

Некоторые текущие результаты и замыслы по теме

**"Развитие
методов анализа сейсмических
данных в целях изучения очага,
среды, сейсмической опасности"**

Родкин М.В., руководитель темы

Исполнители:

Родкин М.В., Писаренко В.Ф., Рукавишникова Т.А., Никитина М.А.

Ландер А.В., Скоркина А.А., Букчин Б.Г., Фомочкина А.С., Кушнир А.Ф.

Кислов К.В., Гравиров В.В.

Тематика направлений по теме весьма эклектична. Сразу все представить содержательным образом в принципе невозможно.

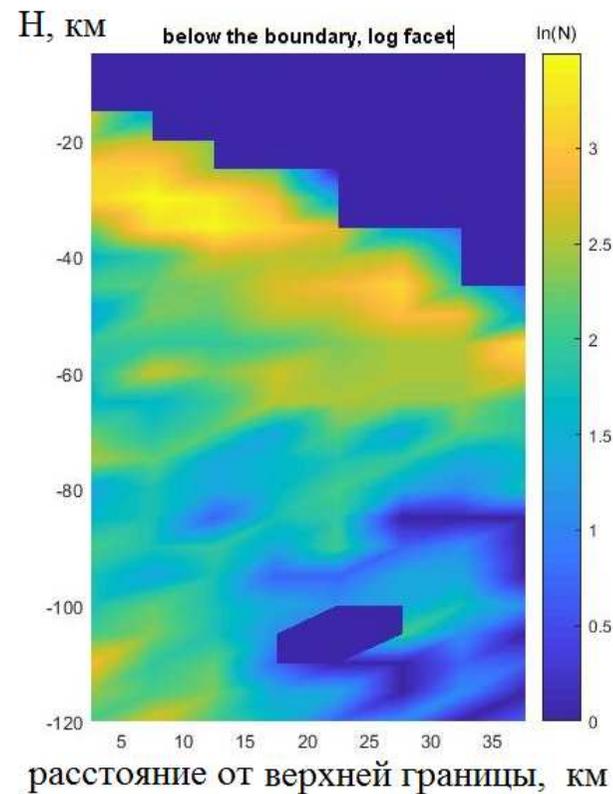
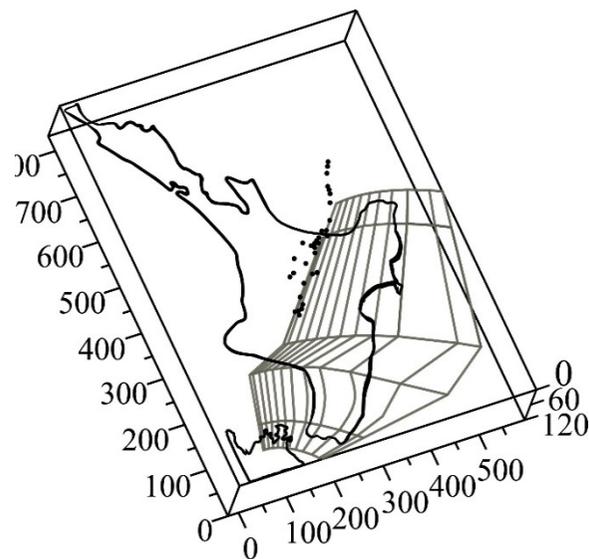
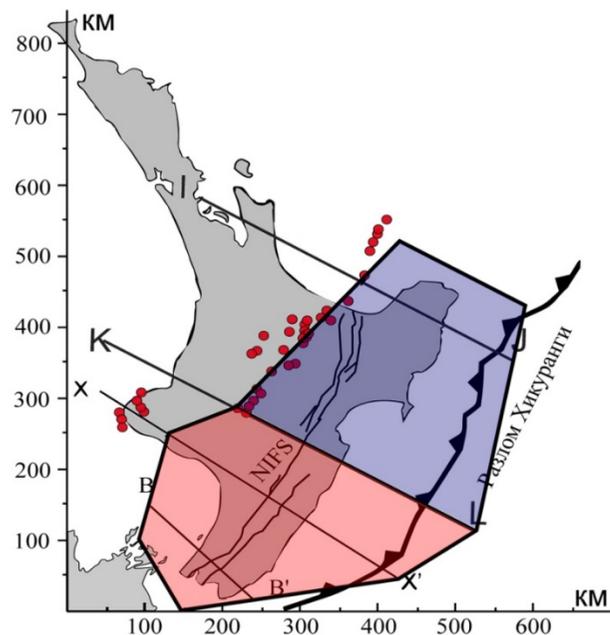
В данном докладе представлена текущая ситуация по направлениям (таблица).
Руководители направлений – В.Ф.Писаренко и М.В.Родкин

Направление исследований	Исполнители	«ассоциированные участники»
Применение методики расчёта предельных распределений теории экстремальных значений к решению задач оценки сейсмического риска	<u>Писаренко В.Ф.</u> , Родкин М.В., Рукавишникова Т.А.	А.А.Любушин
Исследование глубокофокусной сейсмичности	<u>Родкин М.В.</u> , Никитина М.А.	Шмаков И.Г.

Направление 1.

Исследование среднеглубинной сейсмичности

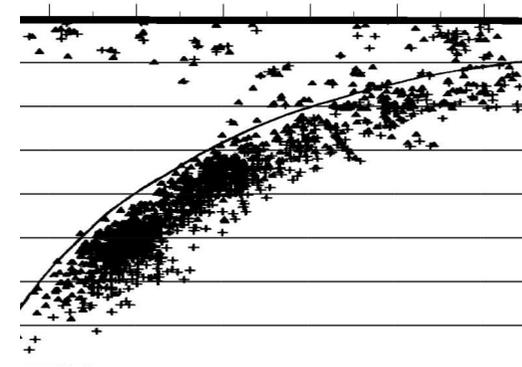
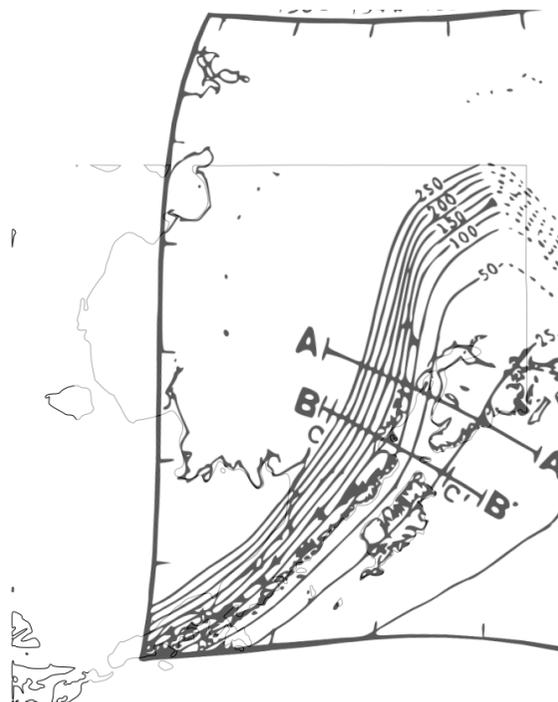
Никитина М.А., Родкин М.В.



