

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Писаренко В.Ф.¹, Родкин М.В.^{1,2}

¹ *ИТПЗ РАН, rodkin@wdcb.ru*

² *ИМГиГ ДВО РАН*

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДА

ПРОБЛЕМА

Задача оценки долгосрочной сейсмической опасности не решена, и наблюдаются значительные расхождения в ее решении. Статистически корректно использование теории экстремальных значений.

Это предусматривает, однако, оценку величины 3-х неизвестных параметров Обобщенного закона распределения экстремальных значений (GEV) или Обобщенного распределения Парето (GPD).

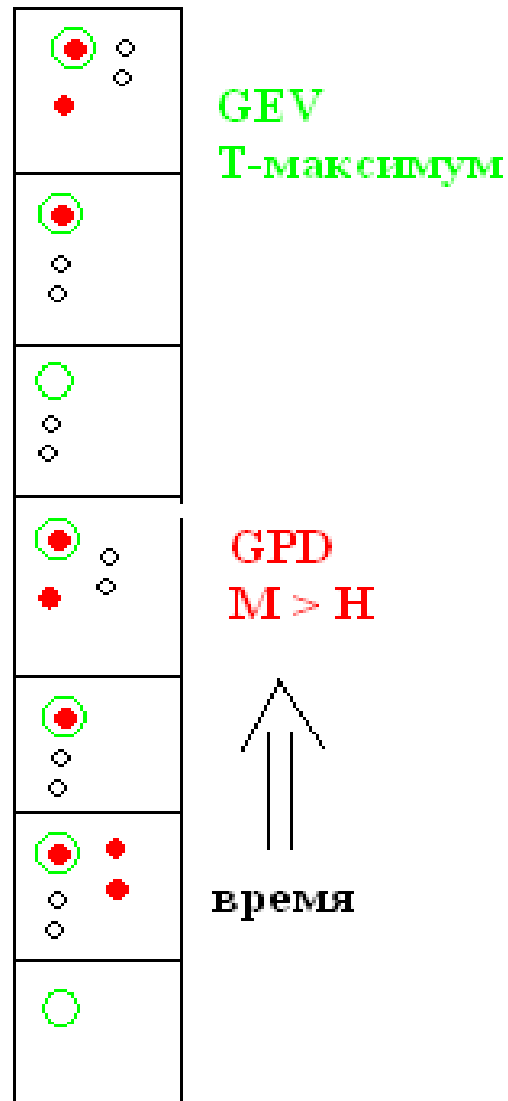
Для оценки неизвестных параметров обычно используется метод максимального правдоподобия (ММП), но он оптимален только при $n > 100-200$ значений, а обычно данных много меньше (хорошо, если десятки).

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДА

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

1. Кроме ММП нами опробован метод квантилей (МК) и метод сейсмических моментов (МСМ). Для GEV оказался точнее МСМ, а для GPD – МК. Но улучшение не кардинально - «пара дюжин процентов».
2. **Варианты решения:** а) 2-х звенная модель когда обычные землетрясения распределены по закону Г-Р, а хвост – по закону GPD. Так удалось получить еще одно соотношение и уменьшить число неизвестных параметров для расчета GPD. б) Разномасштабный подход, в зависимости от магнитуды. Обсуждаются результаты расчетов.
3. По формуле макросейсмического поля рассчитаны пиковые ускорения для Японии, Курильских островов и Камчатки. Обнаружены достаточно устойчивые по времени кластеры повышенных значений PGA. Обсуждается робастность и механизм возникновения этих кластеров.

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,
 $M > N$.

Метод GPD

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

Метод GEV.

«Блеск» метода GEV-GPD

Статистическая обоснованность метода.

Особо показательные успехи расчетов:

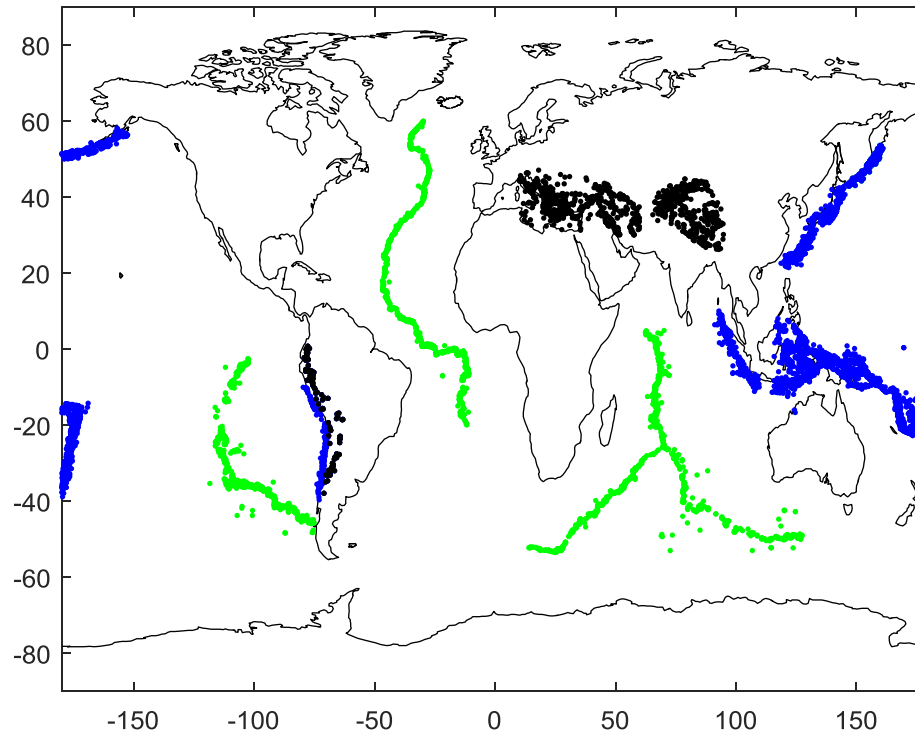
а) «все реально измеряемые величины конечны, Земля конечна тоже, бесконечно сильных событий быть не может, безграничных распределений соответственно тоже»

*Анализ различного рода данных, как правило, дает оценку $\xi < 0$, соответственно **распределения ожидаемо конечны.***

б) По результатам анализа сейсмичности Японии (Pisarenko, Sornette, Rodkin, 2010), была показана значительная вероятность возникновения в Японии землетрясений $M9+$. Здесь их ранее НЕ регистрировалось по инструментальным и по историческим данным (с 869 года).

