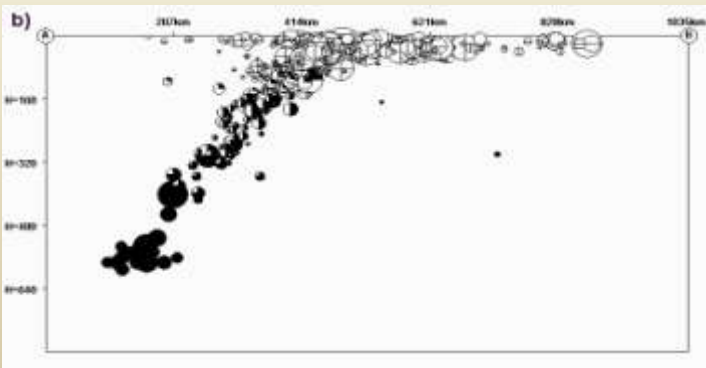
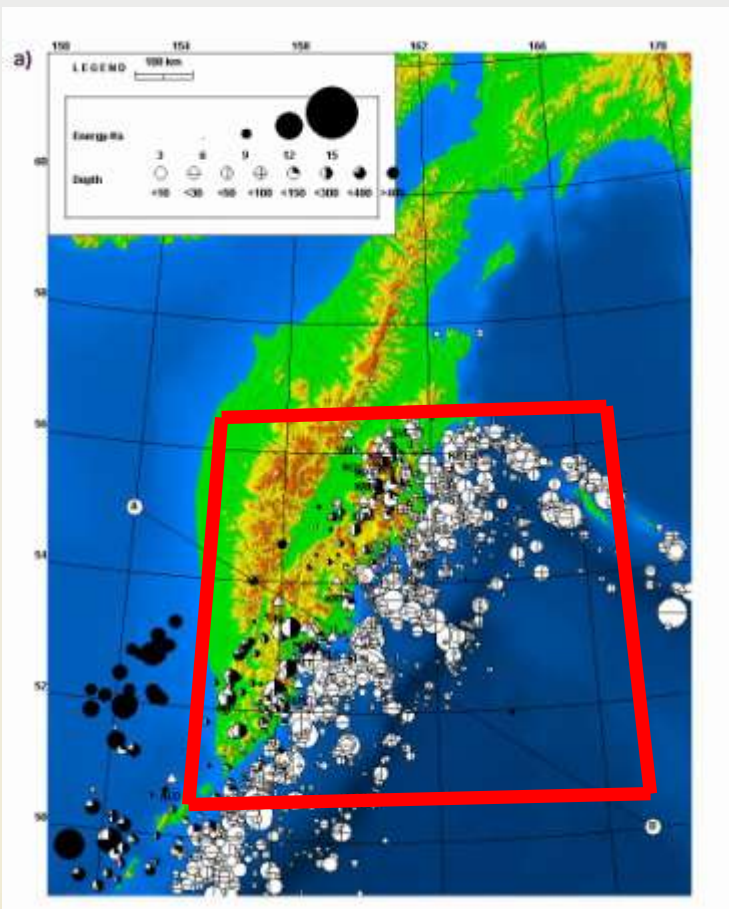


ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ КАМЧАТКИ в 2011-2012 гг.

***Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Волович О.Г.,
Воропаев П.В., Коновалова А.А., Кугаенко Ю.А.***

Камчатский филиал Геофизической службы РАН



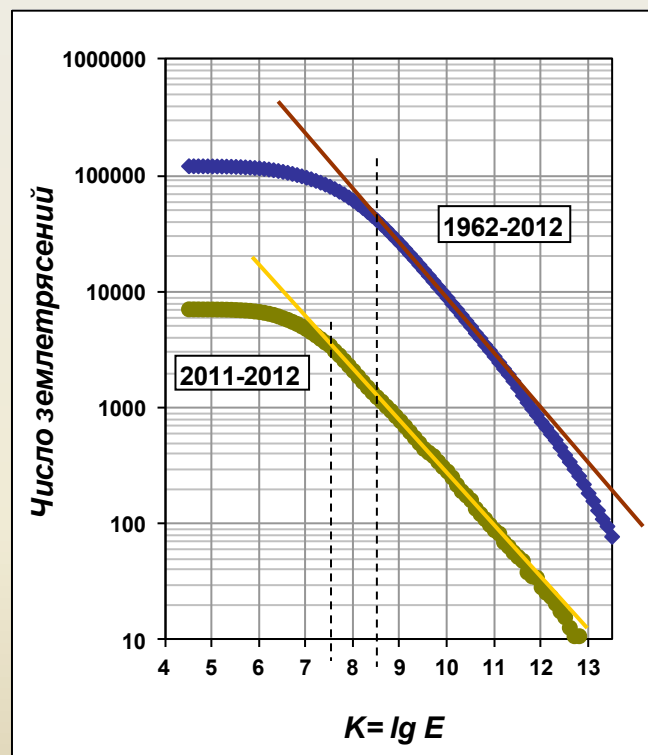
В работе использованы каталоги
Камчатского филиала ГС РАН (<http://www.emsd.ru>)