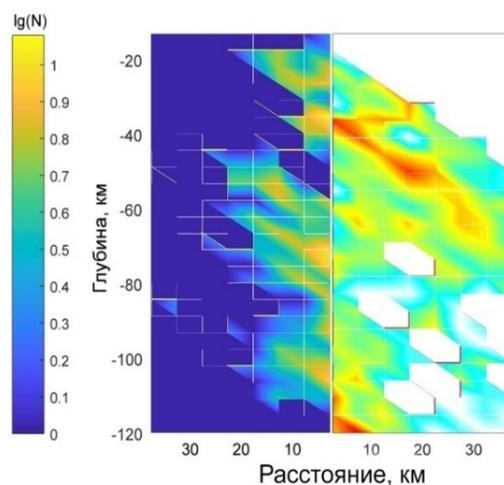
Этапы работы:

1. Выбор зон глубокой сейсмичности с детальной изученностью
2. Построение модели верхней границы погружающейся плиты, методом построения поверхности Кунса
3. Построение разрезов сейсмичности в координатах глубина-расстояние от верхней границы погружающейся плиты
4. Интерпретация

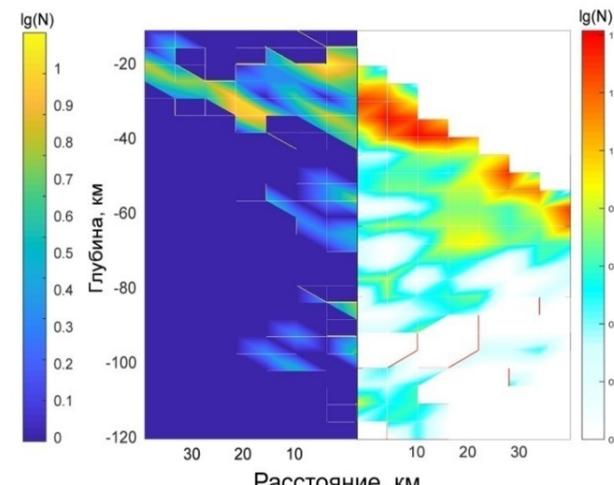
1. Примеры исходных данных (примеры исходных данных справа) и результатов построения плотности очагов под и над поверхности раздела плит для участков зоны субдукции в Н.Зеландии; области с (слева) и без (справа) современного активного вулканизма (слайд внизу).



2. Обнаружение планарных структур высокой сейсмичности.



(a)



(b)

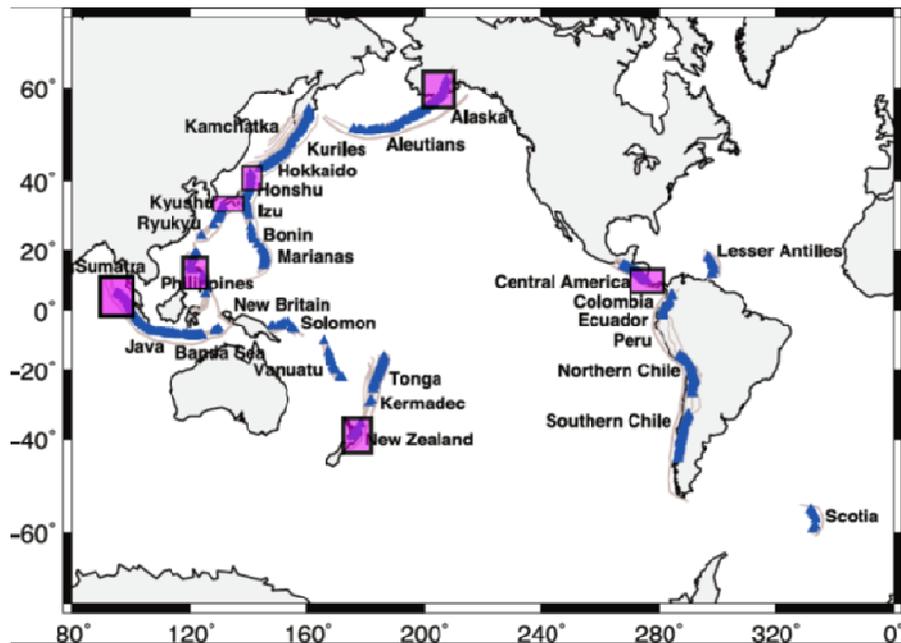
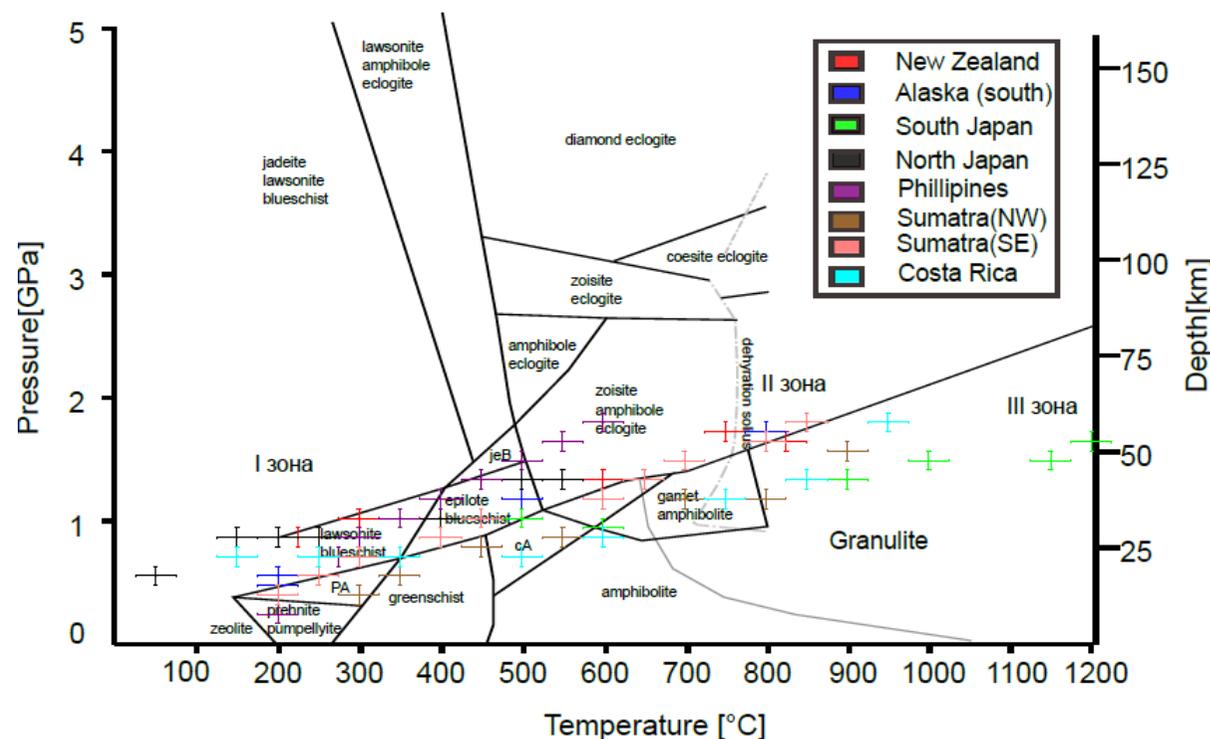


Схема исследованных регионов (рисунок слева)

Сопоставление РТ условий развития этих структур с границами превращений и метаморфических фаций (рисунок внизу)



Предварительные выводы по направлению 1:

Показано (подтверждено), что областям развития активного современного вулканизма на пересечении проекции области вулканизма с верхней границей погружающей плиты отвечает локальный максимум числа землетрясений, приуроченных к границе плит.

Показано существование в верхних частях зон субдукции (в теле погружающихся плит) сейсмически высокоактивных планарных структур, отвечающих определённым соотношениям между давлением и температурой в теле плиты.

Проведено сопоставление предполагаемых (расчётных) РТ условий развития таких структур с РТ условиями основных метаморфических превращений.

Наличие соответствия между РТ условиями развития зон высокой сейсмической активности и РТ условиями основных метаморфических превращений свидетельствовало бы в пользу ранее предложенной (Калинин и др., 1989; Родкин, 1993 и др.) метаморфогенной модели глубокой (не приповерхностной) сейсмичности.

Ответ на этот вопрос пока не ясен.

