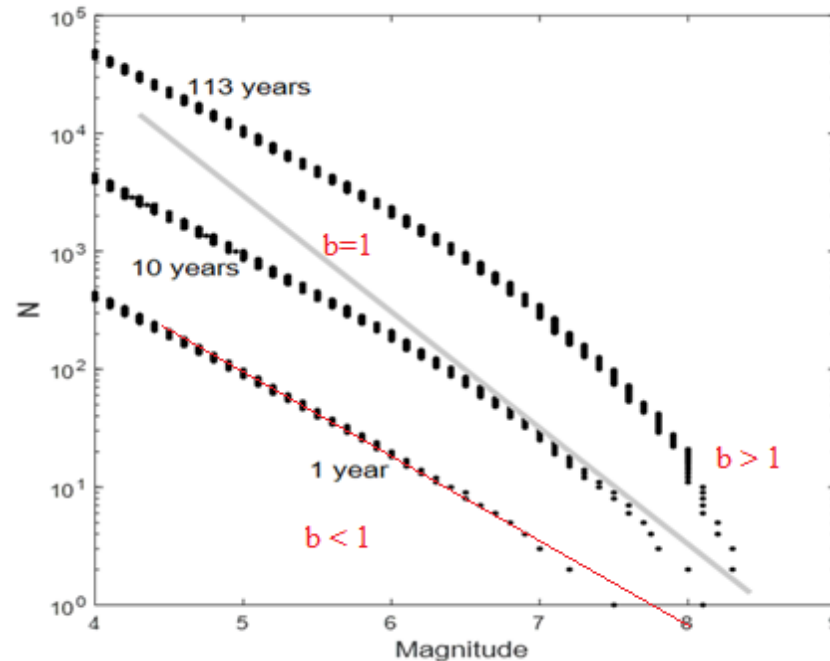
конечность энергии, ?

Проблема с «точки зрения» объема данных:

Поведение и возможность описания на разных интервалах времени (с разной доступной статистикой) - ПРИНЦИПИАЛЬНО РАЗНЫЕ.

Можно выделить как бы 3 уровня описания

Пример – каталог Японского Метеорологического Агентства
(типичный хороший каталог)



Три уровня описания степенных распределений по данным каталога землетрясений ЛМА.

Указаны интервалы времени наблюдения – 1 год, 10 лет и весь каталог.

Точка касания прямой с наклоном $\beta=-1$ со средним графиком характеризует величину M_{ch} .

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ

1) Усеченный закон Г-Р; УГР

конечность энергии, ограниченность распределения

2) Ломаный закон Г-Р;

конечность энергии, неограниченность распределения

3) Сглаженные варианты:

а) Экспоненциальный множитель (Я.Каган)

конечность энергии, неограниченность распределения

б) Обобщенное предельное распределение Парето, GPD

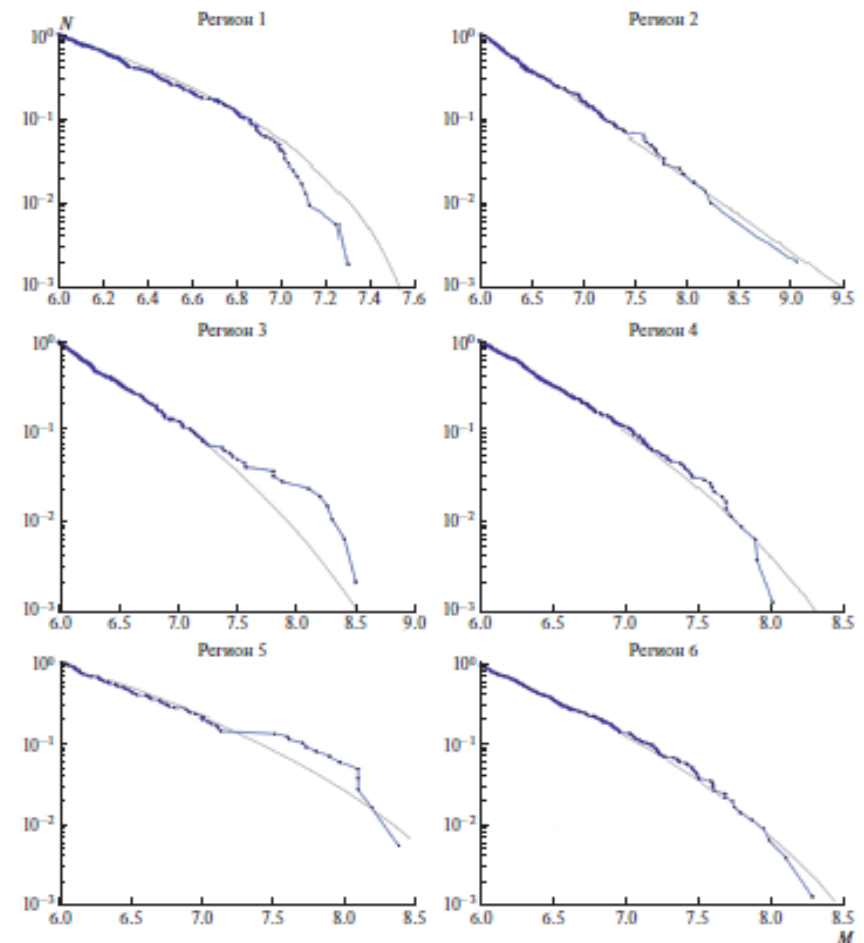
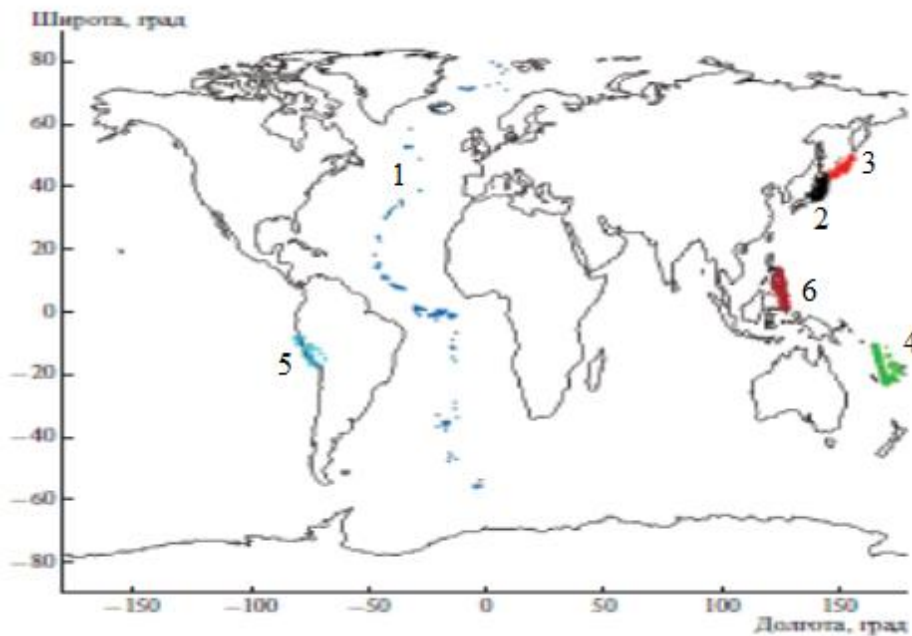
конечность энергии, ограниченность распределения

в) Численное решение, переход с нелинейного на линейные рост суммы эффектов

конечность энергии, ?

Сравнение усеченного закона Г-Р (УГР) и варианта GPD

6 регионов каталога GCMT



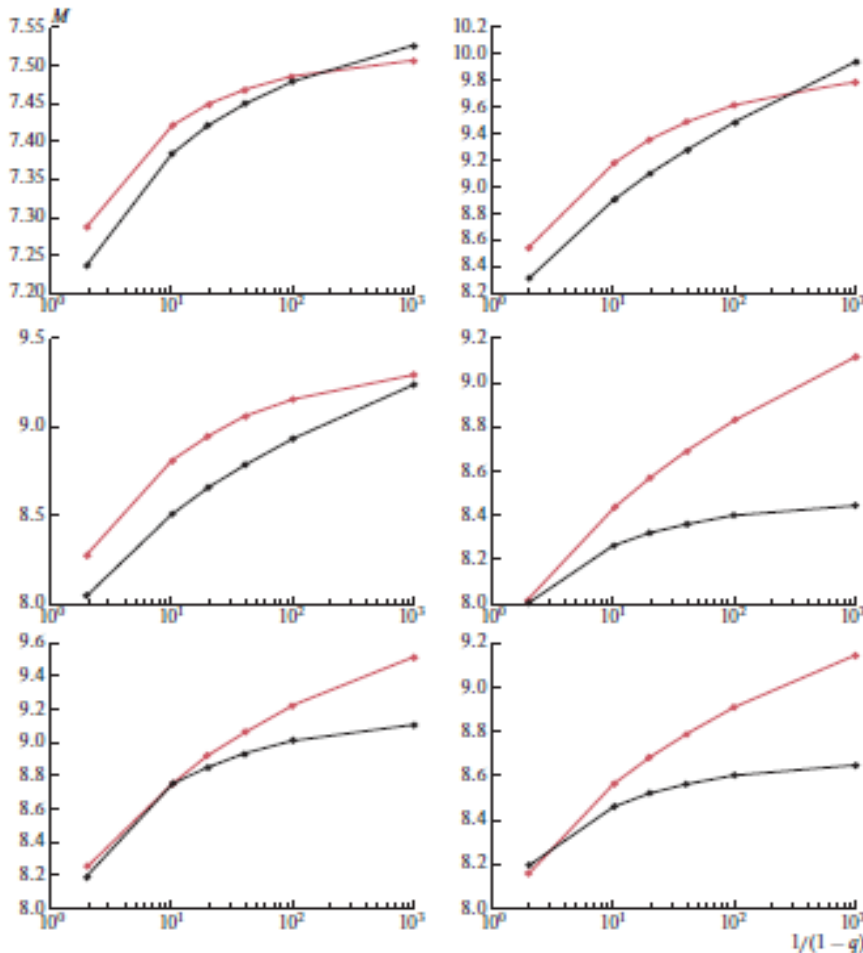
*Теоретические (методом GPD) и эмпирические функции распределения магнитуд ($1 - F$).
По оси X – магнитуды, по оси Y – доля событий*

Сравнение вариантов УГР и GPD

В целом оценки по двум методам удовлетворительно согласуются. Оценка методом БМ-УГР является более “консервативной”: для уровней доверия, близких к единице (для значений магнитуд, близких к максимально возможным), они обычно – ожидаемо - ниже оценок ММП-GPD.