Исследуемый район:

широта: 50.5°N - 56.5°N

долгота: 156.0°E - 167.0°E

глубина: 0 - 300 км



Кумулятивные
графики
повторяемости
землетрясений

Нижний энергетический уровень землетрясений $K = 8.5$

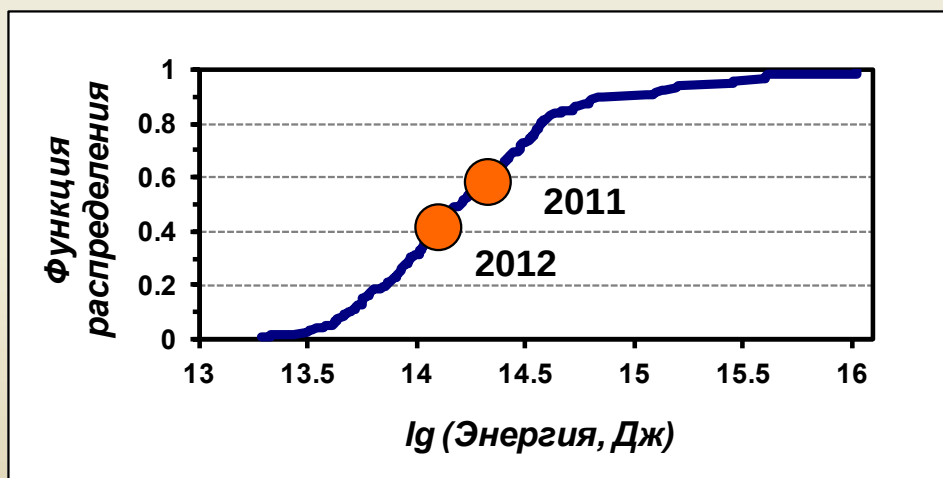
Общая выделившаяся сейсмическая энергия

$$E = \sum_i 10^{K_i}$$

2011: $E = 2.1 \cdot 10^{14}$ Дж 2012: $E = 1.2 \cdot 10^{14}$ Дж

1962-2012: $E_{\text{ср}} = 5.7 \cdot 10^{14}$ Дж

$E_{\text{мед}} = 1.6 \cdot 10^{14}$ Дж



Функция распределения F :