Публикации, доклады:

Никитина М.А., М.В.Родкин. Среднеглубинные землетрясения и связь сейсмичности зоны субдукции с метаморфизмом и глубинным флюидным режимом для Северного острова Новой Зеландии. Геосистемы переходных зон, 2020, 4, 1, 103-115.

Доклаживалось и заявлено на несколько конференций.

Был запланирован на апрель доклад на семинаре в ИГЕМе.

Готовятся две публикации в журналах (ВАК и выше).

Направление 2.

Задача расчёта сейсмической опасности с использованием предельных распределений теории экстремальных значений:

В.Ф.Писаренко (рук.), М.В.Родкин, Т.А.Рукавишникова, А.А.Скоркина

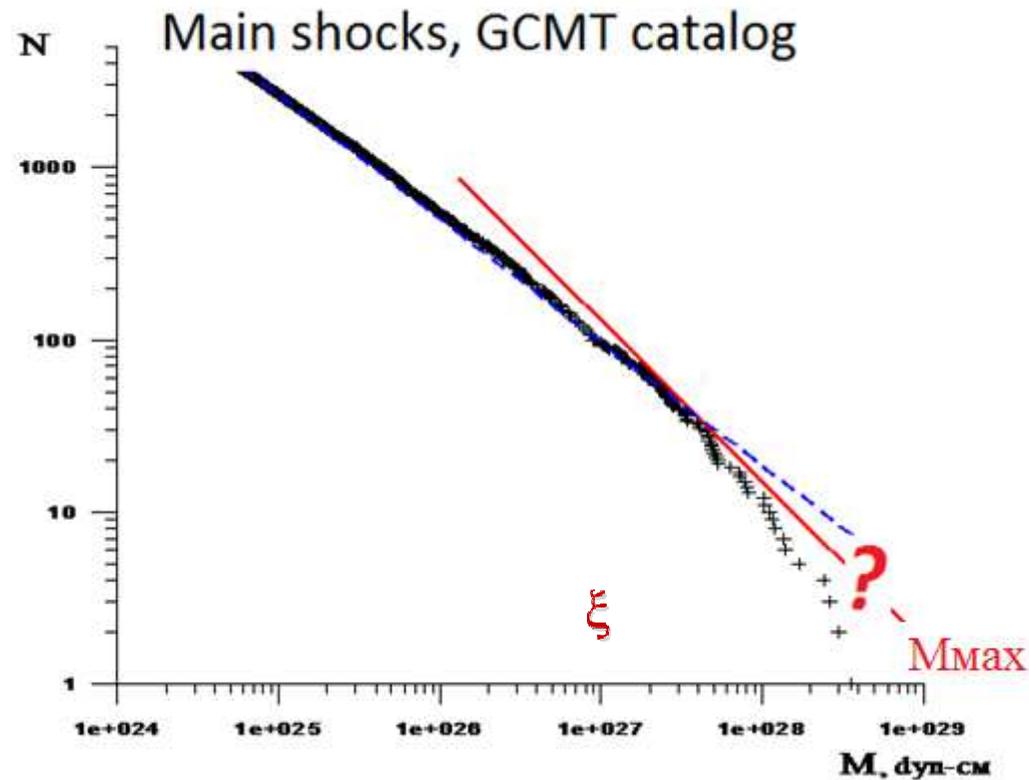
Представленные ранее расчёты сейсмической опасности давали, как правило, неустойчивый результат - сильные события регулярно происходили в областях, полагавшихся слабосейсмичными или даже асейсмичными.

Ввиду отсутствия антисейсмических мероприятий ущерба при этом часто оказывались экстремальными.

Из общих физических соображений понятно, что закон распределения хвоста распределения **должен отличаться** от неограниченного закона Гутенберга-Рихтера; иначе мы получаем недопустимое заключение о возможности бесконечных по силе землетрясений

Естественна попытка подойти к решению задачи на основе теоретически корректных методов теории экстремальных значений

Типичный пример: закон Г-Р по данным GCMT каталога за 1976 – 2016 годы.



Красная линия отвечает границе между областям закона распределения с как бы бесконечным математическим ожиданием и конечным, соответственно, и ограниченным M_{max} .

В рамках модели предельных распределений для значений параметра формы $\xi < 0$ распределение будет ограничено, и $M_{max} = h - s / \xi$, где $M_{max} \rightarrow \infty$ при $\xi \rightarrow 0$. Случай $\xi = 0$ отвечает обычному закону распределения Г-Р

Аппарат предельных распределений теории экстремальных значений теоретически корректен и надёжен.

Но практическая ценность обычного варианта его использования, однако, ограничена тем, что требуется по эмпирическим данным оценить значения 3-х параметров предельного GPD (или GEV) распределения для чего нужно знать не менее 30-50 событий (лучше больше), достаточно полно характеризующих поведение хвоста распределения.

Поэтому этот аппарат – в обычном варианте - применим ТОЛЬКО для оценки опасности для больших регионов – типа Япония, Курилы ... что не столь интересно в практическом отношении.

Проблема – нехватка данных по сильным событиям для оценки 3-х параметров

Варианты подхода к решению:

- 1) Разномасштабный подход, когда параметры распределения сильных землетрясений по большей области, а слабых – по меньшей (по Molchan et al., 1997).
- 2) Связать распределение слабых и сильных событий, предполагая, что закон распределения слабых событий чем то определяет также и распределение сильных событий (хвост распределения).

Нами был реализован этот второй подход

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

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

На выходе для решения получаем систему уравнений:

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

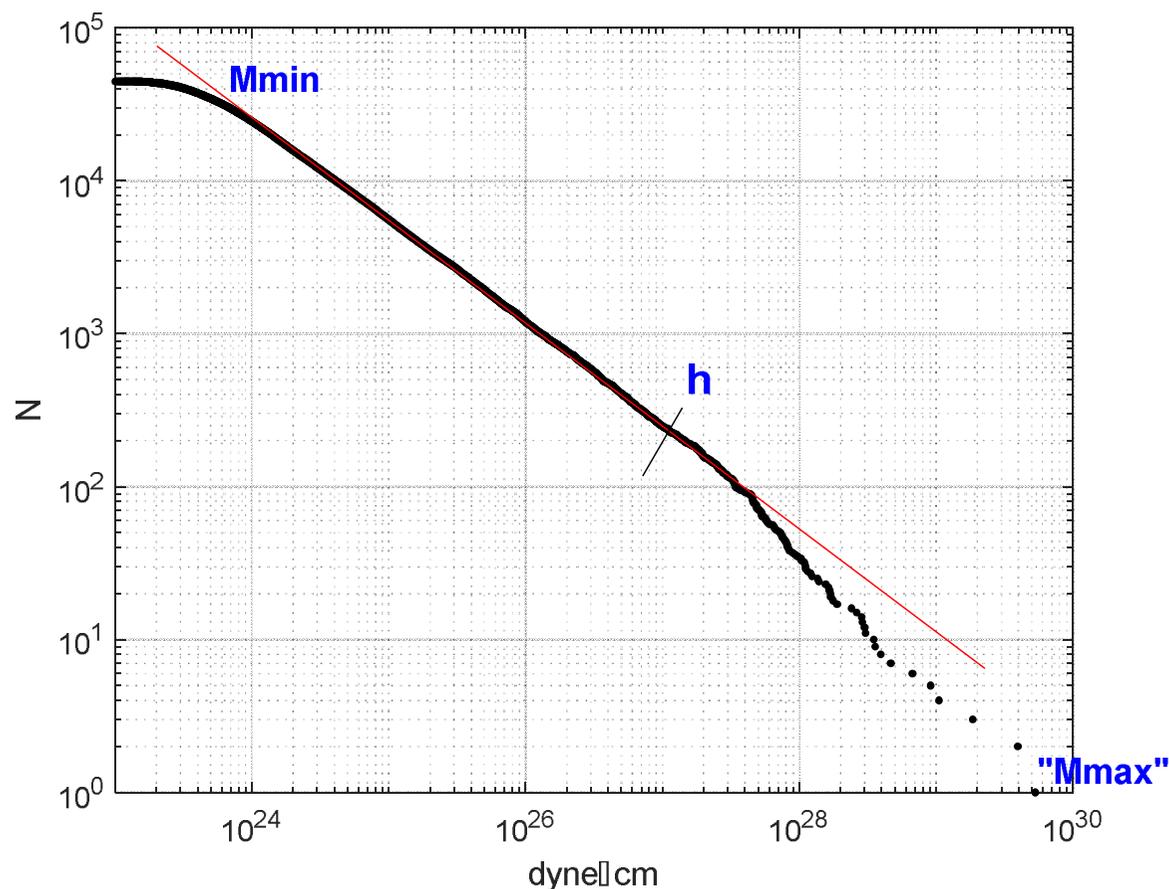
где:

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

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

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

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

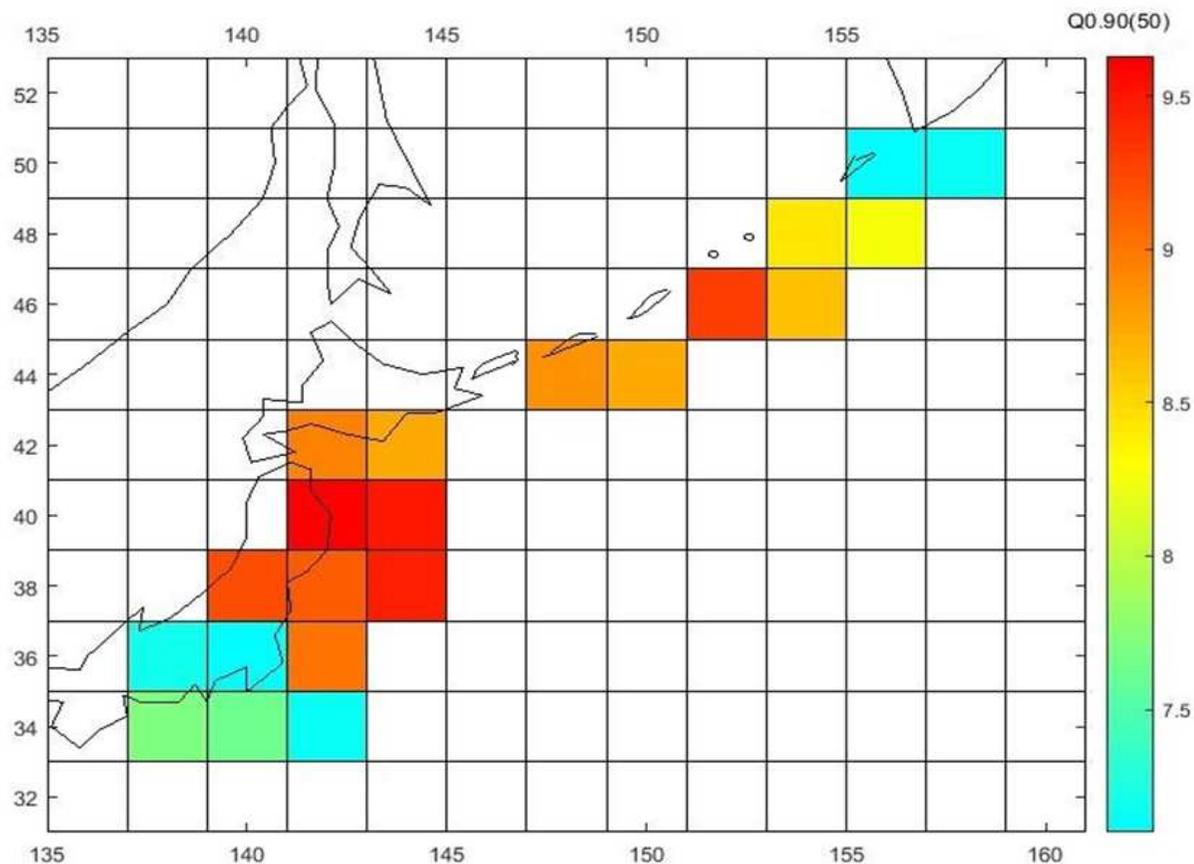


Диапазон [M_{min} ; h] стандартно описывается законом Гутенберга-Рихтера; диапазон [h ; M_{max}] – Обобщенным законом Парето (GPD).

Значение параметра h не критично. В этой точке должна быть непрерывна как плотность распределения, так и её производная.

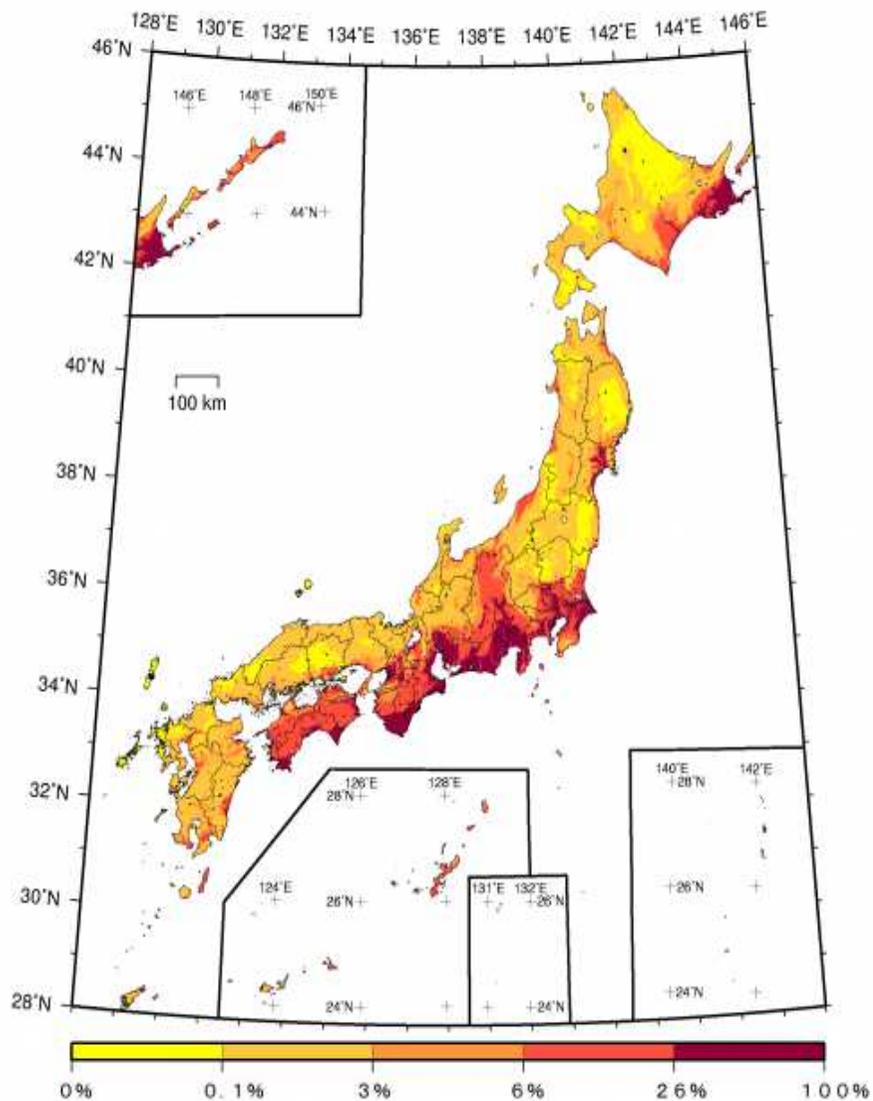
Нами отрабатываются рекомендации по выбору значений h в разных ситуациях.