Сравнение не дает оснований предпочесть один из использованных методов оценки параметров.

Оценки – вполне ожидаемо - получаются существенно более робастными и лучше согласующимися при более сильном загибе вниз графика повторяемости. В регионах, где такой загиб не выражен или где наблюдаются отклонения от графика повторяемости, которые могут быть связаны с возникновением так называемых характеристических землетрясений, уровень и разброс оценок сейсмической опасности существенно возрастают.

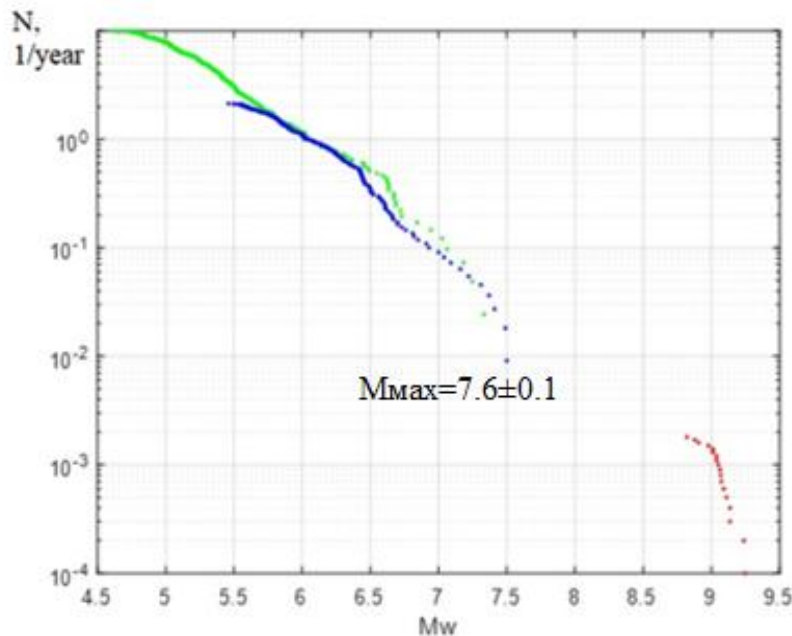


Оценки квантилей: черный (Байесовский, УГР); красный (ММП, GPD). $T = 50$ лет. Реальные каталоги, основные события. По оси X величины $K = q/(1 - q)$; по оси Y – магнитуды.

Вывод - при анализе данных по инструментальным данным результаты оценок долгосрочной сейсмической опасности по моделям УГР и GPD равно приемлемы, но метод УГР проще, и он распространен шире.

Критический Вопрос – известно ли землетрясение с магнитудой заведомо больше регионального значения $M_{\max}$ УГР?

Пример? Палеосейсмологические данные. Турбидитовые покровы в зоне субдукции Каскадия (Западное побережье США)



Пример нечеткого указания:

Working Group California Earthquake Probabilities в рамках УГР модели дала прогноз 9-13 ($M_{6.0+}$) землетрясений на 30-лет, 1995-2024 годы. В [Jackson, 2017] сравнивается с реальным уровнем сейсмической активности за последовавшие 22.5 года. Реально произошли 3 таких события. При этом нет указаний на снятие напряжений в ходе асейсмических деформаций. Сопоставление указывает о возможности более сильных землетрясений, чем это предполагается возможным в рамках УГР модели.

Аналогичные данные для ряда других регионов. Палеосейсмологические данные по Калифорнии также косвенно указывают на бывшие события сильнее оценок $M_{\max}$ УГР.

Данные о повторяемости землетрясений в области Каскадия по каталогам ISC-GEM, 1904-2014 (синие точки) и GCMT, 1976-2017 (зеленые) и по оценкам магнитуд сильнейших событий вызвавших крупнейшие турбидитные покровы (красные точки). УГР $M_{\max} = 7.6$

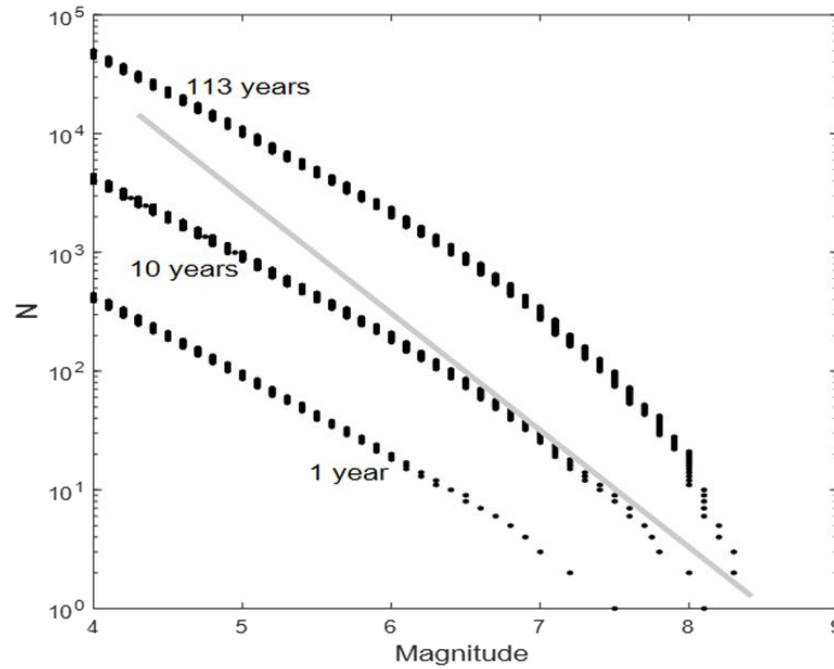
Промежуточный вывод

Вариант УГР удобен на практике. При типичных параметрах на надежность прогноза он дает хорошие результаты.

Но, видимо, вариант УГР не применим при расчете опасности на особо длительные интервалы времени, или для особо ответственных объектов.

Заметим, что модель УГР «сомнительна» с физической точки зрения - трудно дать физическую интерпретацию существования РЕЗКОГО обрезания закона Г-Р.

ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ВАРИАНТ - ЗАГИБ «ЧИТАЕТСЯ», НО ХАРАКТЕР ЕГО НЕ ЯСЕН :



Свойства степенного распределения с показателем степени $\beta \leq 1$

Степенной закон Парето с функцией распределения $F(x)$:

$$F(x) = 1 - (A/x)^\beta; \quad x \geq A, \quad (1)$$

Если $\beta \leq 1$ то закон Парето (1) имеет «тяжелый хвост» “heavy tail” с бесконечным средним значением и (тем более) дисперсией. Использование выборочных средних (и дисперсии) даёт некорректный результат.

Медианы кумулятивного эффекта Σ_n (скажем числа жертв) и максимальное единичное значение (числа жертв, ущерба) μ_n **нелинейное растут с числом событий и/или временем:**

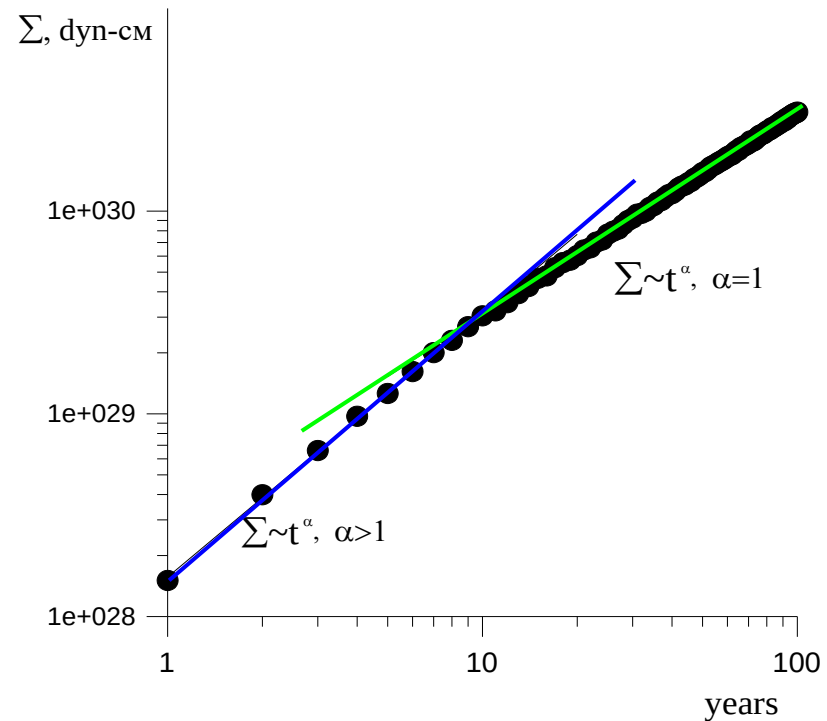
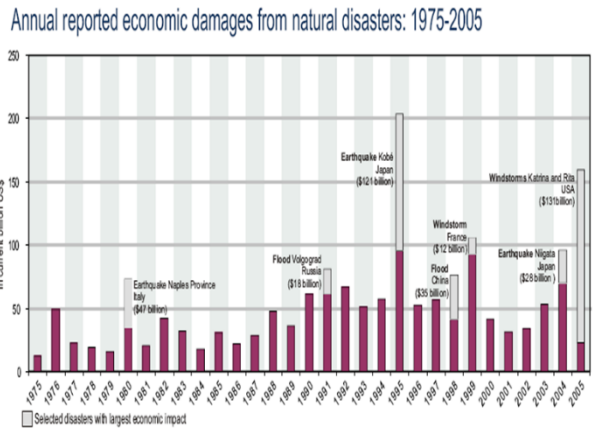
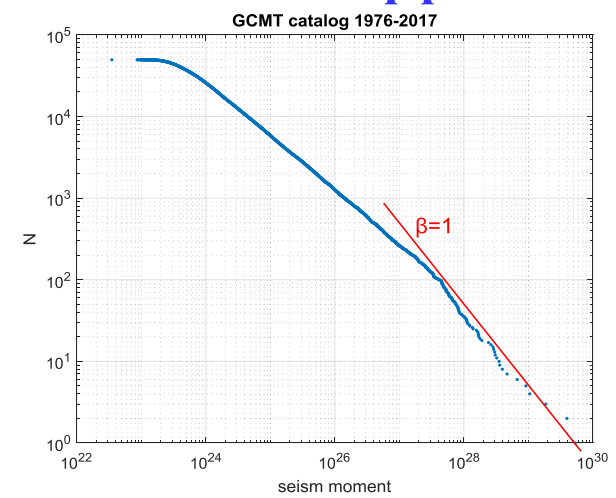
$$\Sigma_n \sim n^{1/\beta} \text{ и } \mu_n \sim n^{1/\beta} \quad (2)$$

$$\Sigma_t \sim t^{1/\beta} \text{ and } \mu_t \sim t^{1/\beta} \quad (2a)$$

Но такой (нелинейный по времени) закон роста, (1) или обычный закон Г-Р, **ОГРАНИЧЕН** доступным ресурсом, да и просто «размерами планеты».