*Тохоку произошло через год, и подтвердило наши оценки. Т.е., **результаты расчетов методом предельных распределений оказались весьма точными.***

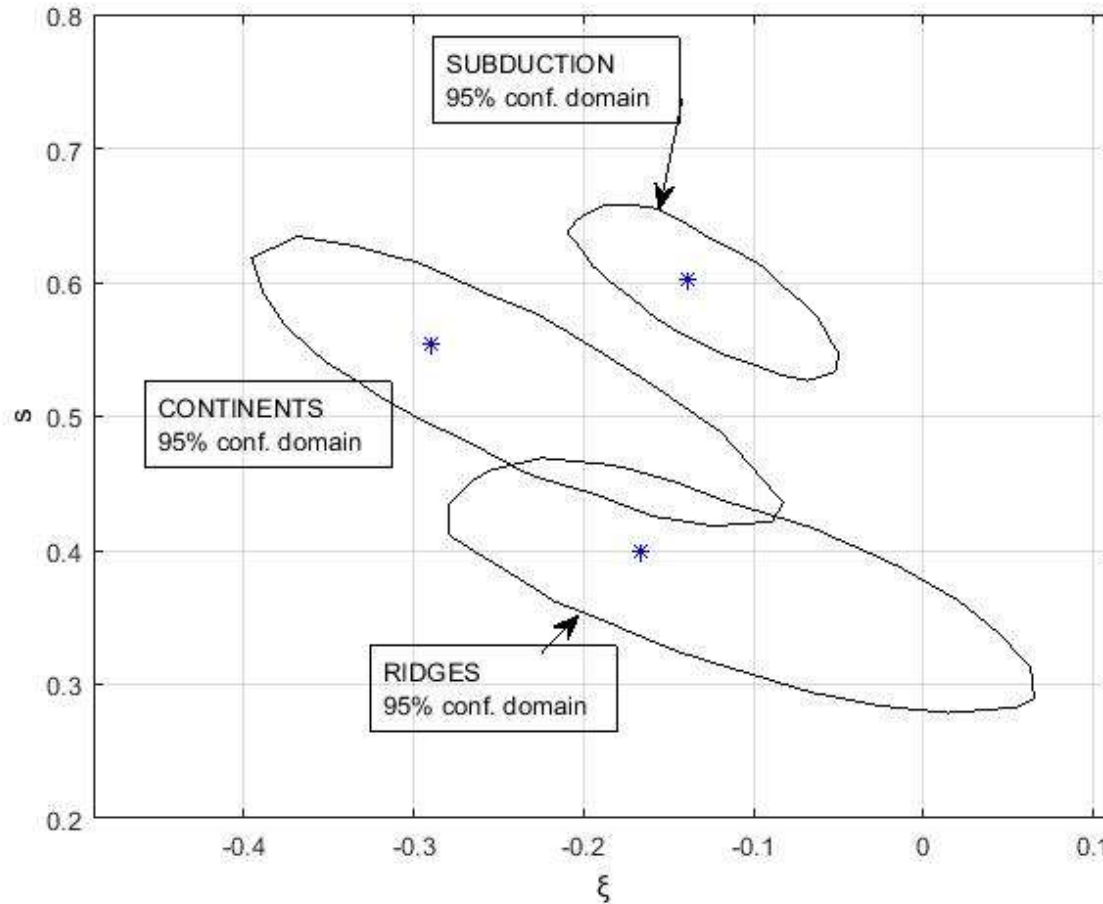
Данные для выбора наилучшего метода расчета 3-х неизвестных параметров GPD или GEV.



Сформированы 3 виртуальные совокупности: зоны субдукции, области внутриконтинентальной сейсмичности, зоны срединно-океанических хребтов.

Расположение основных толчков: зоны субдукции (синие точки), срединно-океанические хребты (зеленые), внутриконтинентальная сейсмичность (черные).

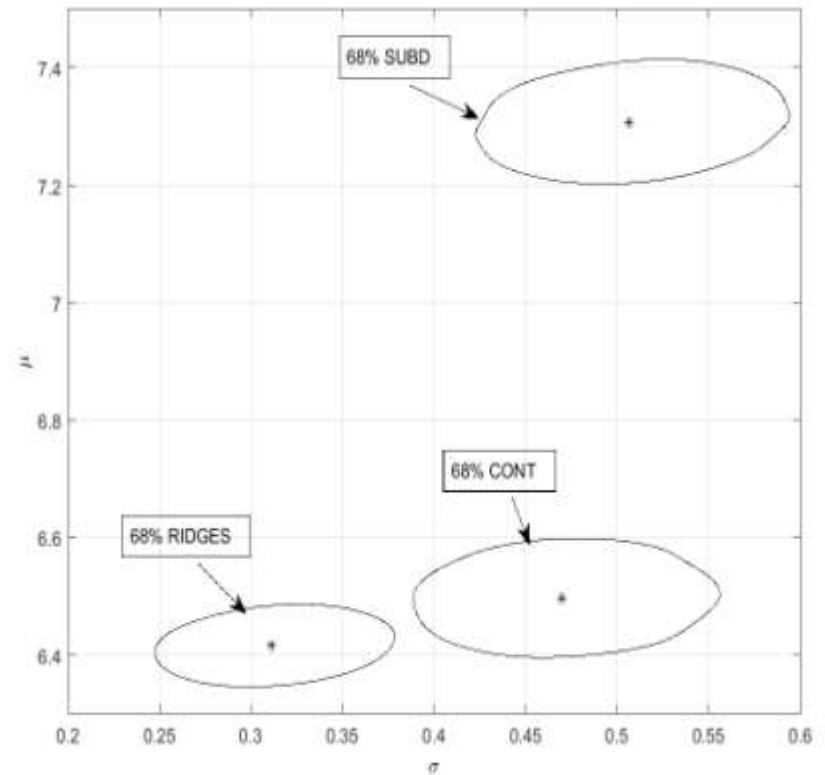
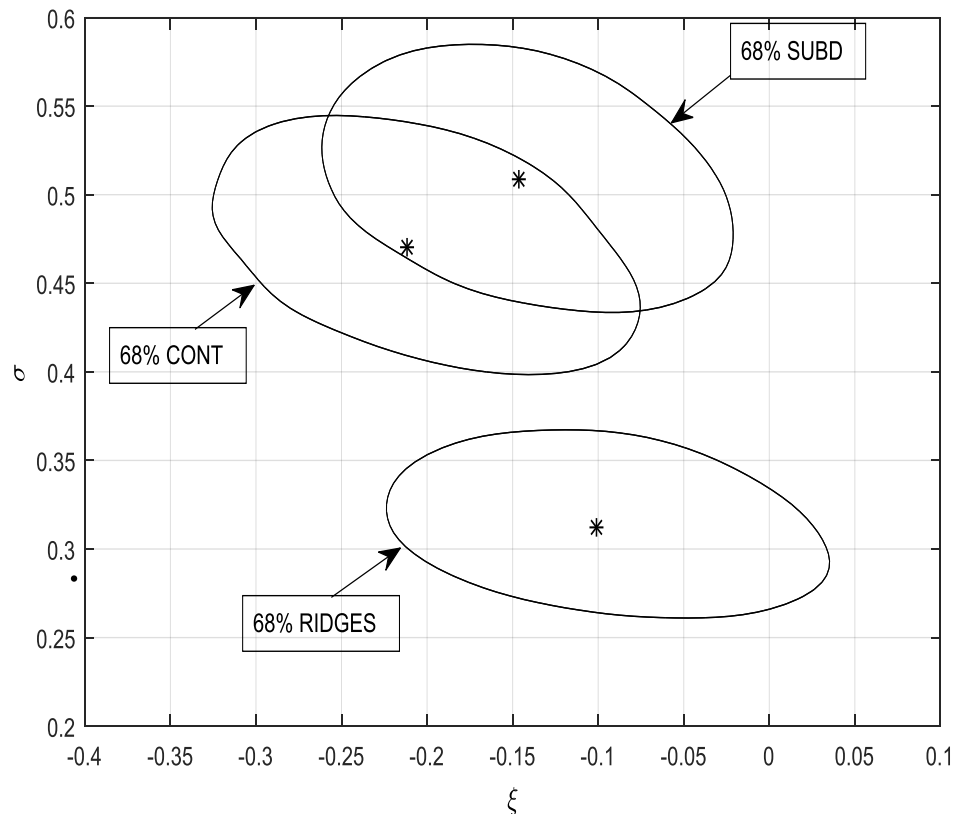
Доверительные 68%-ные области изменения (ξ , s) параметров **GPD**
распределения для зон субдукции, внутриконтинентальной сейсмичности и
срединно-океанических хребтов.