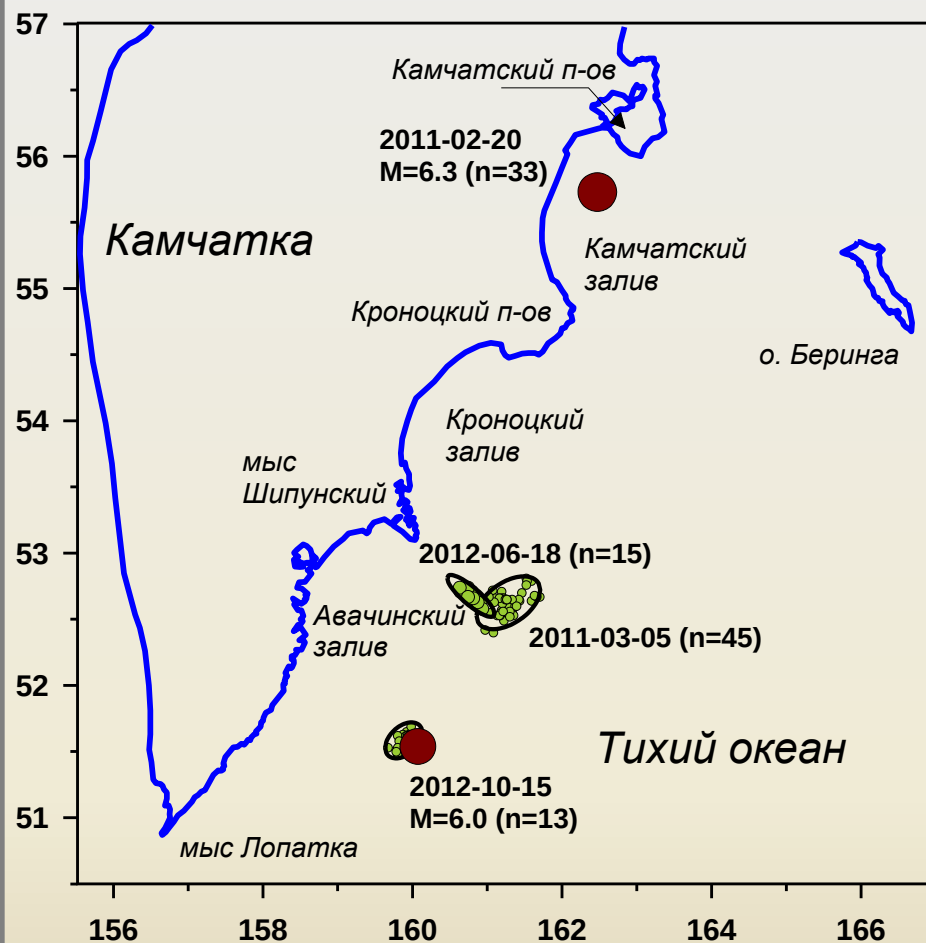
относительная частота P лет с годовой сейсмической энергией меньше, чем E
 $F(E) = P(E_i > E)$, E_i — годовая сейсмическая энергия i -того года

$$F(E_{2011}) = 0.59 \pm 0.07$$

$$F(E_{2012}) = 0.42 \pm 0.07$$

Функция распределения годовой сейсмической энергии, выделившейся при камчатских землетрясениях в 1962-2012 гг.

Сильные землетрясения, афтершоки и рои



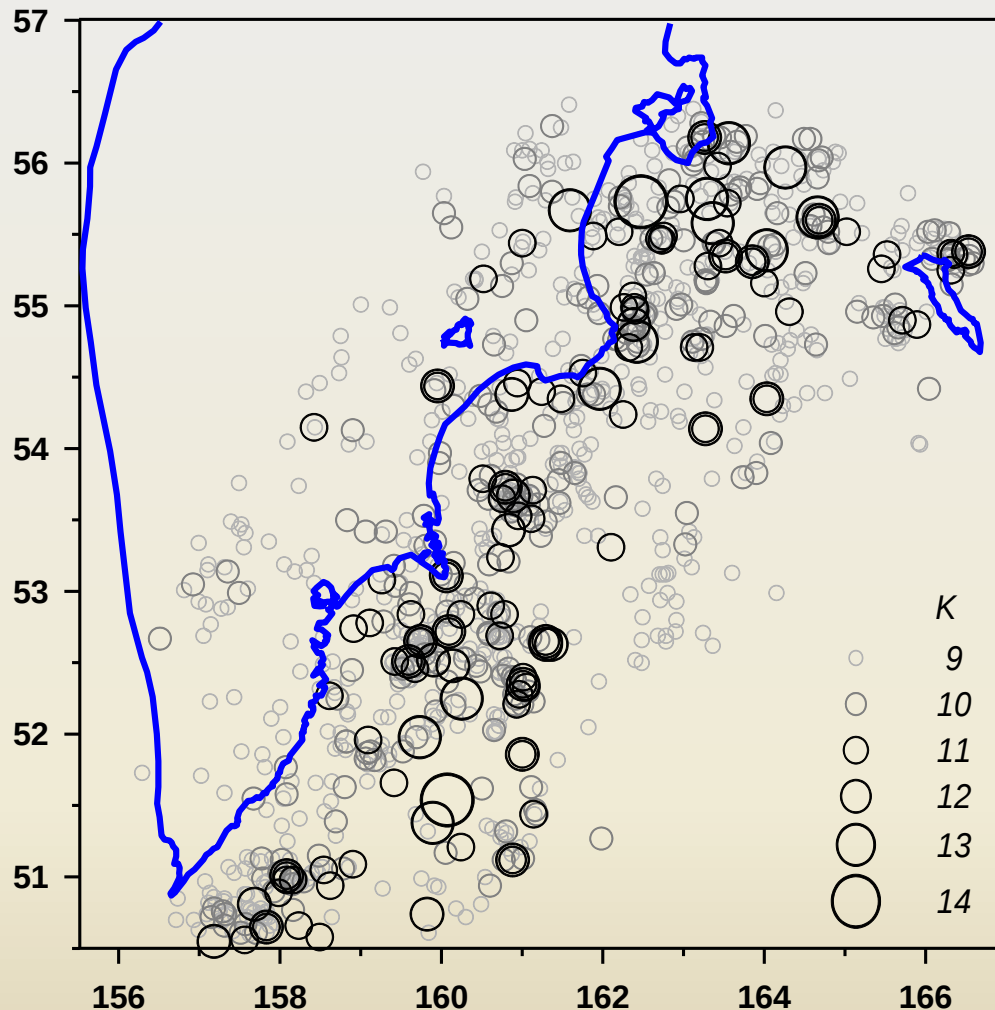
2011-2012: $N_{clear} / N_{all} = 0.88$ **12%** - афтершоки+ рои