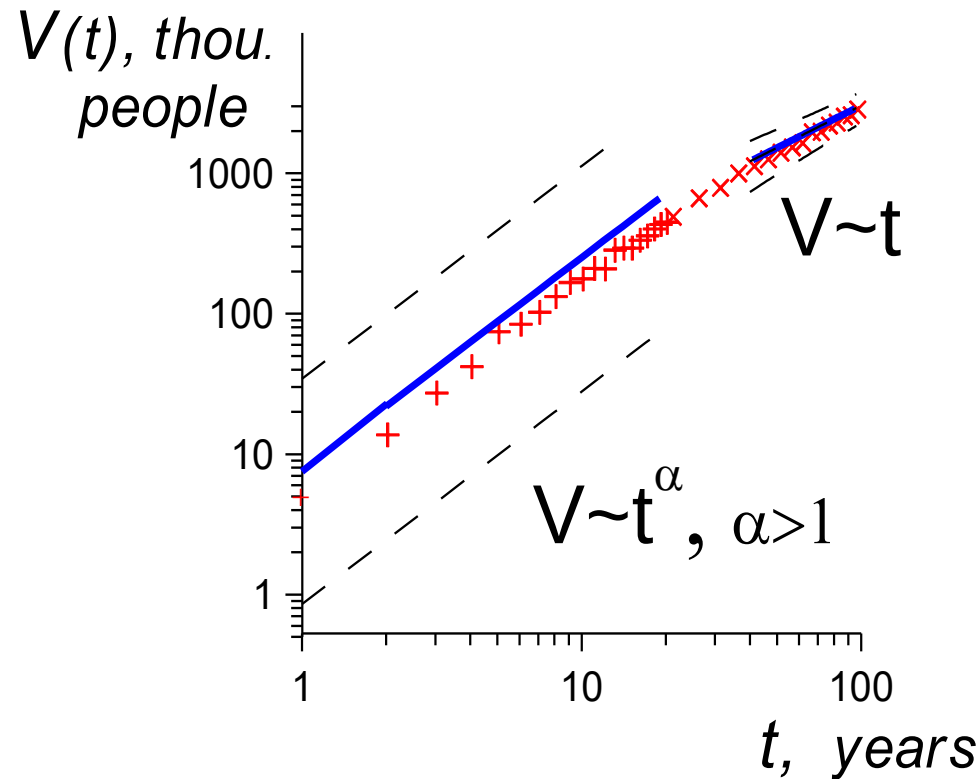
Связь графика повторяемости (слева) и кумулятивных сумм эффекта за время t (справа) .

Бутстреп-метод позволяет из довольно «случайной кривульки» временного ряда значений выделить сейсмической энергии (момента, иного чего) получить весьма гладенькую зависимость роста со временем характерного накопленного эффекта с точкой перегиба



- Слева – примеры графиков повторяемости каталог GCMT, В – статистически аналогичный на срок 100 лет. Использован бут-стреп boot-strap метод численного моделирования.

Результаты моделирования типичного числа жертв за t лет $V(t)$



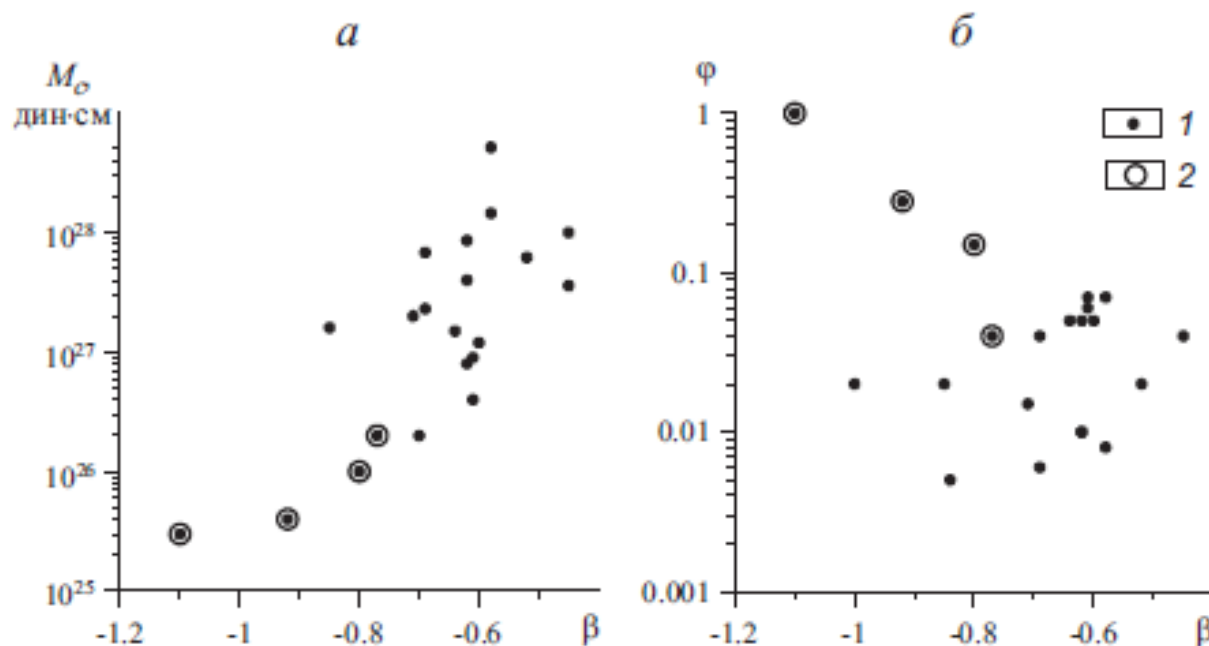
Можно видеть изменение режима роста характерных кумулятивных величин (выделенной сейсмической энергии (момента), величины потерь) с нелинейного на линейный режим роста : $V \sim t$

Examples of C and Tc values for different types of disasters (numbers of fatalities)

Disaster type	Regions, countries	Recurrence time Tc, years	Characteristic boundary event magnitude, Vc, victims number	Really observed maximum disaster, fatalities number	Data source
earthquakes	Developed countries 1900 - 1959 1960 - 1999	33 30	95000 24000	110000 17000	Significant earthquakes
earthquakes	Developing countries, 1900 - 1959, 1960 - 1999	40 65	270000 260000	200000 240000	Significant earthquakes
floods	North America and European Union 1950-1980 1980-2005	15 10	1500 500	650 200	Em-dat
hurricanes	Atlantic Ocean 1850-1950	30	20000	11000	Disaster center
floods	SE and S Asia 1984-2006	20	10000	6000	Em-dat

In all cases the recurrence time Tc is a few dozens years only, it means the loss increase is restricted to the similar time intervals.

Информативность параметра $M_{\max}\text{-char}$ – точка перегиба – для сейсмологических данных



Взаимосвязь между наклоном графика повторяемости и $M_{\max}\text{-char}$ и долей сильных «нелинейных» событий в разных регионах:

а – соотношение величин наклона графика повторяемости в линейной части β и величины характерного максимального события M_c ;

б – соотношение между β и долей «сильнейших», «нелинейных» событий ϕ .

1 – все регионы, 2 – зоны СОХ

НАИБОЛЕЕ ПОЛНАЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ:

Обобщенное Распределение Парето, GPD

Определения:

Правая предельная точка x_F функции распределения $F(x)$: $x_F = \sup \{ x: F(x) < 1 \}$

Экссесс-функция $F_h(x)$ (условная функция распределения выше порога h):

$$F_h(x) = P\{X - h < x \mid X > h\}, \quad x \geq 0.$$

Теорема Гнеденко-Пикандса-Балкема-Хаана

Пусть $x_1, x_2, \dots, x_n$ - выборка n независимых случайных величин с непрерывной функцией распределения $F(x)$ и экссесс-функцией $Fh(x)$, $h > 0$. Если существуют такие нормирующие константы c_n, d_n , что нормированный максимум $(M_n - d_n)/c_n$ сходится по распределению к некоторой невырожденной случайной величине. Тогда найдется такая неотрицательная функция $s(h)$, что

$$\lim_{h \uparrow x_F} \sup_{0 \leq x \leq x_F - h} |Fh(x) - Gh(x)| \xi, s(h) = 0.$$

Для любой исходной функции распределения $F(x)$ экссесс-функция $F_h(x)$ значений $(x-h)$ сходится в пределе к Обобщенному Распределению Парето (GPD):

$$GPD_h(x | \xi, s) = 1 - (1 + \xi(x-h)/s)^{-1/\xi}, \quad x \geq h; \quad 1 + \xi(x-h)/s \geq 0.$$

Задается параметр порога **h** , подлежат определению параметр масштаба **s** и параметр формы **ξ** . Параметр формы ξ характеризует вид исходного распределения $F(x)$:

Для ограниченного распределения $F(x)$ имеем $\xi < 0$.