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

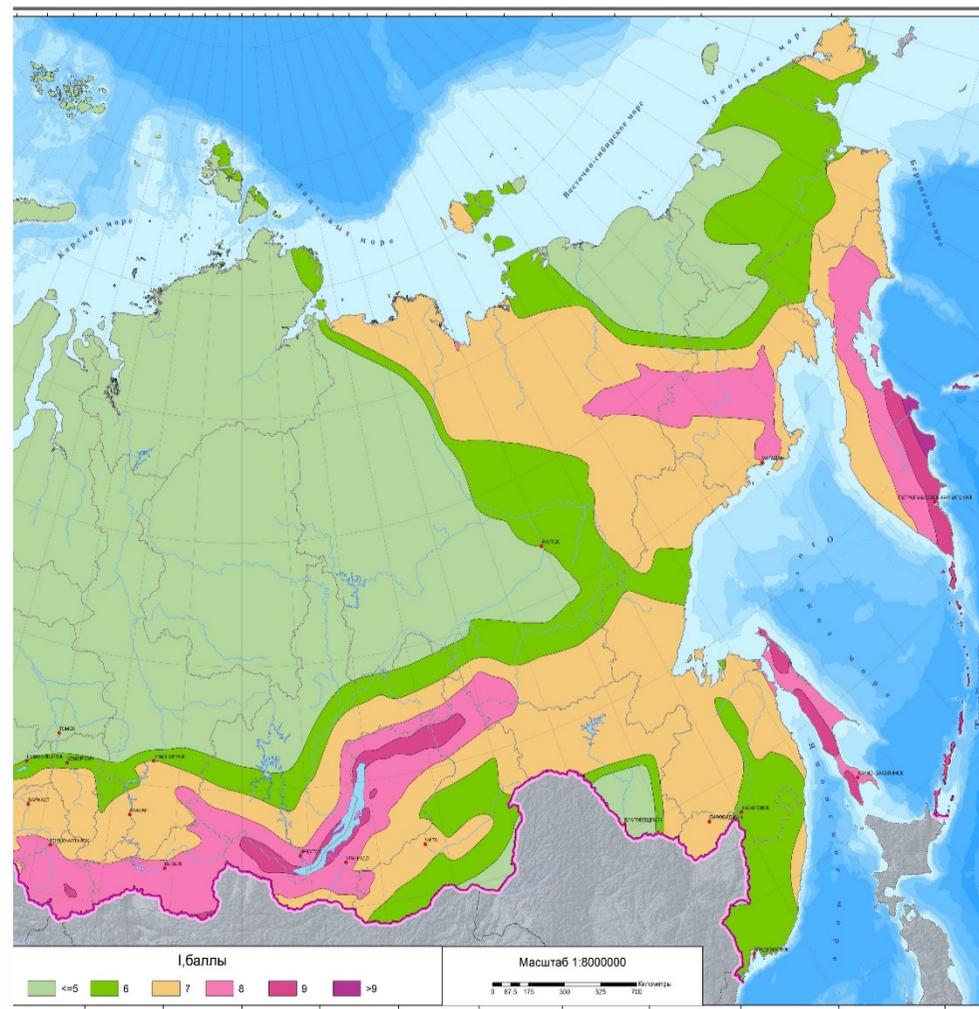


Пример: схема пространственного распределения значений квантиля $Q_{0.9}(50)$.

Сравнение карт сейсмической опасности Японии и Камчатки



Вероятность превышения
за 30 лет



Карта ОСР-2016 А

Преимущества M2 модели:

- 1. Меньшее число подлежащих определению параметров**
- 2. Более точное определение параметра b -value.**
- 3. Возможность использования слабой чувствительности M2 модели к различному заданию параметра h .**

Выполнение пунктов (1) – (3) показано на искусственных каталогах

Заметим, что, по сути, модель M2 даёт как бы новый вариант закона графика повторяемости землетрясений.

Ранее были: классическая модель Г-Р – модель усечённого Г-Р - модель Я.Кагана с экспоненциальным сомножителем - модель M2.

Для проверки эффективности нашего подхода в настоящее время проводится тестирование статистической точности оценивания квантилей максимальной магнитуды в заданном будущем интервале времени. Такие квантили являются устойчивой и адекватной характеристикой сейсмического риска в конкретном регионе. Тестирование проводится на искусственных каталогах с заданным распределением, которое подбирается близким к распределению в разных сейсмоактивных регионах мира. Генерируется большое число каталогов (1000 каталогов), по которым можно оценить эффективность той или иной модели для оценивания упомянутых квантилей.

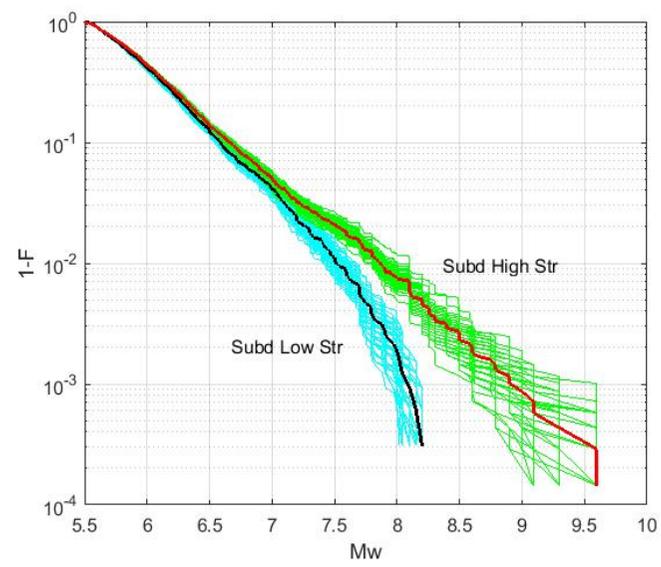
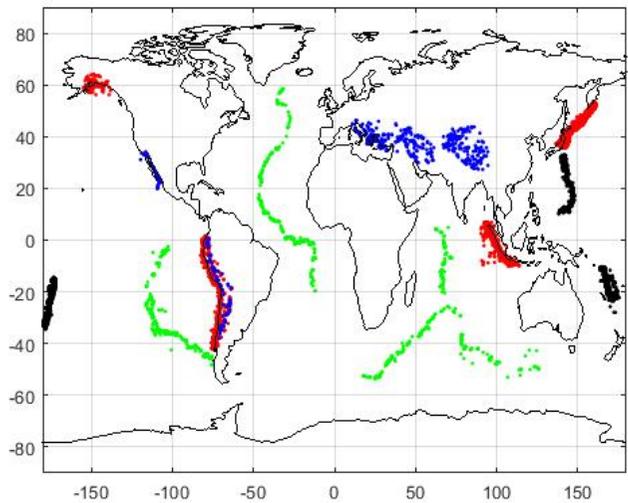
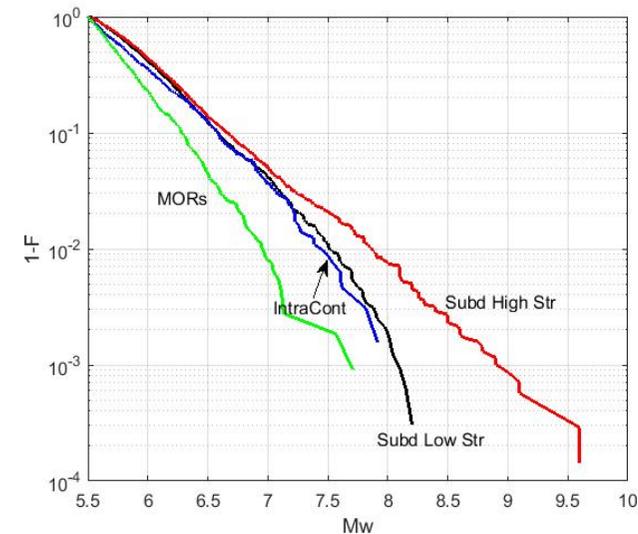
Будет проведено сравнение 2-х моделей : Модели-2 и модели усеченного распределения Г-Р (расчёты А.А.Любушина). С помощью этих двух моделей будут получены оценки квантилей (и точность этих оценок) как для реального глобального каталога, так и для некоторых сейсмоактивных регионов для уровней значимости 0.5; 0.9; 0.95; 0.99; 0.999 и для будущих интервалов времени 10; 30; 50; 100; 500; 1000 лет.