1962-2012: $N_{clear} / N_{all} = 0.76$ **24%** - афтершоки+ рои

Группирующиеся события исключены
(программа Смирнова В.Б., МГУ им. Ломоносова,
алгоритм - (Молчан, Дмитриева, 1991))

Параметры главного события						lg (E, Дж)	dt, дни	Тип группы
дата	K_S	M_L	lat, °N	long, °E	h, км			
20.02.11	14.1	6.2	55.73	162.47	48	14.1	5	афтершоки
05.03.11	12.2	5.4	52.58	161.34	16	12.8	13	рой
07.09.11	13	5.8	55.58	163.36	65	13	23	афтершоки

dt - промежуток времени, в течение которого произошло 75% событий группы



Исследуемые параметры сейсмичности:

- уровень сейсмичности региона по шкале “СОУС’09”;
- вариации наклона графика повторяемости;
- сейсмическая активности A_{10} ;
- Z-функция;
- параметр RTL ;
- площадь сейсмогенных разрывов;
- кластеризация землетрясений

Карта эпицентров независимых землетрясений
2011-2012 гг. 9-14 энергетических классов

Оценка текущего уровня сейсмичности

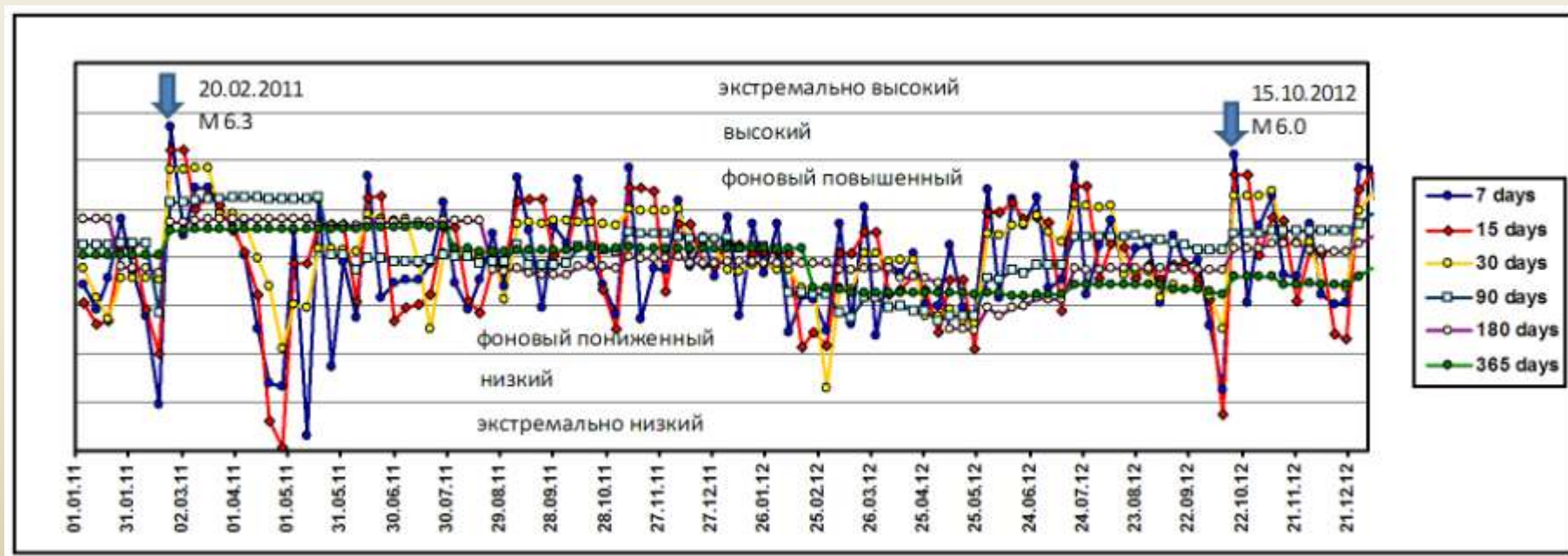
Шкала уровня сейсмичности «СОУС'09»