2D 68% - области
доверия для пар
соответствующих
параметров
распределения.

**Видно различие характерных значений пар параметров для
разных сеймотектонических ситуаций**

Аналогично видно
различие для пар
значений параметров
 ξ , σ , μ
для **GEV** распределения



Видно различие характерных значений параметров для разных сейсмотектонических ситуаций - ранее (Y.Kagan) обосновывалась универсальность графика повторяемости сейсмических моментов (кроме зон COX)

Новая 2-х звенная модель закона повторяемости: закон Гутенберга-Рихтера + GPD (для хвоста распределения)

Выигрыш: условие гладкого сопряжения обычного закона Г-Р и GPD дает соотношение

$$s = (1+\xi)/b. \quad \text{Отсюда определяем параметр } s$$

На выходе для решения получаем систему уравнений:

$$F(m) = \begin{cases} C1\{1 - \exp[-b \cdot (m - m_0)]\}; & m_0 \leq m \leq h \\ C3 + C2\{1 - [1 + (m - h)\xi b / (1 + \xi)]^{-1/\xi}\}; & \text{для } h \leq m \leq M_{\max} = h - (1 + \xi)/(b \cdot \xi), \quad -1 < \xi < 0; \end{cases}$$

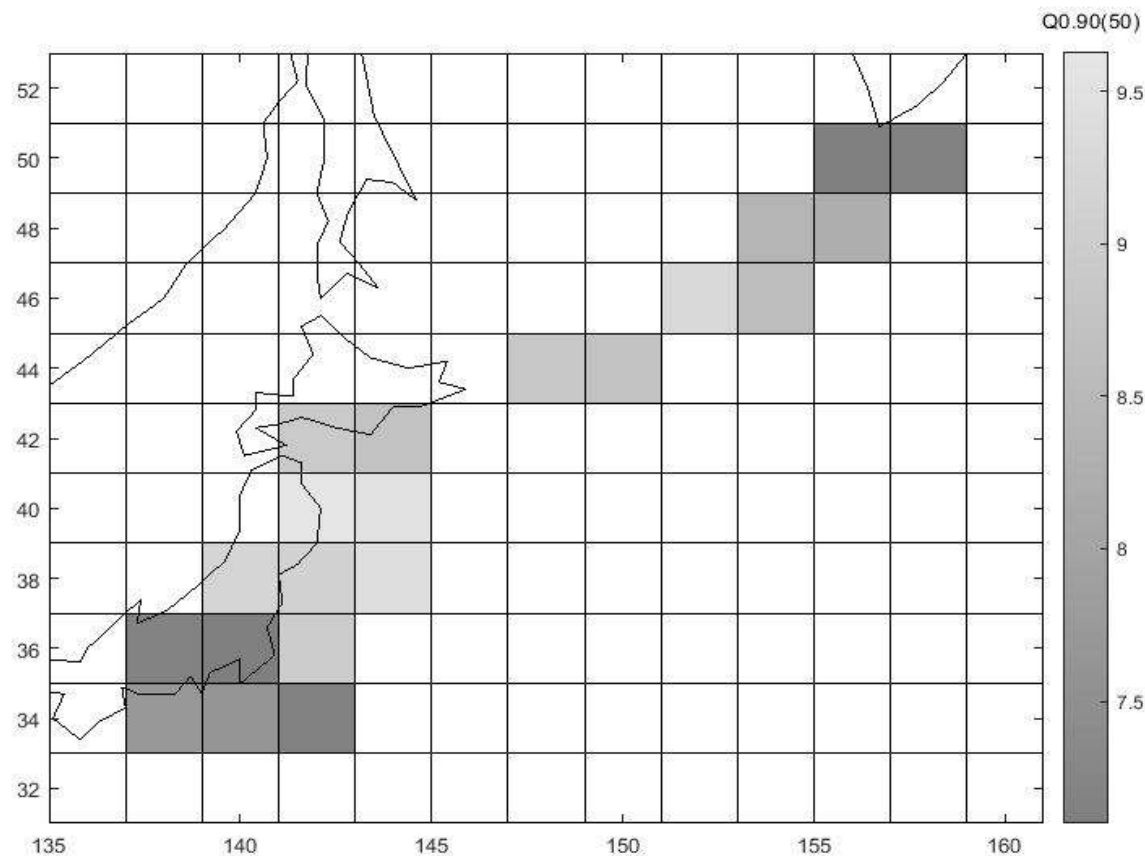
где:

$$C1 = 1 / (1 + \xi \exp[-b \cdot (h - m_0)]);$$

$$C2 = (1 + \xi) \exp[-b \cdot (h - m_0)] / (1 + \xi \exp[-b \cdot (h - m_0)]);$$

$$C3 = \{1 - \exp[-b \cdot (h - m_0)]\} / (1 + \xi \exp[-b \cdot (h - m_0)]);$$

С использованием 2-х звенной модели – нового варианта закона повторяемости землетрясений – удастся в расчетах квантилей $M_q(T) - M_{\max}$ – за время T с вероятностью q – выйти на уровень пространственного разрешения, сравнимого с масштабом карт ОСР



Пример: схема пространственного расположения значений квантиля $Q_{0.9}(50)$.

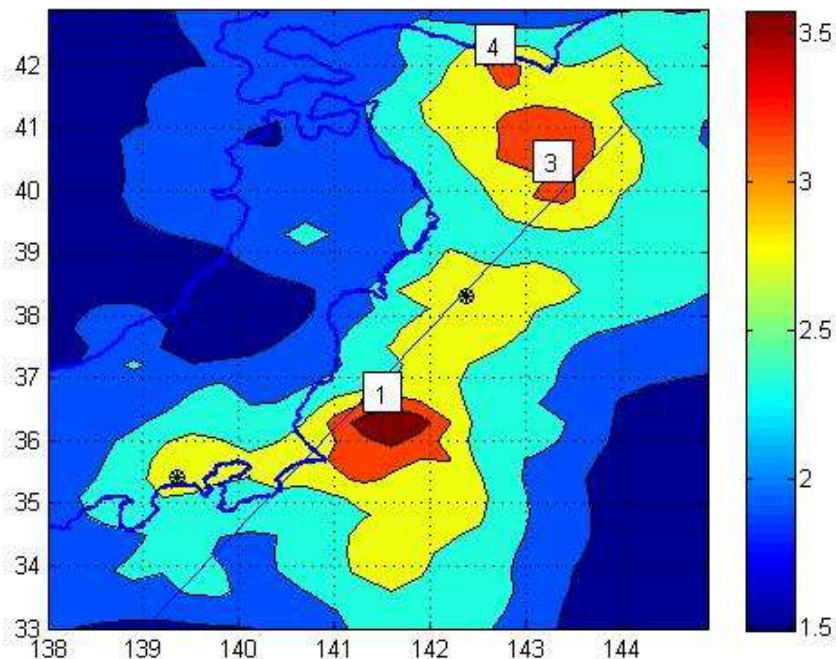
Расчет карто-схем максимальных ускорений PGA
использовано (упрощенное) соотношение
Ф.Ф.Аптикаева для ускорения в ближней зоне

$$\lg(A) = \begin{array}{ll} 2.76; & \rho \leq 1; \\ 2.76 - 0.55 \cdot \lg(\rho); & 1 \leq \rho \leq 10; \\ 3.50 - 1.29 \cdot \lg(\rho); & \rho \geq 10. \end{array}$$