Сеймотектонические аспекты (интерпретация) результатов расчетов сейсмической опасности на основе применения методов теории экстремальных значений. 1. Закон повторяемости.

Генерализованные «регионы»:

Отобраны регионы зон СОХ, внутриконтинентальной сейсмичности и, следуя [Jarrard, 1986], зоны субдукции с высоким и низким уровнем напряжений.

Различие графиков повторяемости статистически значимо и допускает (частично!) тектонофизическую интерпретацию в свете связи напряжённого состояния и b -value.



Сейсмотектонические аспекты (интерпретация) результатов расчетов сейсмической опасности на основе применения методов теории экстремальных значений.

2. Расчёты PGA:

Использованы эмпирические соотношения (Ф.Ф.Аптикаев и др.) между значениями PGA и магнитудой и расположением очага. В этом случае ситуация лучше, чем при анализе повторяемости землетрясений, так как экстремальные значения PGA могут порождаться близкими, относительно слабыми событиями.

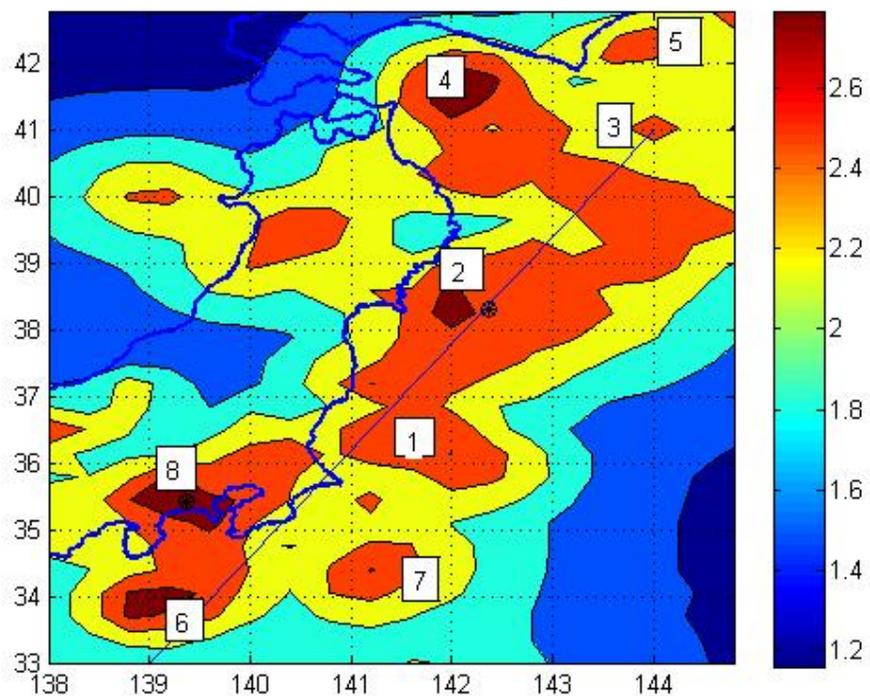
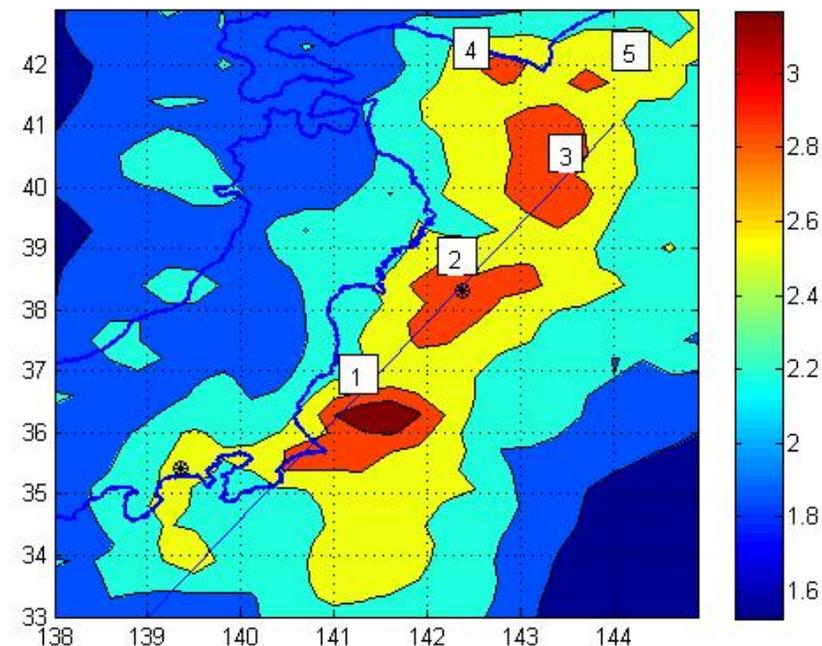
$$\begin{aligned} & 2.76; & \rho \leq 1; \\ \lg(A) = & 2.76 - 0.55 \cdot \lg(\rho); & 1 \leq \rho \leq 10; & (1) \\ & 3.50 - 1.29 \cdot \lg(\rho); & \rho \geq 10. \end{aligned}$$

Здесь PGA измеряется в см/сек², ρ – нормированное эпицентральное расстояние:

$$\rho = R \cdot 10^{-0.325 \cdot (M - 5)}, \quad (2)$$

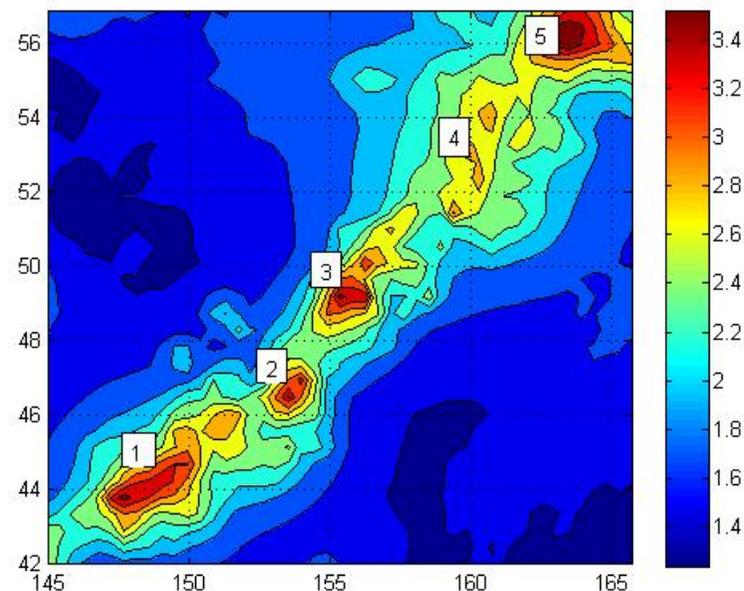
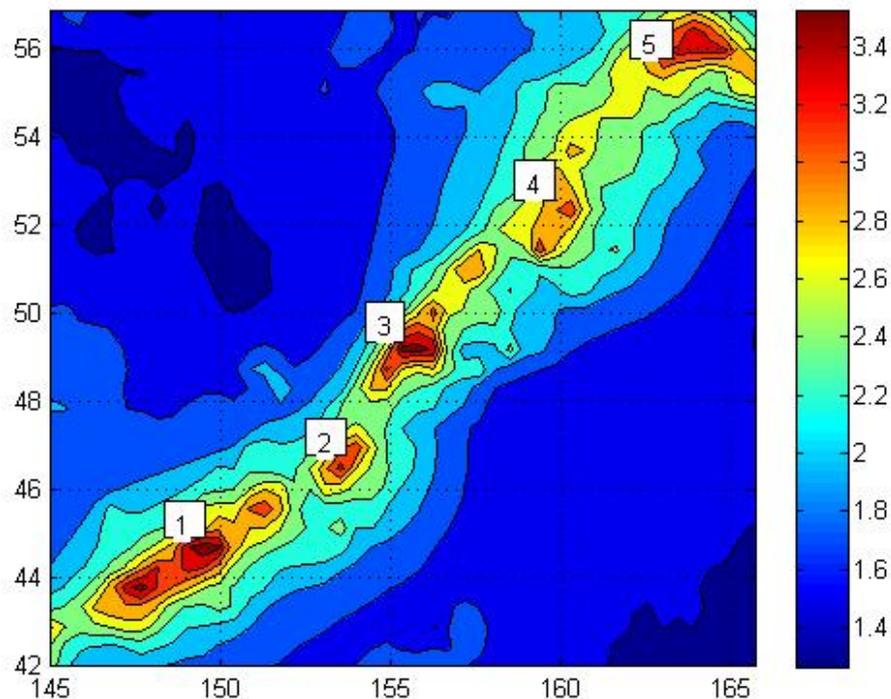
R – эпицентральное расстояние в км.

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

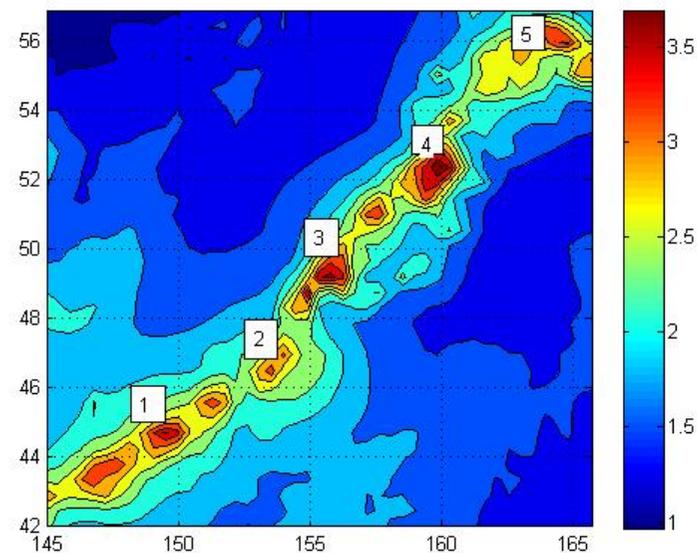
Устойчивость кластеров высокой сейсмической опасности во времени



1904-1959.

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

Можно заметить, что расположение кластеров коррелирует с позицией известных сильнейших землетрясений.

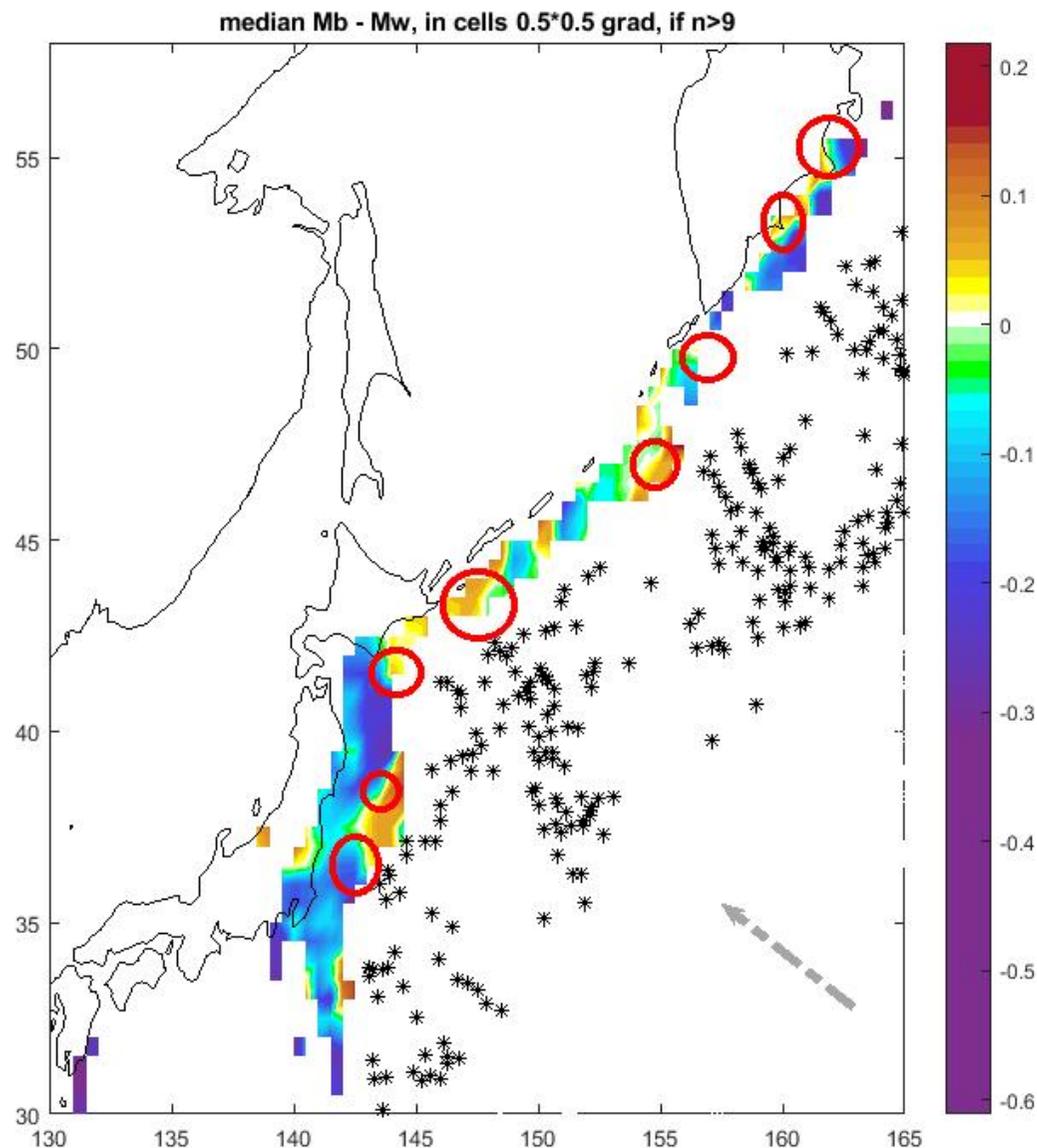


1960-2014

Геотектоническая позиция кластеров сейсмичности

Цветом даны медианы значений ($M_b - M_w$). Черными точками – морские горы на прилегающей части субдуцируемой Тихоокеанской плиты.

Рост величин ($M_b - M_w$) отвечает росту «жесткости» очагов землетрясений - более высокочастотное излучение. Субдукция морских гор может затруднять субдукцию и вызывать более сильные (не медленные) землетрясения.