(Салтыков, 2009)

экстремально низкий – $F < 0.005$,
низкий – $0.005 < F < 0.025$,
фоновый – $0.025 < F < 0.975$,

фоновый пониженный – $0.025 < F < 0.15$,
фоновый средний – $0.15 < F < 0.85$,
фоновый повышенный – $0.85 < F < 0.975$

высокий – $0.975 < F < 0.995$,
экстремально высокий – $F > 0.995$



Временной ход оценки уровня сейсмичности Камчатки в различных временных окнах

Наклон графика повторяемости землетрясений γ

Определение наклона графика повторяемости γ основано на повторяемости землетрясений как фундаментальном свойстве сейсмического процесса. Использование γ связано с наблюдаемым иногда уменьшением наклона графика повторяемости перед сильными событиями (Завьялов, 1984; Моги, 1988).

Наклон графика повторяемости рассчитывается исходя из непрерывного экспоненциального распределения землетрясений по классам.

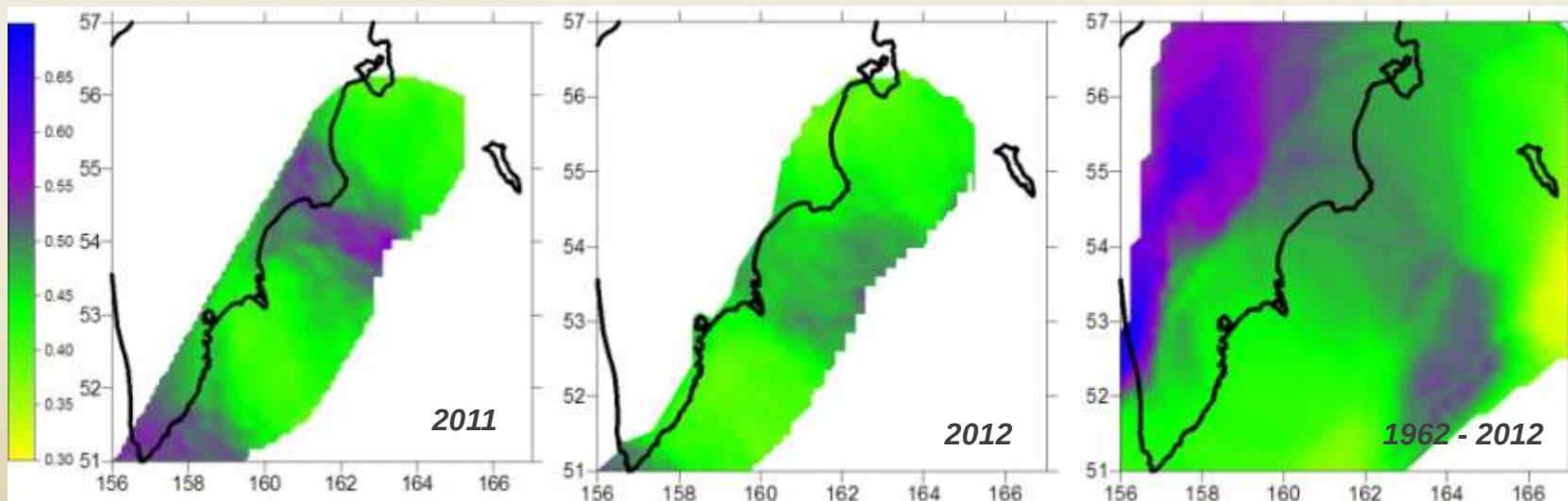
$$\gamma = \log_{10} e \cdot \frac{1}{\sum_i^N K_i / N - K_0} \quad (\text{Aki, 1965})$$