(что, как выяснилось, и имеет обычно место – и **ДОЛЖНО** иметь место - в реальности)

Для экспоненциального поведения хвоста $F(x)$ имеем $\xi = 0$.

(аналогично закону распределения по Я.Кагану)

Для степенного поведения хвоста $F(x)$ имеем $\xi > 0$, $\xi = 1/\beta$.

Примеры GPD распределений

При уменьшении
параметра
формы ξ по
абсолютной величине
($\xi < 0$) «носик
распределенияаво»
становится все длинее
и все тоньше.

$$\underline{M_{\max} = h - s / \xi}$$

Это является
математическим
выражением
неустойчивости
оценок величины

$M_{\max}, \xi < 0$ при
этом часто $\xi \sim 0$.

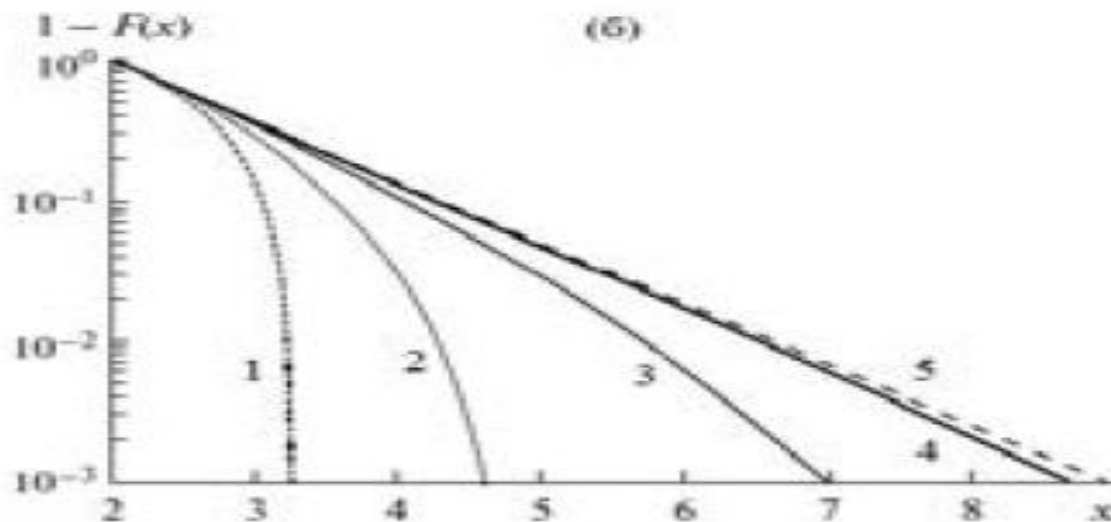
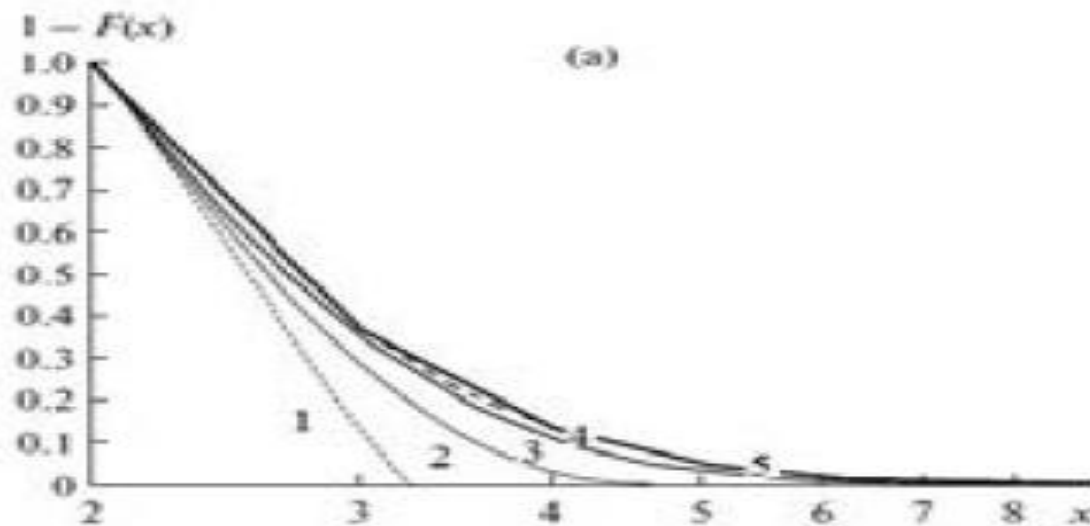


Рис. 1. Хвост GPD-распределения для разных значений параметра формы ξ : -0.8 (кривая 1); -0.35 (кривая 2); -0.1 (кривая 3); -0.01 (кривая 4) и 0 (кривая 5). Для всех графиков $h = 2, s = 1$. Для облегчения понимания поведения функции ось y дана в линейном (а) и логарифмическом масштабе (б).

Еще раз и подробнее про важный частный случай $\xi < 0$.

Если $\xi < 0$, то $h \leq x \leq h - s/\xi$, т.е.,
$$M_{\max} = h - s/\xi \quad (1)$$

Достаточно типична и важна ситуация:

- распределение ограничено: $h \leq x \leq h - s/\xi$*
- максимально возможное событие $M_{\max} = h - s/\xi$ существует,*
- но оценивается с ОЧЕНЬ большой погрешностью $\xi \cong 0$.*

Формула (1) «математически» поясняет неустойчивость значений $M_{\max}$, что и отвечает необходимости регулярного пересмотра карт ОСР

Достоинства и ограничения метода предельных распределений

Достоинства метода :

Теоретическая статистическая обоснованность метода.
Анализ различных сейсмических каталогов дает разнообразие поведения хвоста распределения. Как правило, получаем оценки параметров, соответствующих конечным распределениям, что соответствует утверждению об ограниченности «всего сущего». (энергии землетрясений, любых иных реально оцениваемых величин, н.п., ущербов).
Есть хорошие примеры применения метода.

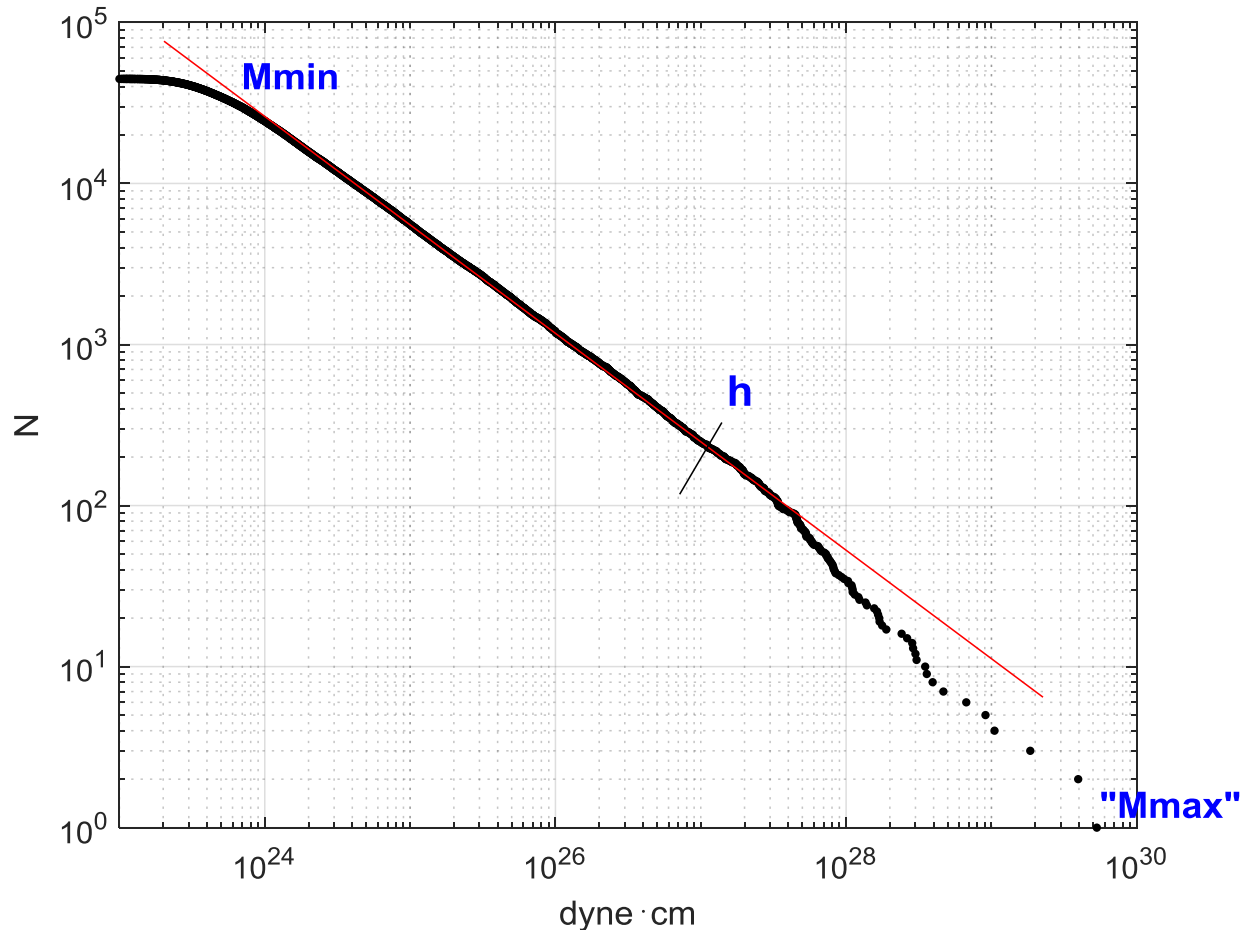
Ограничения метода.

Использование метода предполагает получение достаточно точных оценок трех параметров GEV или GPD распределения. А для этого нужно не менее 30-50 событий в диапазоне, описывающем хвост распределения магнитуд. Это требование накладывает существенное ограничение на разрешающую способность метода, да и вообще на возможность получения оценок.