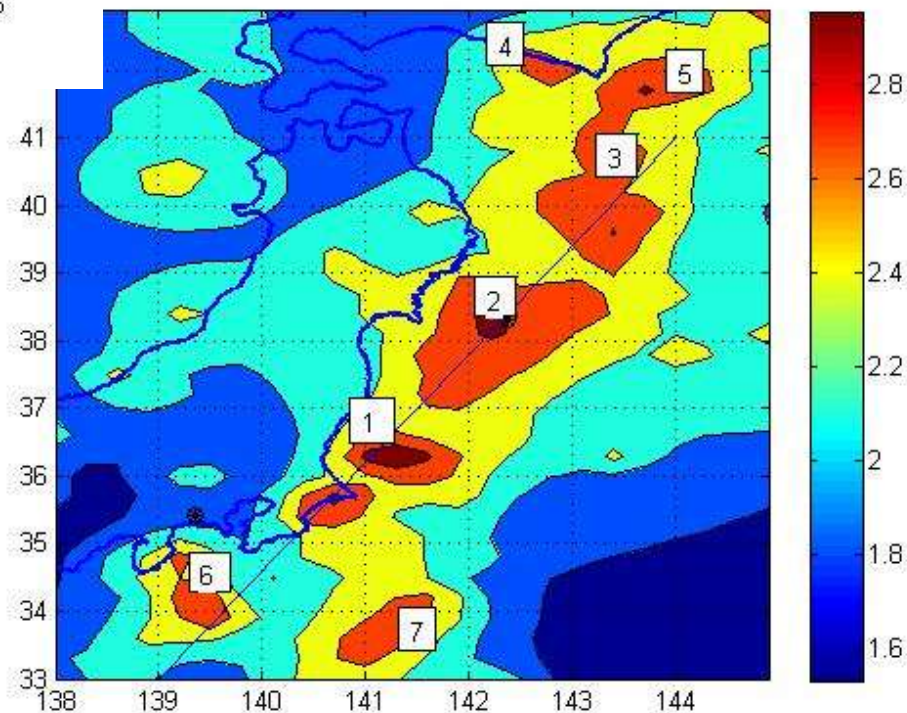
где

$$\rho = R \cdot 10^{-0.325 \cdot (M - 5)}$$

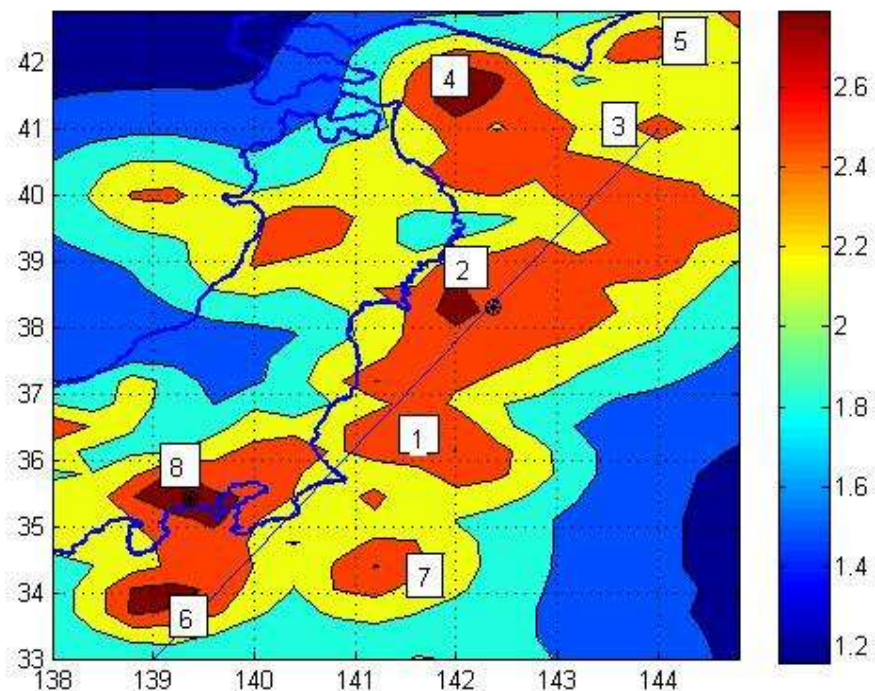
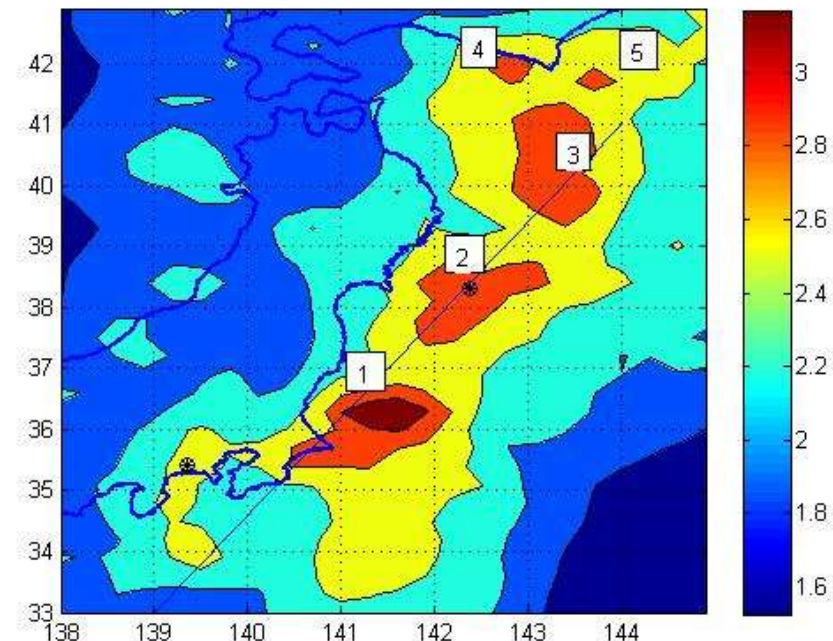
Линии квантилей $\lg(PGA)$ Япония
 $Q_{0.90}$ (50 лет) каталог ISC-GEM
 1904 - 2059



Линии квантилей $\lg(PGA)$
 Япония $Q_{0.90}$ (50 лет) каталс
 ISC-GEM 1960 - 2014