$$S_\gamma = \frac{\gamma}{\sqrt{N}} \quad (\text{Куллдорф, 1966})$$

$$\gamma_{2011} = 0.47 \pm 0.02$$

$$\gamma_{2012} = 0.47 \pm 0.02$$

$$\gamma_{1962-2012} = 0.475 \pm 0.002$$

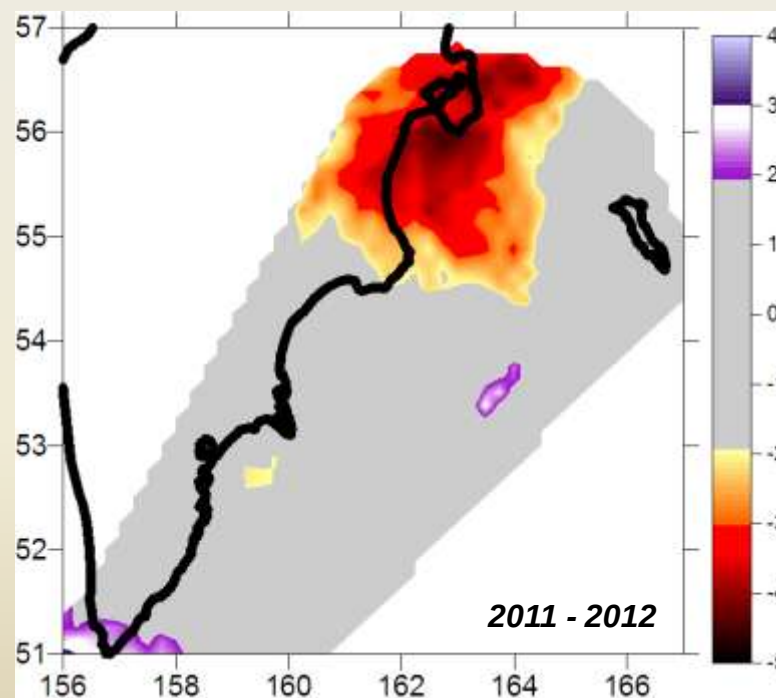
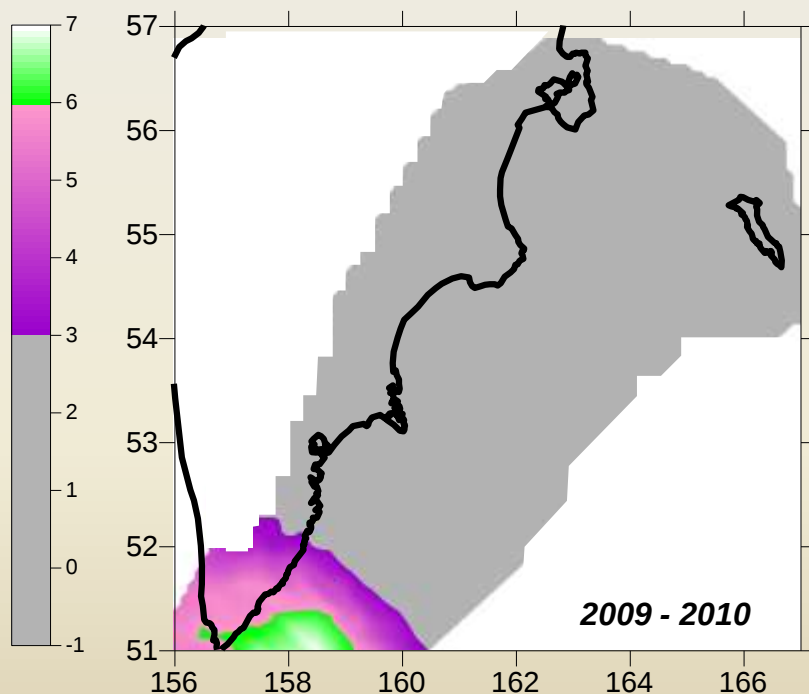


Карты значений наклона графика повторяемости γ , построенные при сканировании исследуемой области цилиндрическими элементарными объемами с глубиной до 100 км и радиусами 150 км

Нормированная вариация γ

$$Z(\varphi, \lambda) = \frac{\gamma_1(\varphi, \lambda) - \gamma_2(\varphi, \lambda)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$$