Результаты применения методов теории экстремальных значений:

1. Показано, что распределение редких сильнейших землетрясений не только (вполне ожидаемо) имеет конечное среднее значение, но и описывается конечным распределением ($\xi < 0$). Значения параметра формы обычно оказываются слабоизменчивыми - $\xi = -0.2 \pm 0.1$ (???)
2. Для Японии была показана значительная вероятность реализации землетрясений Mw9 и 9+ (Pisarenko et al., 2010), что подтвердилось возникновением мегаземлетрясения Тохоку (Mw9, 2011)
3. Значение $M_{\max}$ существует (распределение конечно), но при малых по абсолютной величине значениях ξ неустойчиво ($M_{\max} = h - s/\xi$). Это – математическое выражение необходимости регулярного пересмотра карт ОСР.
4. Вместо неустойчивых значений $M_{\max}$ лучше использовать более устойчивые значения квантилей $Q_{\tau(q)}$ - максимальной магнитуды, реализующейся с вероятностью q (0.9, 0.95, 0.999, любое) за будущий интервал времени продолжительностью τ (10, 50, 500 лет, любое).

2-х звенная модель закона повторяемости (Г-Р по данным GCMT каталога за 1976 – 2016 годы).



- Естественно описать такое эмпирическое распределение составной моделью:
- Диапазон $[M_{\min} ; h]$ стандартно описывается законом Гутенберга-Рихтера;
- диапазон $[h ; M_{\max}]$ – Обобщенным законом Парето (GPD). Значение параметра h не критично. В этой точке должна быть непрерывна плотность распределения и её производная.

**Формально поставим задачу следующим образом,
зададим две ветви распределения:**

$$F(m) = \begin{cases} C_1 \{1 - \exp[-b \cdot (m - m_0)]\}; & m_0 \leq m \leq h; \\ C_1 \{1 - \exp[-b \cdot (h - m_0)]\} + C_2 \{1 - [1 + (\xi/s) \cdot (m - h)]^{-1/\xi}\}; & h \leq m \leq M_{\max} = h - s/\xi, \quad \xi < 0. \end{cases}$$

Модель содержит 5 неизвестных параметров. Порог h разделяет 2 ветви модели, Г-Р и GPD; b , m_0 , s , ξ – параметры; C_1 , C_2 – константы (они зависят от указанных параметров), которые должны обеспечить нормировку функции распределения $F(m)$ и её непрерывность:

$$C_1 = 1 / \{1 + bs \cdot \exp[-b(h - m_0)] - \exp[-b(h - m_0)]\},$$

$$C_2 = 1 - C_1 \{1 - \exp[-b(h - m_0)]\}.$$

Если обозначить

$$C_3 = C_1 [1 - \exp[-b \cdot (h - m_0)]],$$

То модель запишется в виде:

$$F(m) = \begin{cases} C_1 \{1 - \exp[-b \cdot (m - m_0)]\}; & m_0 \leq m \leq h; \\ C_3 + C_2 \{1 - [1 + (\xi/s) \cdot (m - h)]^{-1/\xi}\}; & h \leq m \leq M_{\max} = h - s/\xi, \quad \xi < 0. \end{cases}$$

Важно, что использование данных по распределению событий умеренной силы и условие гладкого сопряжения закона Γ -P и GPD -распределения уменьшают на 2 число подлежащих оценке параметров модели

$$s = (1+\xi)/b$$

В окончательном виде модель имеет вид:

$$C_1 \{1 - \exp[-b \cdot (m - m_0)]\}; \quad m_0 \leq m \leq h;$$

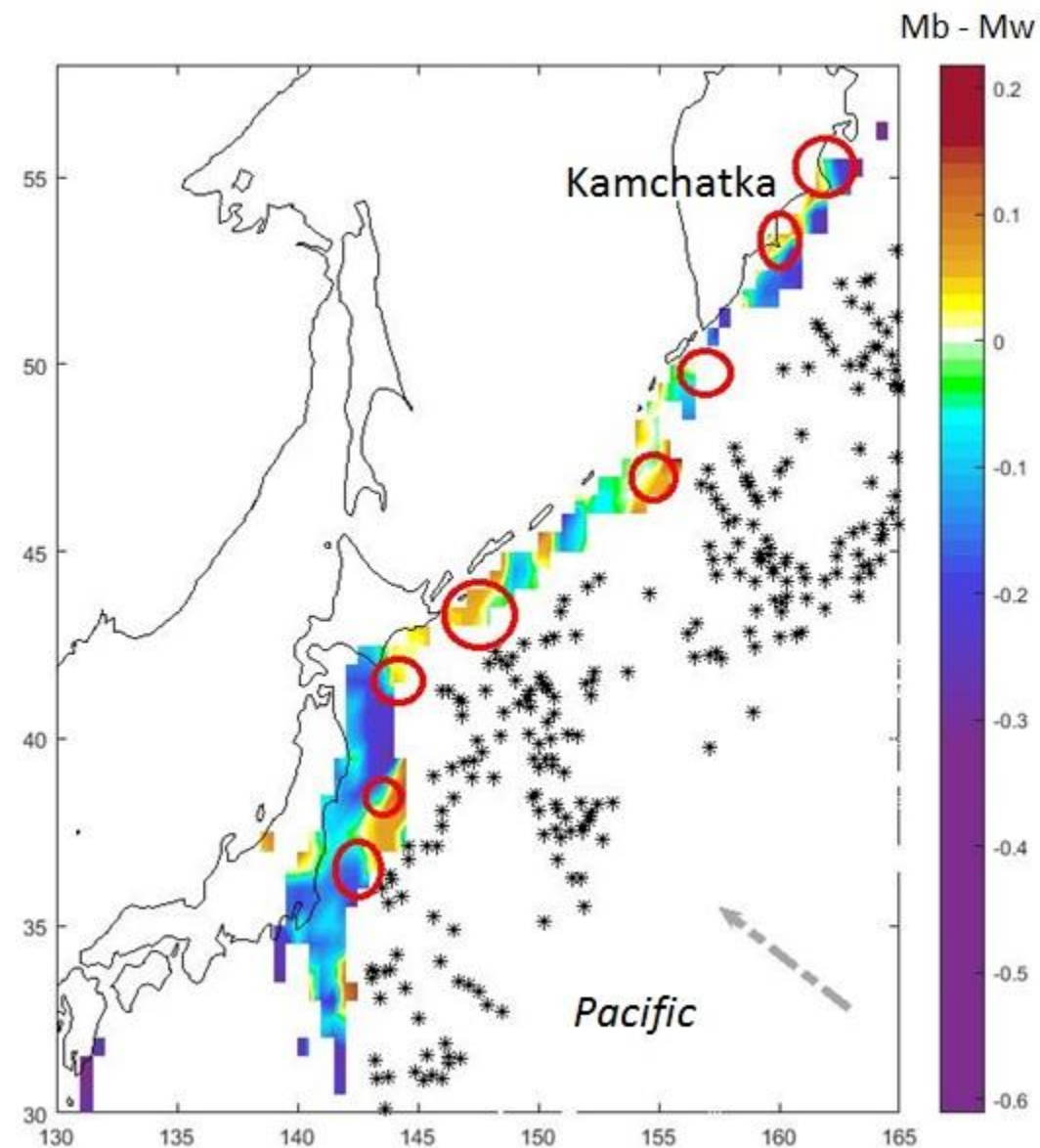
$$F(m) = \begin{cases} C_3 + C_2 \{1 - [1 + (m - h) \cdot \xi \cdot b / (1 + \xi)]^{-1/\xi}\}; & h \leq m \leq M_{\max} = h - (1 + \xi) / (b \cdot \xi), \quad -1 < \xi < 0; \end{cases}$$

$$C_1 = 1 / (1 + \xi \exp[-b \cdot (h - m_0)]);$$

$$C_2 = (1 + \xi) \exp[-b \cdot (h - m_0)] / (1 + \xi \exp[-b \cdot (h - m_0)]);$$

$$C_3 = \{1 - \exp[-b \cdot (h - m_0)]\} / (1 + \xi \exp[-b \cdot (h - m_0)]);$$

Модель содержит уже только 3 неизвестных параметра: h , b , ξ ; значение m_0 предполагается известным.



Сравнение положения выявленных кластеров повышенных значений PGV (красные овалы) и положения морских гор на прилегающем участке океанической плиты (звездочки) и некой характеристикой «жесткости землетрясений».

Получена некая неоднородность сейсмической опасности вдоль жлоба, которая присутствует на карте сейсмической опасности Японии, но отсутствует на картах ОСР для Дальнего Востока России??

Вернемся к сюжету «блеск и нищета» метода предельных распределений

Достоинства метода :

1. Теоретическая статистическая обоснованность метода.

Анализ различных сейсмических каталогов дает разнообразие поведения хвоста распределения. Как правило, получаем оценки параметров, соответствующих конечным распределениям, что соответствует утверждению об ограниченности «всего сущего». (энергии землетрясений, любых иных реально оцениваемых величин, н.п., ущербов).

Ограничения метода.