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

Публикации по теме

1. Pisarenko V.F., M.V. Rodkin. Statistics and spatial-temporal structure of ground acceleration caused by earthquakes in the North-Western Pacific region. Pure Appl Geophys. Pure Appl. Geophys. 2020.
2. Pisarenko V., Rodkin M. A Collection of Statistical Methods for Analysis of the Disaster Damages and the Seismic Regime. Geographies of the Anthropocene, Vol. 2, No. 2 (2019), pp. 43-63
3. Писаренко В.Ф., М.В.Родкин, Т.А.Рукавишникова. Стабильная модификация закона повторяемости землетрясений и перспективы ее применения в сейсморайонировании. Физика Земли, 2020, №1, 1-14. (РИНЦ, ВАК, WOS, SCOPUS). ИТПЗ РАН, ИМГиГ ДВО РАН
4. Rodkin M.V. Dependence of Losses from Natural Hazards on the Prosperity of Societies: A Brief Review. Journal Of Anthropological And Archaeological Sciences. 2020

Предварительные выводы по направлению 2 работ по теме:

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

1. Предложена новая 2-х звенная модель закона повторяемости землетрясений 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.

2. В результате использования модели получены карто-схемы величин M_{max} в масштабе приближенном к масштабу карт ОСР. Модель проверена на искусственных каталогах. Запланировано сравнение эффективности описание эмпирических данных разными моделями (совместно с А.А.Любушиным).

3. Выявлены различия графиков повторяемости землетрясений для разных сеймотектонических ситуаций и дана им предварительная интерпретация.

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 таких кластеров.

5. Предложен новый вариант закона повторяемости землетрясений

Спасибо за внимание

Примеры GPD распределений

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

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

Это является математическим выражением неустойчивости оценок величины

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

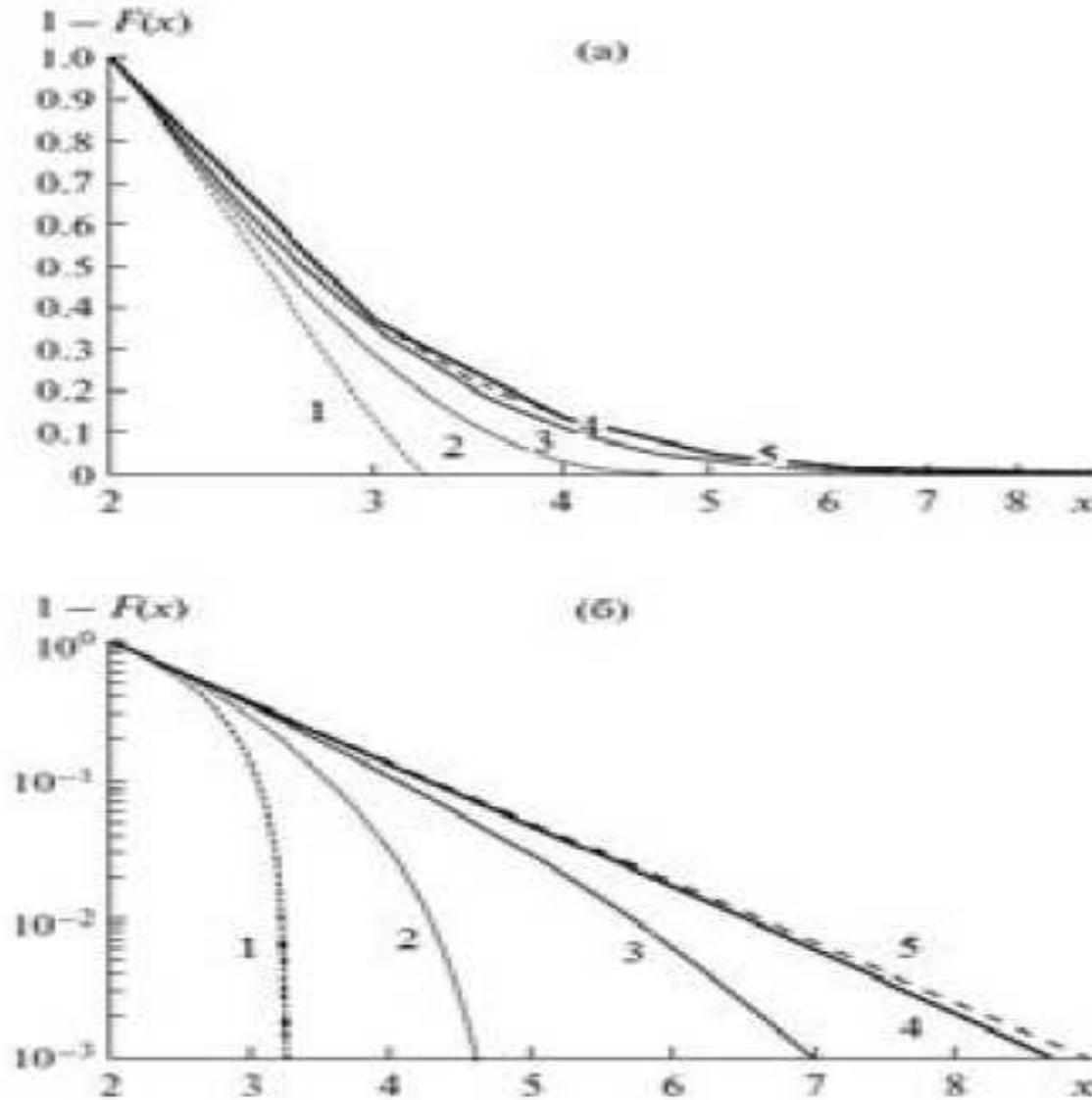
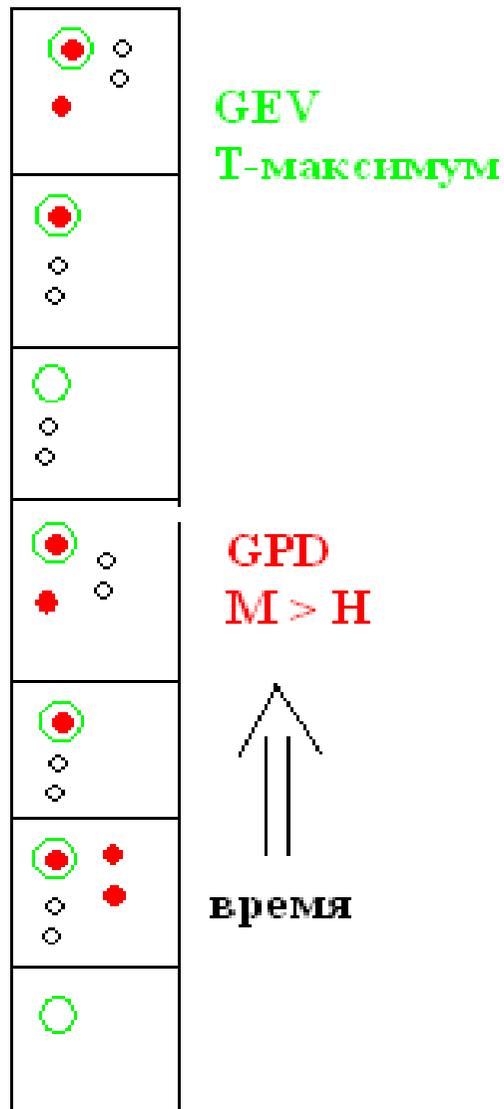


Рис. 1. Хвост GPD-распределения для разных значений параметра формы ξ : -0.8 (кривая 1); -0.35 (кривая 2); -0.1 (кривая 3); -0.01 (кривая 4) и 0 (кривая 5). Для всех графиков $h = 2$, $s = 1$. Для облегчения понимания поведения функции ось u дана в линейном (a) и логарифмическом масштабе (b).

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**.**