γ_i - значения наклона графика повторяемости для двух временных отрезков,
 σ_i - дисперсии оценок γ на этих отрезках



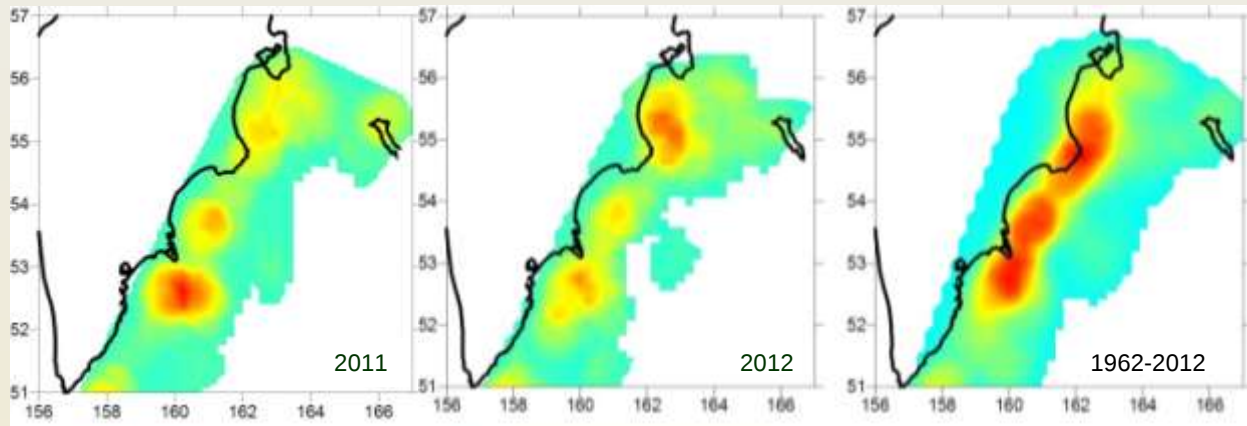
Карты значений нормированной вариации γ относительно среднемноголетнего уровня. Радиус ячейки сканирования $R = 100$ км.

Активность A_{10}

Активность A_{10} рассчитывается из числа землетрясений N и наклона графика повторяемости γ и приводится к площади 1000 кв. км и временному интервалу 1 год

$$A_{10} = \frac{1000 \cdot N \cdot (1 - 10^{-\gamma}) \cdot 10^{-\gamma(9.5 - K_0)}}{S \cdot T}$$

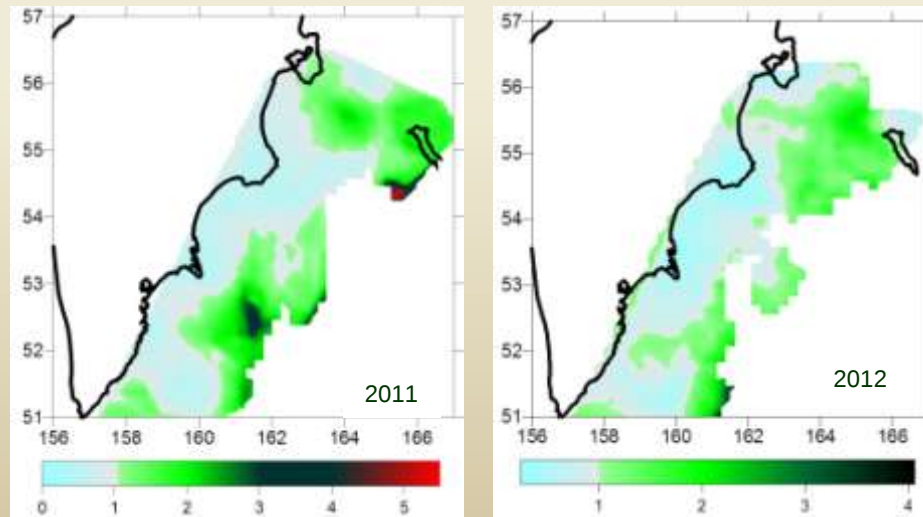
$$S_{A_{10}} = \left| \frac{\partial A_{10}}{\partial \gamma} \right| \cdot S_\gamma = \left| \frac{1000 \cdot N \cdot 10^{-\gamma(10.5 - K_0)}}{S \cdot T} - (9.5 - K_0) A_{10} \right| \cdot \ln 10 \cdot S_\gamma$$