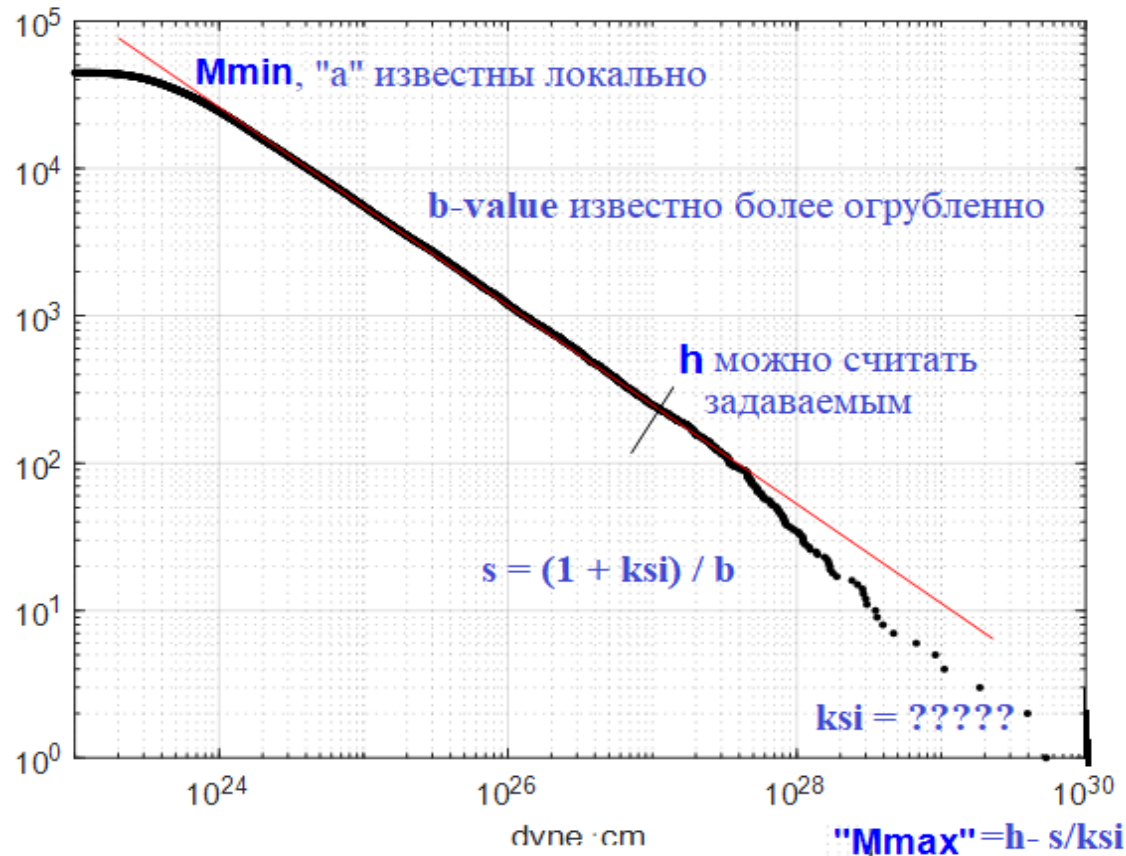
Использование метода предполагает получение достаточно точных оценок трех параметров GEV или GPD распределения. А для этого нужно не менее 30-50 событий в диапазоне, описывающим хвост распределения магнитуд.

Это требование накладывает существенное ограничение на разрешающую способность метода.

Предложение по расчету:

Как видно из рисунка, единственный неизвестный параметр – k_{si} – но, учитывая идеологию Г.М.Молчана – это параметр для САМЫХ сильных событий, его следует получать осреднением на масштабе $\gg 1000$ км. Т.е., можно было бы для этого, например, брать данные по всем активным зонам субдукции, по всем внутриплитным землетрясениям, по всем зонам СОХ.

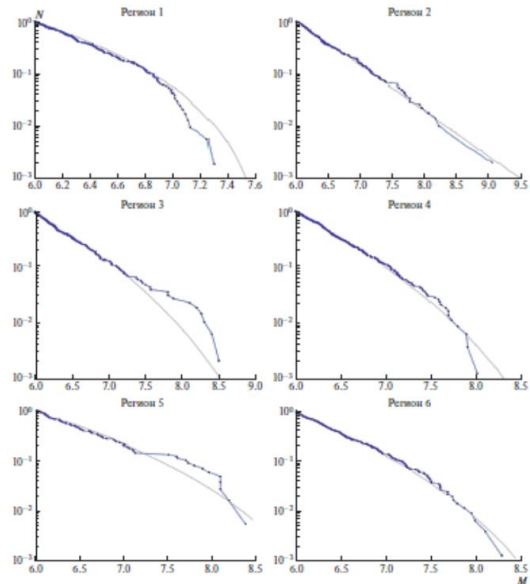
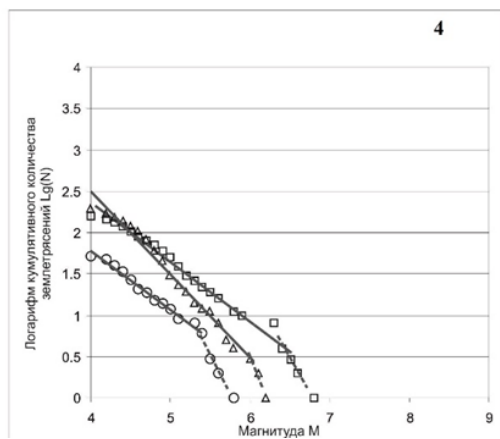
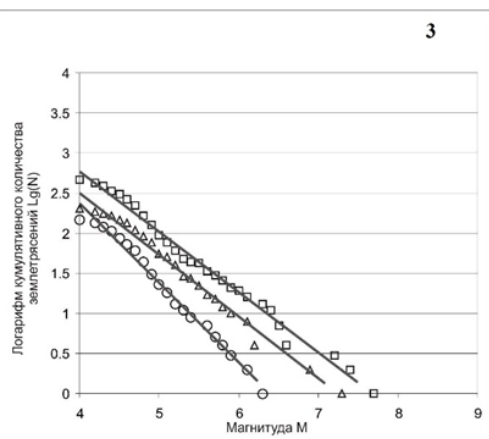
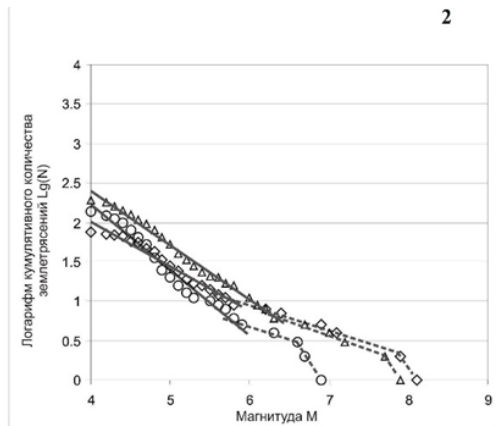
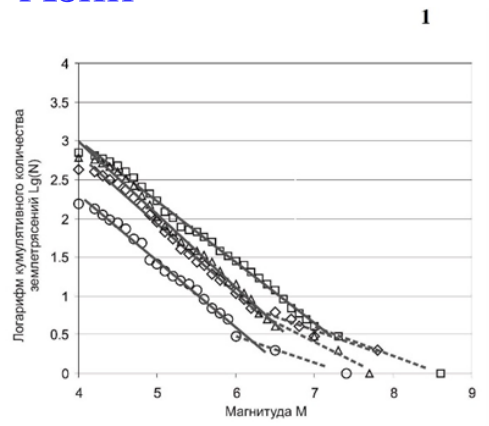
Слушатели приглашаются критиковать



ОСОБЫЙ СЛУЧАЙ – характеристические события (которых может и нет).

Типизация поведения хвоста графиков
повторяемости землетрясений в
окрестности региональных
сейсмоактивных разломов Центральной
Азии

Тип графика повторяемости	Реализуется ли режим характеристичес- ких землетрясений	Достаточен ли интервал времени наблюдения для формирования загиба вниз графика повторяемости
1	да	нет
2	да	да
3	нет	нет
4	нет	да



6 регионов по каталогу GCMT – аналогично?

Разные типы графиков повторяемости для землетрясений, приуроченных к разным разломам, цифрами 1 – 4, даны типы графиков повторяемости по табл. 1Ф, разными значками даны данные для разных разломных зон [Шерман и др., 2017].

РЕЗЮМЕ

Оптимальный метод оценки сейсмической опасности зависит от

- 1) Информации о сейсмическом режиме*
- 2) Конкретной решаемой задачи.*

По мере роста требований на учет роли редких сильных событий можно, видимо, рекомендовать последовательность:

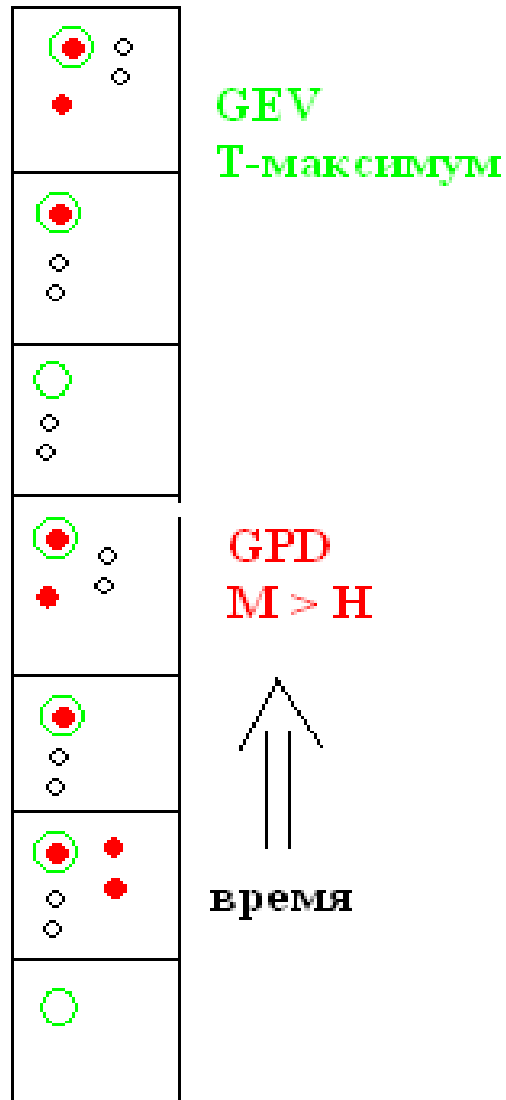
- Модель УГР*
- Модель определения параметров перехода на линейный режим накопленного ущерба (эффекта)*
- Модель на основе предельных распределений : GPD, GEV*
- Комбинированную модель ГР - GPD*

Вышесказанное, в целом, касается и проблем ущербов (в частности, страхования) от землетрясений и иных видов катастроф.