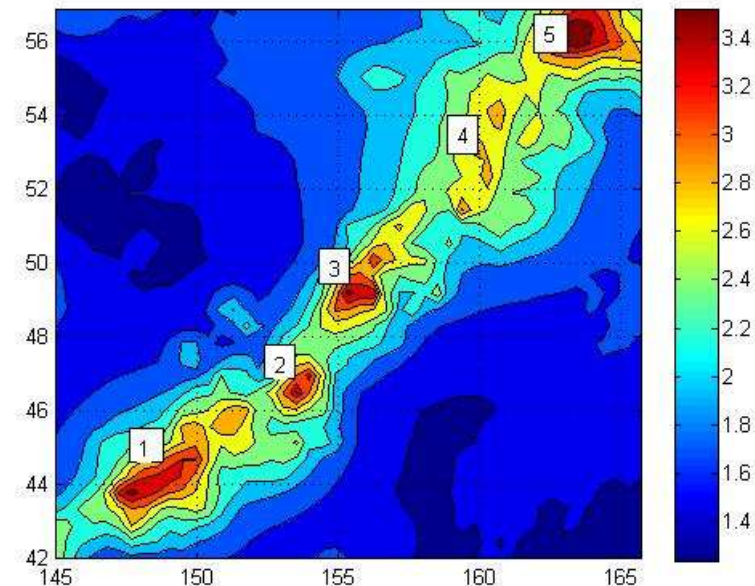
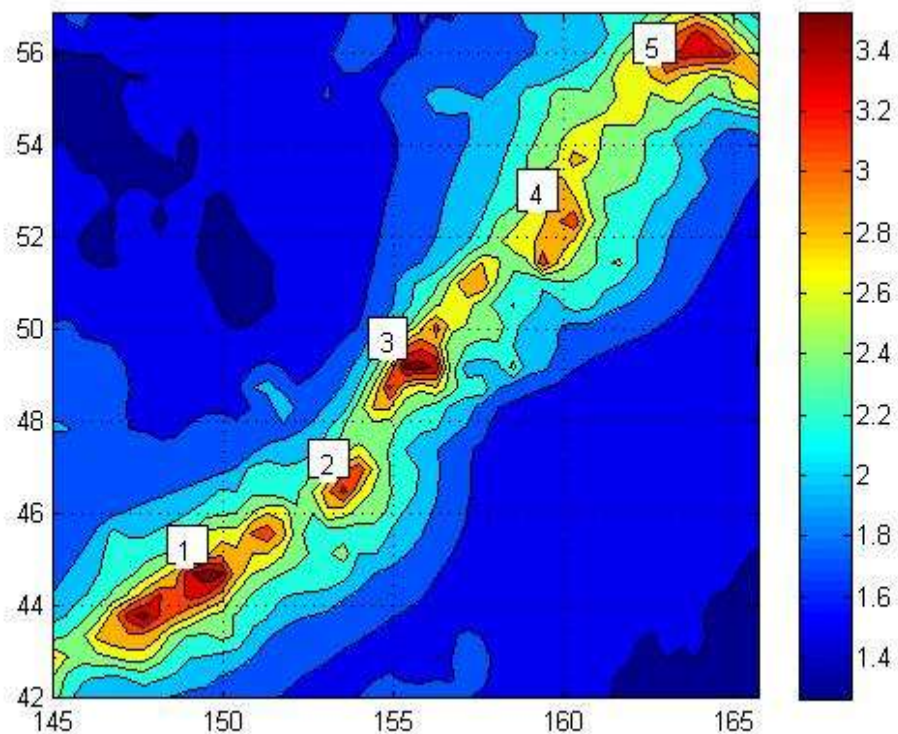


Линии уровня квантилей $Q_{0.90(50)}$
логарифма ускорений для Японии по
данным каталога *ISC-GEM* 1904 –
2011 гг.



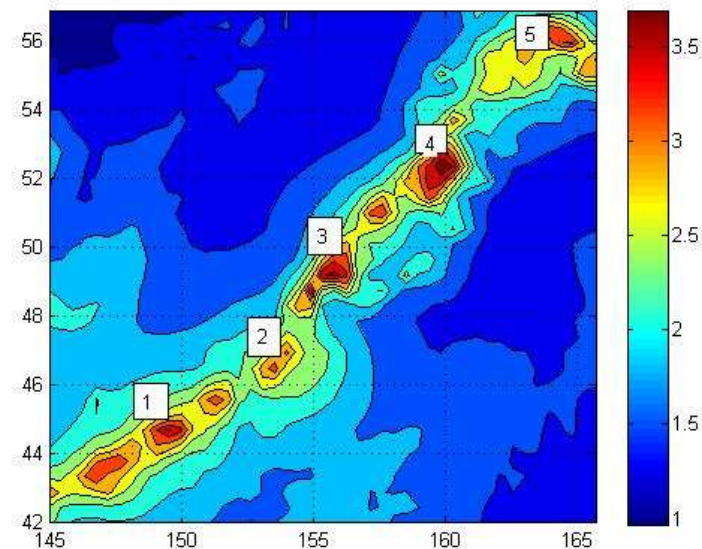
Линии уровня квантилей
 $Q_{0.90(50)}$ логарифма ускорений
для Японии по данным каталога
Утсу, 1885 – 1925 гг Исторический
каталог

Расчеты по региону Курильских островов



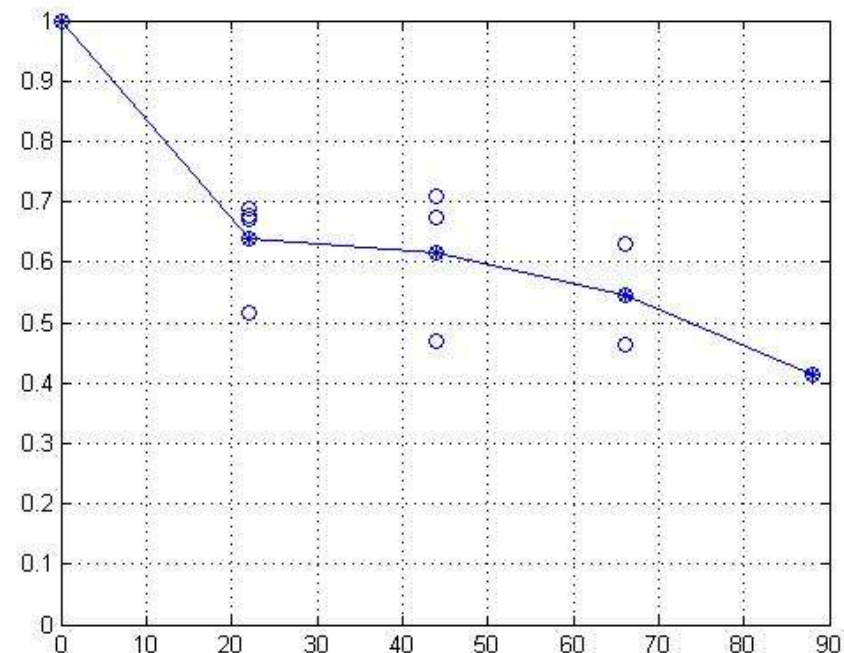
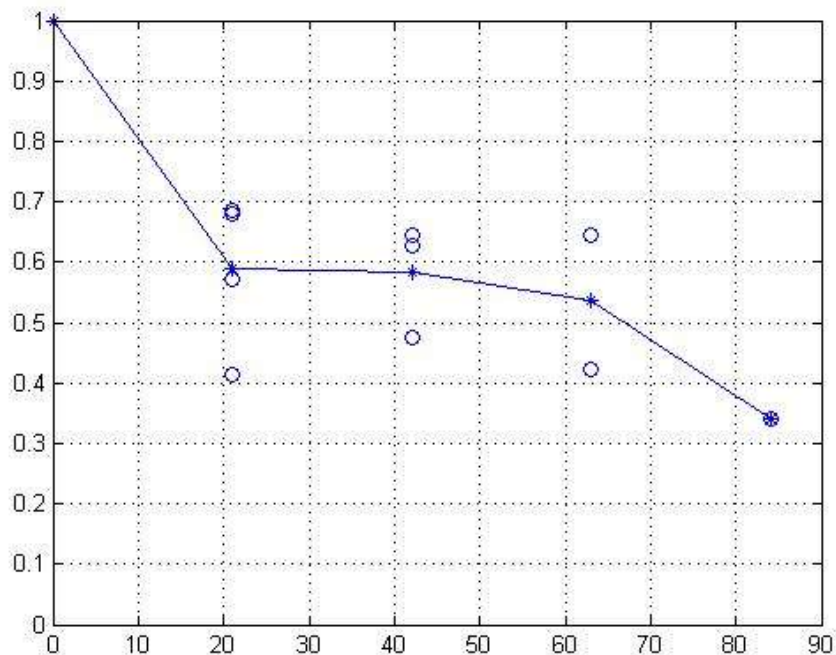
1904-1959.