А также и других «видов черных лебедей»

Short-term change in regime of loss values, social aspect

Подходы на основе предельных распределений: Обобщенного распределения экстремальных значений (GEV) и Обобщенного распределения Парето (GPD) теории экстремальных значений



ПОЯСНЕНИЕ МЕТОДИКИ

2 предельных распределения

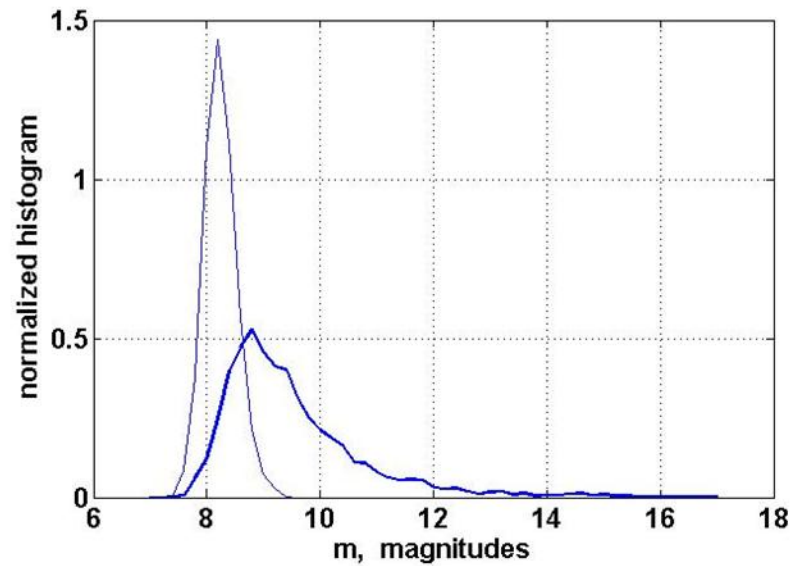
- 2 подхода к описанию хвоста

распределения (к распределению редких сильных событий):

1. Рассматриваются события
превосходящие некоторый уровень,
 $M > H$.
Метод GPD

2. Рассматривается распределение
максимальных значений за некие
равные интервалы времени.
Метод GEV.

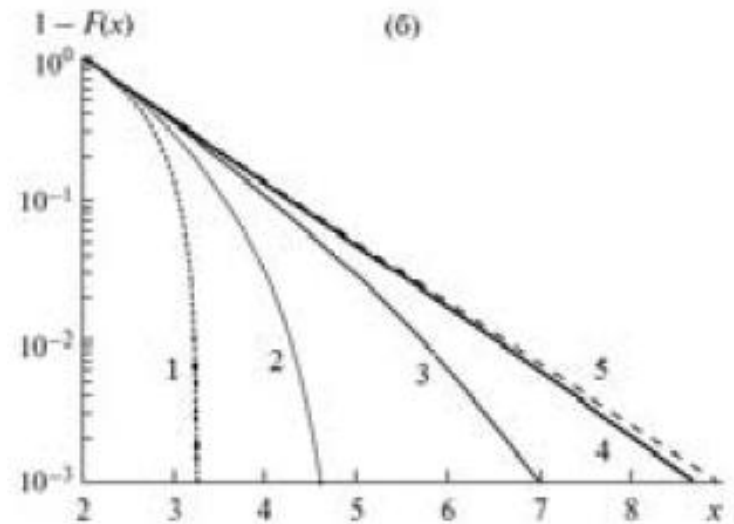
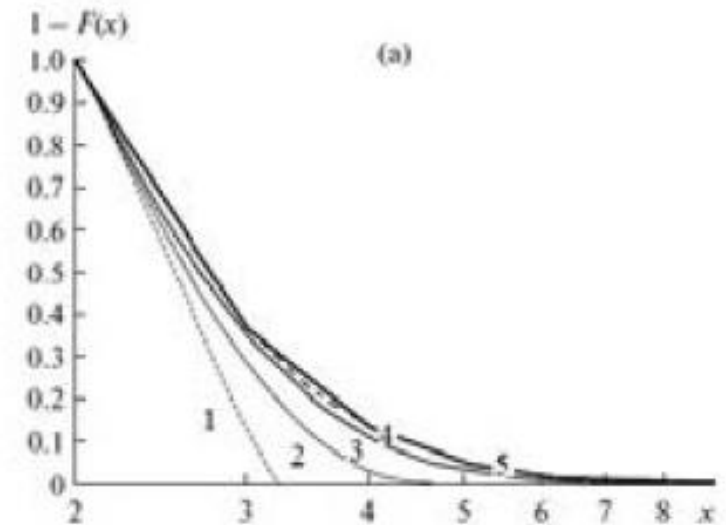
Short-term change in regime of loss values, social aspect



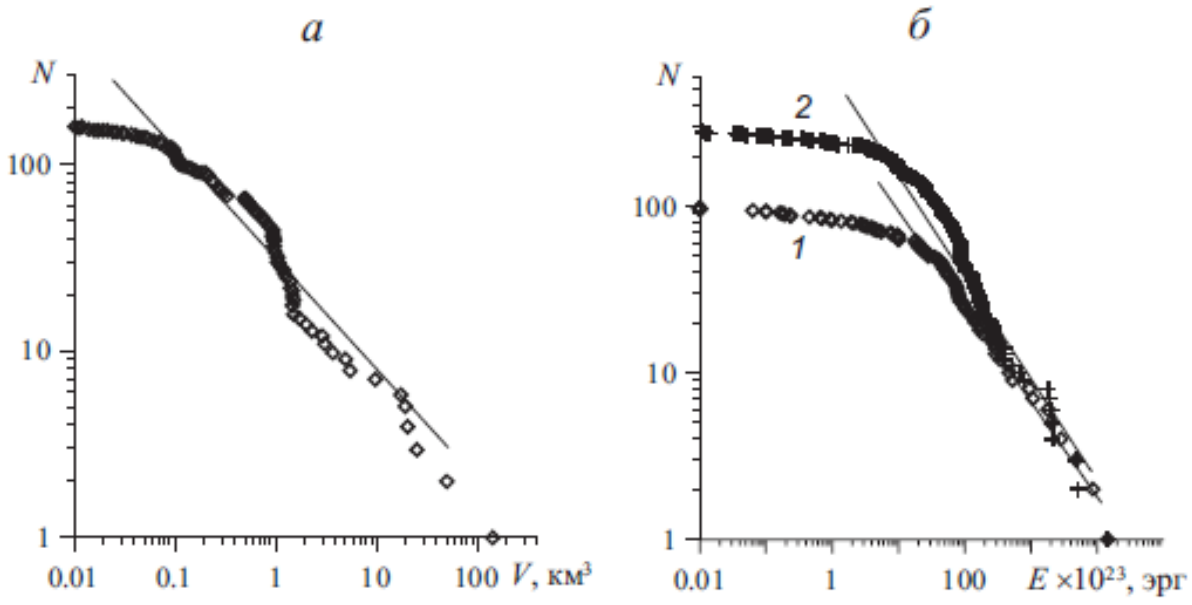
The normalized histograms (estimates of the probability densities) of M_{max} – bold line, and $Q_{50}(0.95)$ – thin line; the histogram bin equals 0.2.

Short-term change in regime of loss values,
social aspect

Хвост GPD-распределения для разных значений параметра формы ξ : -0.8 (кривая 1); -0.35 (кривая 2); -0.1 (кривая 3); -0.01 (кривая 4) и 0 (кривая 5). Для всех графиков $h = 2, s = 1$. Для облегчения понимания поведения функции ось y дана в линейном (a) и логарифмическом масштабе (b).

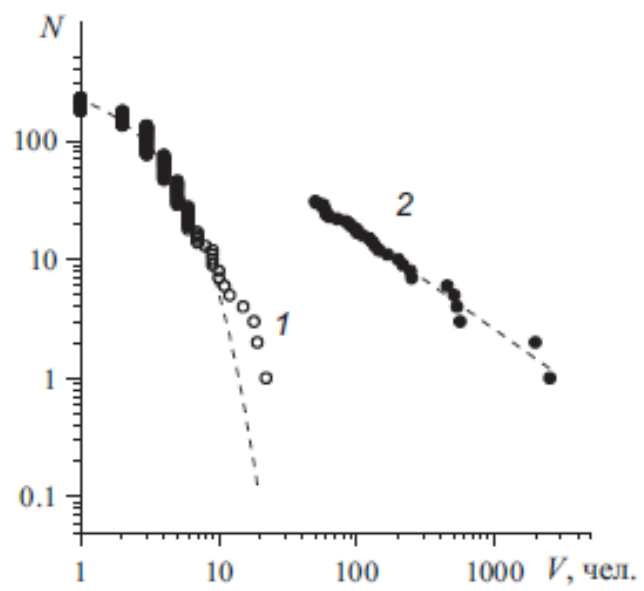
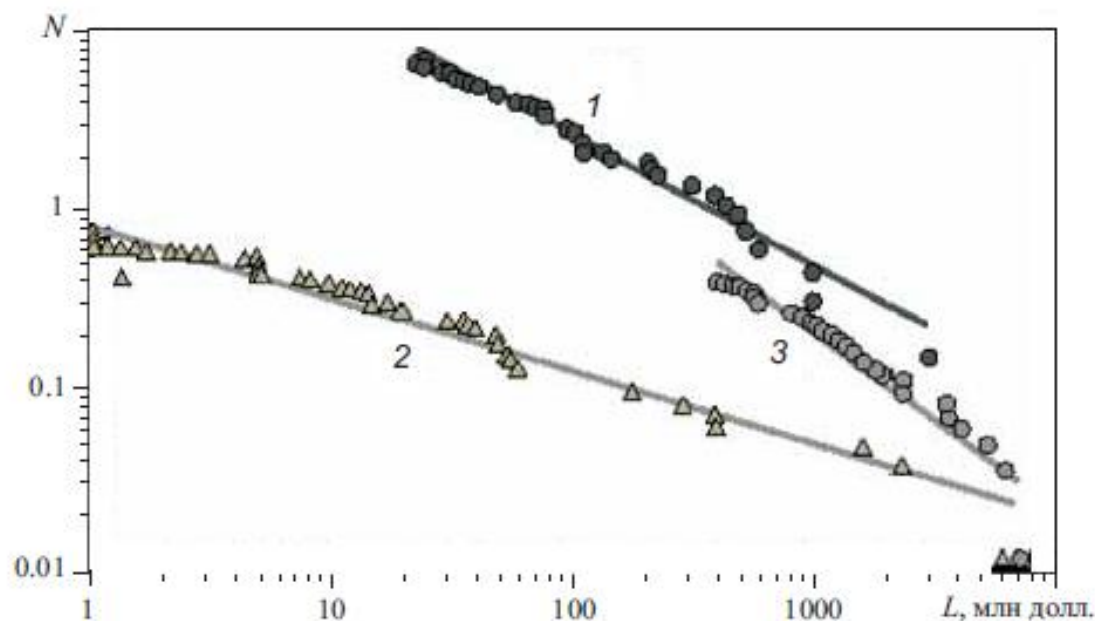


Short-term change in regime of loss values, social aspect



Дополнительные $N(1 - F(x))$ ненормированные эмпирические функции распределения объемов V выброшенного при извержениях вещества(а) и значений энергии извержений E (б): 1 – по данным каталога [Гущенко, 1979]; 2 – с добавлением значений энергии, рассчитанных из регрессионных соотношений с объемом выброшенного вещества. Линиями показаны аппроксимирующие степенные законы распределения

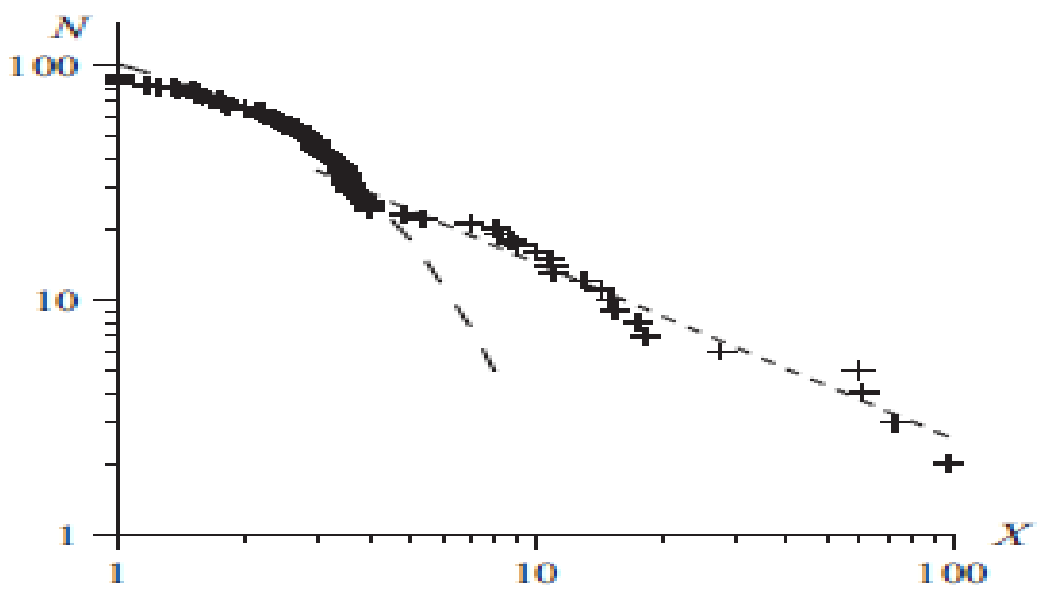
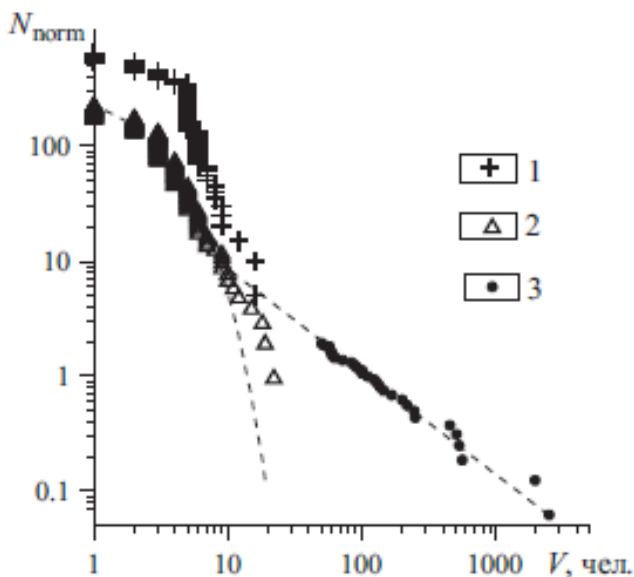
Short-term change in regime of loss values, social aspect



Дополнительные $N(1 - F(x))$ ненормированные функции распределения величин экономических потерь L в США от единичных событий (млн долл.) за год для наводнений (1), землетрясений (2) и ураганов (3). Данные за 1900–1989 гг. (землетрясения и ураганы) и за 1986–1992 гг. (наводнения). Линиями показаны графики аппроксимирующих степенных распределений со значениями показателя степени $\beta = 0.74$ (для наводнений), $\beta = 0.98$ (для ураганов) и $\beta = 0.41$ (для землетрясений)

. Дополнительные $N(1 - F(x))$ ненормированные функции распределения числа жертв V при взрывах и пожарах в РФ в 1992–1996 гг., по данным [Шахрамьян и др., 1998], (1) и при крупнейших техногенных катастрофах, по мировым данным за 1900–1988 гг. [Порфирьев, 1989], (2). Пунктиром показаны аппроксимирующие законы распределения: экспоненциальный для (1) и степенной для (2)

Short-term change in regime of loss values, social aspect



Распределение числа событий N_{norm} , нормированных для 5-летнего интервала времени с числом жертв не менее V при техногенных катастрофах: 1 – жертвы при дорожно-транспортных происшествиях, по [Проблемы . . . , 1999 гг.]; 2 – жертвы при пожарах и взрывах [Шахрамьян и др., 1998]; 3 – сильнейшие техногенные катастрофы мира [Порфирьев, 1989]. Данные пересчитаны к ожидаемому числу событий за 5 лет, N_{norm} . Штриховыми линиями показаны соответствующие аппроксимирующие законы распределения

Результаты моделирования схемой смешанного каскада (2.21). Крестики – модельное распределение значений X ; пунктиром показаны экспоненциальный и степенной законы распределения

•Представлен ряд подходов к описанию степенных распределений, применимых в зависимости от объёма статистических данных (времени наблюдения). Каждый последующий уровень описания демонстрирует ограниченность предыдущего.

•Уровень 1, нет событий близких к максимально возможным. Тенденция нелинейного роста величин эффекта со временем (длиной ряда); показана некорректность интерпретации как указания на нестационарность (например, как бы быстрый рост ущерба от природных катастроф)

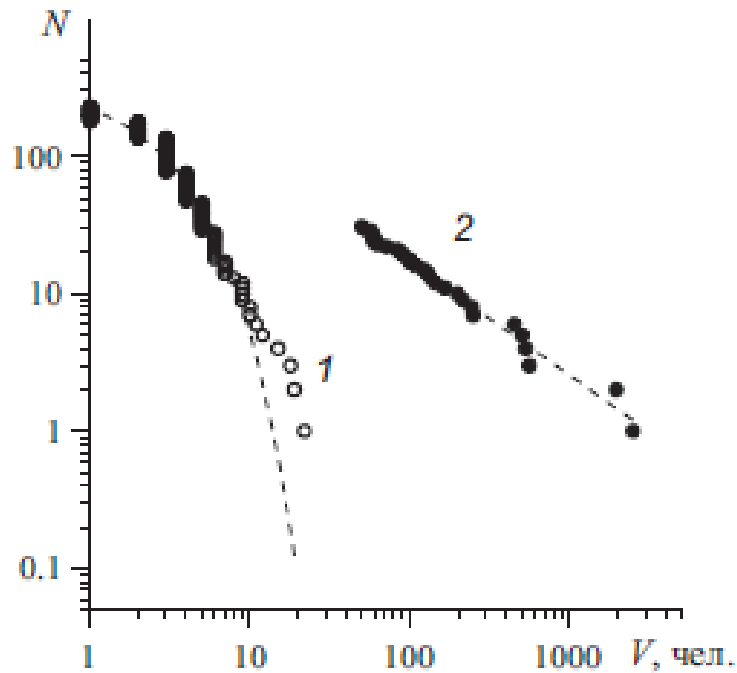
•Уровень 2, несколько событий близких к максимально возможным. Предложена робастная характеристика M_c – типичного максимального события и способ ее оценки. M_c характеризует самые опасные события. Устойчивая характеристика для сейсмотектонического районирования, оценок тенденций временных изменений ущербов от природных катастроф, иные применения.

•Уровень 3, несколько десятков событий близких к максимальному. Точное описание поведения хвоста распределения ..

•Уровень 3+ ... Ой!!!! А может это ещё и не хвост!!

•*Спасибо за внимание*

Что плохо?



Дополнительные ненормированные функции распределения числа жертв V при (1) взрывах и пожарах в РФ в 1992–1996 гг., по данным [5], и при (2) крупнейших техногенных катастрофах, по мировым данным за 1900–1988 гг., по [6]. Пунктиром показаны аппроксимирующие законы распределения: экспоненциальный для (1) и степенной для (2)

Результаты применения методов теории экстремальных значений:

1. Показано, что распределение редких сильнейших событий не только (вполне ожидаемо) имеет конечное среднее значение, но даже и описывается конечным распределением ($\xi < 0$). Значения параметра формы часто оказываются слабоизменчивыми - $\xi = -0.2 \pm 0.1$ (???)
2. Для Японии была показана значительная вероятность реализации землетрясений Mw9 и 9+ (Pisarenko et al., 2010), что подтвердилось возникновением мегаземлетрясения Тохоку (Mw9, 2011)
3. Значение $M_{\max}$ существует (распределение конечно), но при малых по абсолютной величине значениях ξ неустойчиво ($M_{\max} = h - s/\xi$). Это – математическое выражение необходимости регулярного пересмотра карт ОСР.
4. Вместо неустойчивых значений $M_{\max}$ лучше использовать более устойчивые значения квантилей $Q\tau(q)$ - максимальной магнитуды, реализующейся с вероятностью q ($0.9, 0.95, 0.999$, любое) за будущий интервал времени продолжительностью τ ($10, 50, 500$ лет, любое). *По сути - то же $M_{\max}$, но не абсолютное, а на заданный интервал времени.*