Каталог ISC-GEM, 1904-2014, регион
Курильские острова.



1960-2014

Зависимость
нормированной корреляции
квантилей $Q_{0.90}(50)$ от лага
времени между
анализируемым
интервалами времени, шаг
по 22 года, регион
Курильские острова.

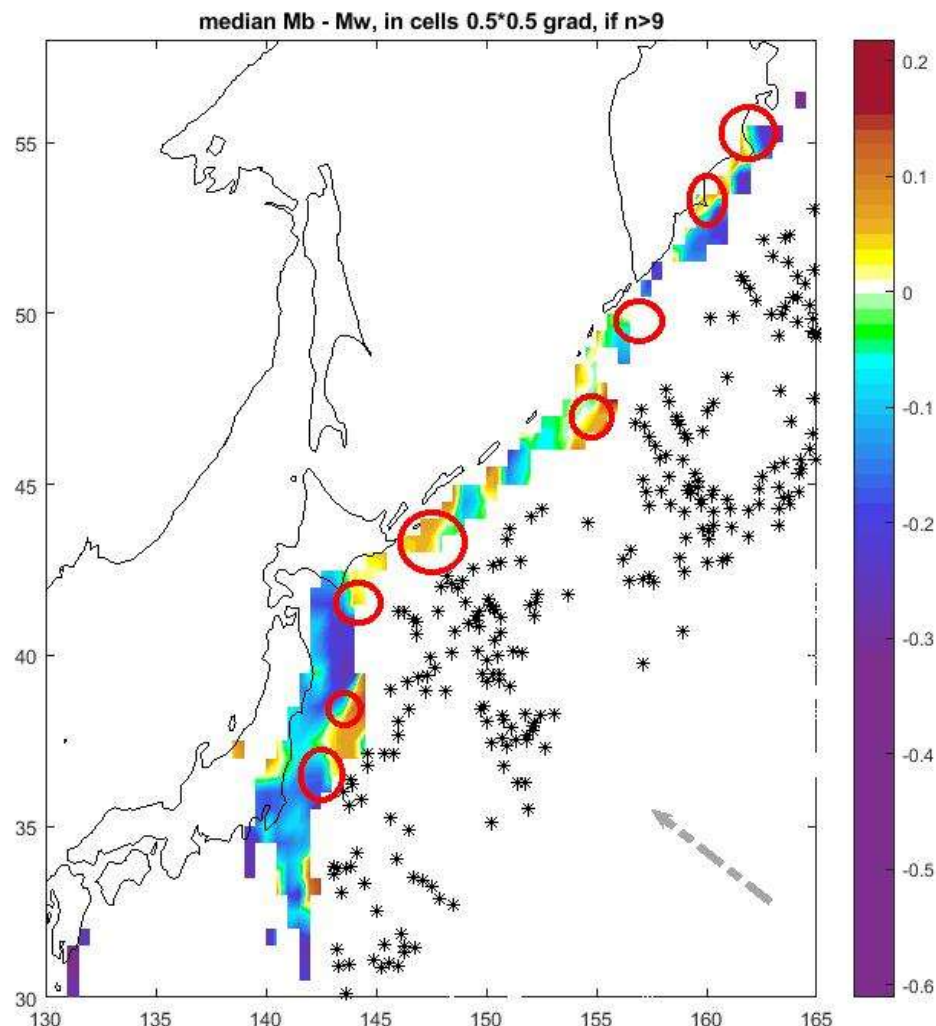


Зависимость
нормированной
корреляции квантилей
 $Q_{0.90}(50)$ от лага
времени между
анализируемым
интервалами времени
по 22 года, регион
Япония.

Геотектоническая позиция кластеров сейсмичности

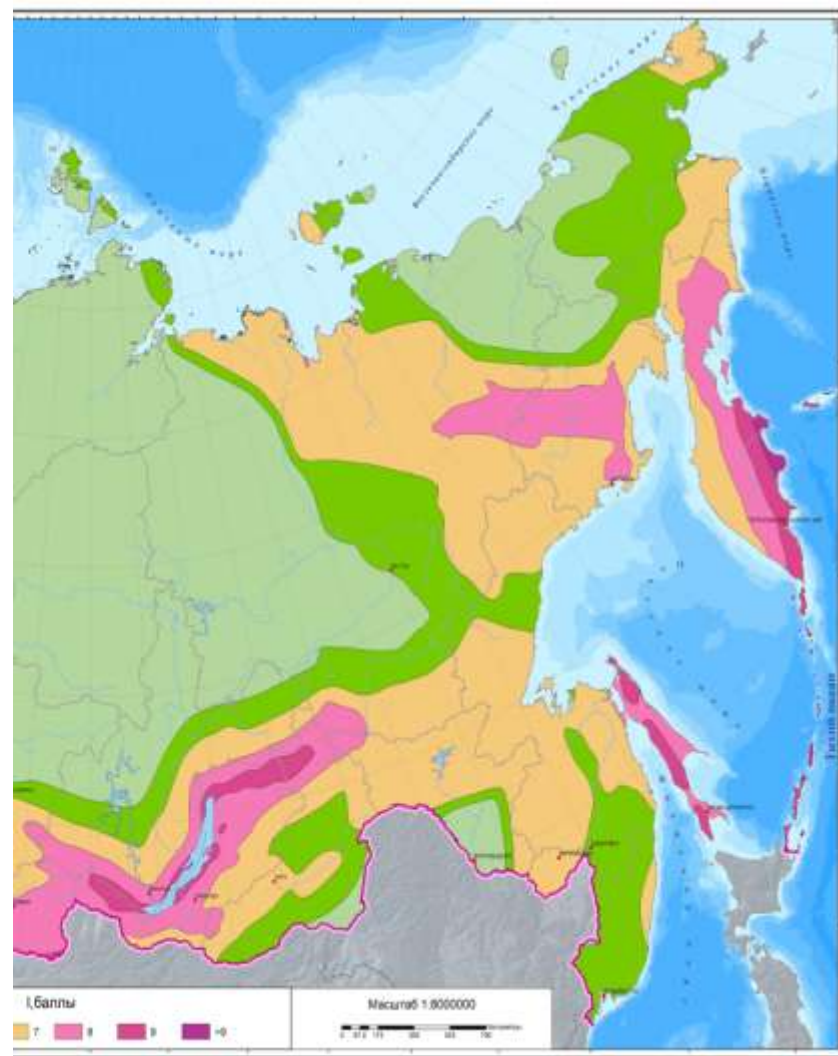
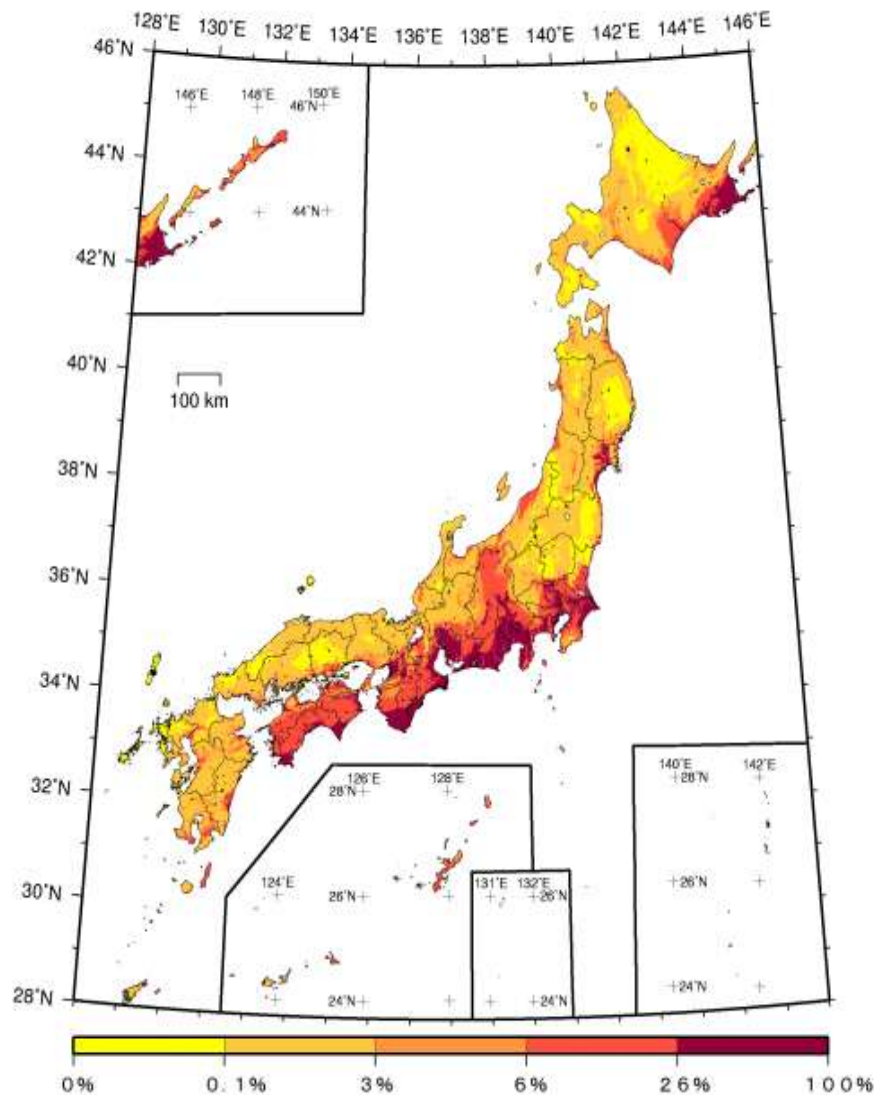
Цветом даны медианы ($M_b - M_w$). Точками – морские горы на прилегающей части Тихоокеанской плиты.

Рост ($M_b - M_w$) отвечает
росту «жесткости» очагов
землетрясений - более
высокочастотное
излучение. Субдукция
морских гор затрудняет
субдукцию и вызывает
более сильные и «жесткие»
землетрясения.



**Представляется полезным
учитывать наличие кластеров
высоких значений PGA при
построении карт ОСР**

Сравнение карт сейсмической опасности Японии и Камчатки



**Вероятность превышения
за 30 лет**

Карта ОСР-2016 А, 1 раз в 500 лет.

Представлен комплекс новых подходов оценки сейсмической опасности на основе развития методов теории экстремальных значений.

Реализовано ряд новых подходов:

1. Кроме метода максимального правдоподобия ММП опробован метод квантилей (МК) и метод сейсмических моментов (МСМ). Для GEV оказался точнее МСМ, а для GPD – МК. Но улучшение не кардинально - «не более пары дюжин процентов».

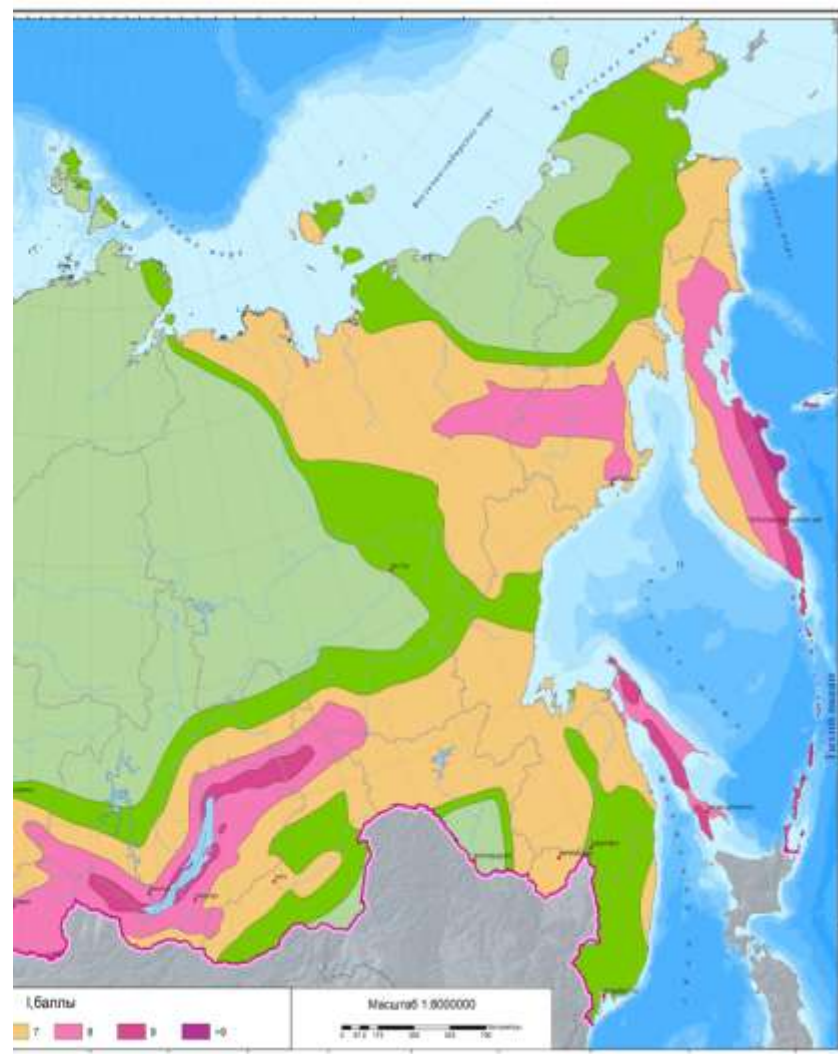
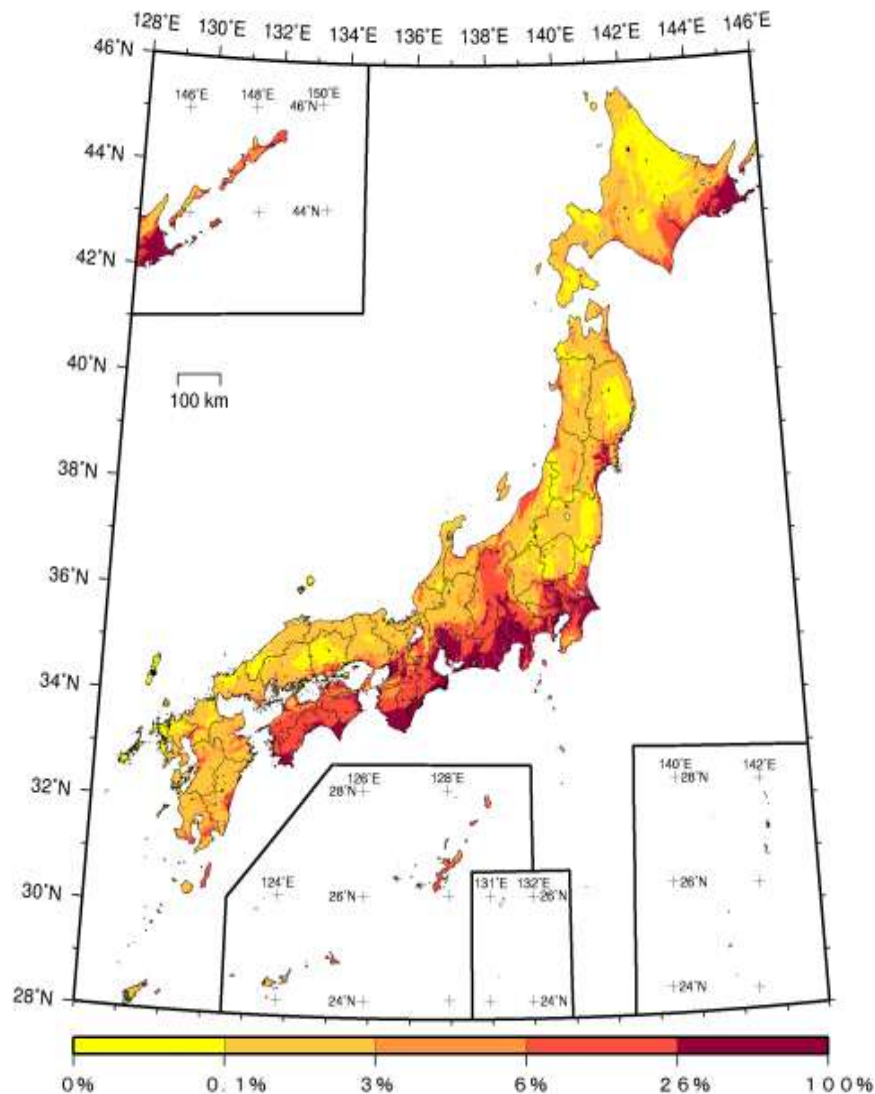
2. Предложена 2-х звенная модель закона повторяемости землетрясений: обычные землетрясения распределены по закону Г-Р, а хвост – по GPD. Отсюда имеем еще одно соотношение и уменьшаем число неизвестных параметров для расчета GPD. В результате получены карто-схемы величин $M_{\max}$ в масштабе приближенном к масштабу карт ОСР

3. Предложен и реализован разномасштабный подход к оценке параметров предельных распределений в зависимости от магнитуды землетрясений (развитие метода Молчана)

4. По принятой формуле макросейсмического поля рассчитана пиковые ускорения PGA для Японии, Курильских островов и Камчатки. Обнаружены достаточно устойчивые по времени кластеры повышенных значений PGA. Предложена геотектоническая интерпретация возникновения кластеров.

Спасибо за внимание

Сравнение карт сейсмической опасности Японии и Камчатки



Вероятность превышения
за 30 лет

Карта ОСР-2016 А

Примеры GPD распределений

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

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

Это является математическим выражением неустойчивости оценок величины M_{max} , $\xi < 0$ при этом часто $\xi \sim 0$.

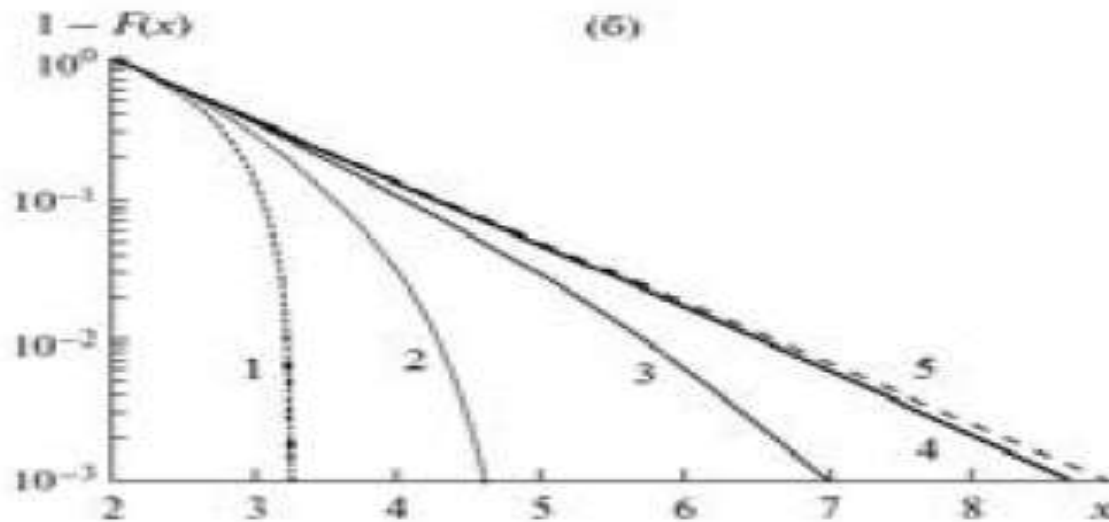
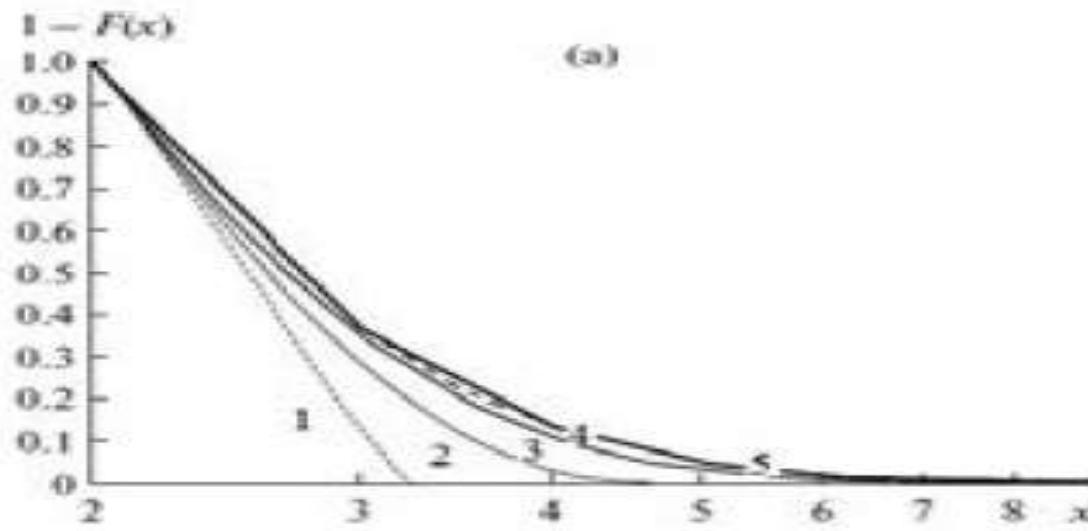


Рис. 1. Хвост GPD-распределения для разных значений параметра формы ξ : -0.8 (кривая 1); -0.35 (кривая 2); -0.1 (кривая 3); -0.01 (кривая 4) и 0 (кривая 5). Для всех графиков $h = 2$, $s = 1$. Для облегчения понимания поведения функции ось y дана в линейном (a) и логарифмическом масштабе (b).