2011:
 $A_{10} = 0.254 \pm 0.006$

2012:
 $A_{10} = 0.249 \pm 0.006$

1962-2012:
 $A_{10} = 0.279 \pm 0.001$



**Карты сейсмической активности A_{10} ,
рассчитанные для 2011 г., 2012 г., 1962-2012 гг.**

**Карты сейсмической активности A_{10} ,
нормированной на многолетнюю активность,
рассчитанные для 2011 г. и 2012 г.**

Z - функция

(Habermann, Wyss)

Выделение области статистически значимого уменьшения уровня сейсмичности

$$Z = (R_1 - R_2) / (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{1/2}$$

R_1, R_2 – средние скорости сейсмического потока на двух интервалах, σ_i – стандартное отклонение

Сейсмическое затишье - совокупность соседних в пространстве и времени расчетных ячеек со значимым уменьшением скорости сейсмического потока не менее чем в 8 раз ($SRD \geq 0.875$) в течение не менее года.

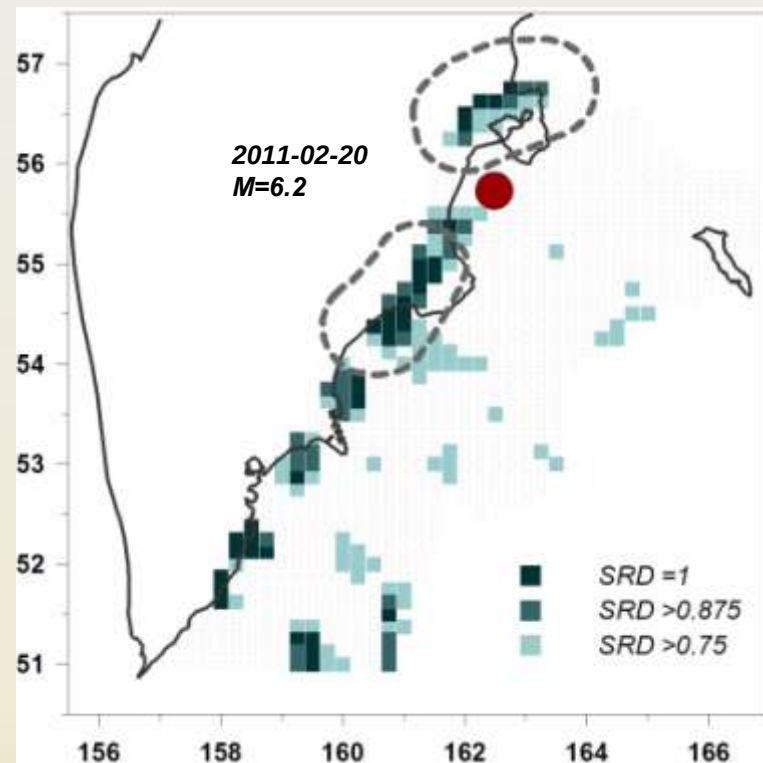
Землетрясение происходит в пределах аномалии или в ближайшей ее окрестности в интервале времени до трех лет после окончания затишья

1980-2012 гг.:

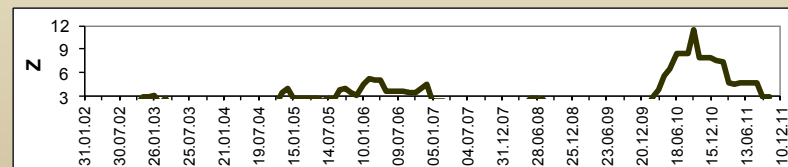
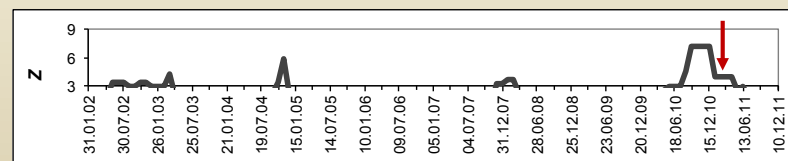
$M \geq 6$ $M \geq 6.8$

Эффективность ($n(sA) / n(A)$) 0.63 (17/27) 0.22 (6/27)

Надежность ($n(sE) / n(E)$) 0.54 (20/37) 0.88 (7/8)



Карта максимальных значений SRD-параметра в течение 2010 г.



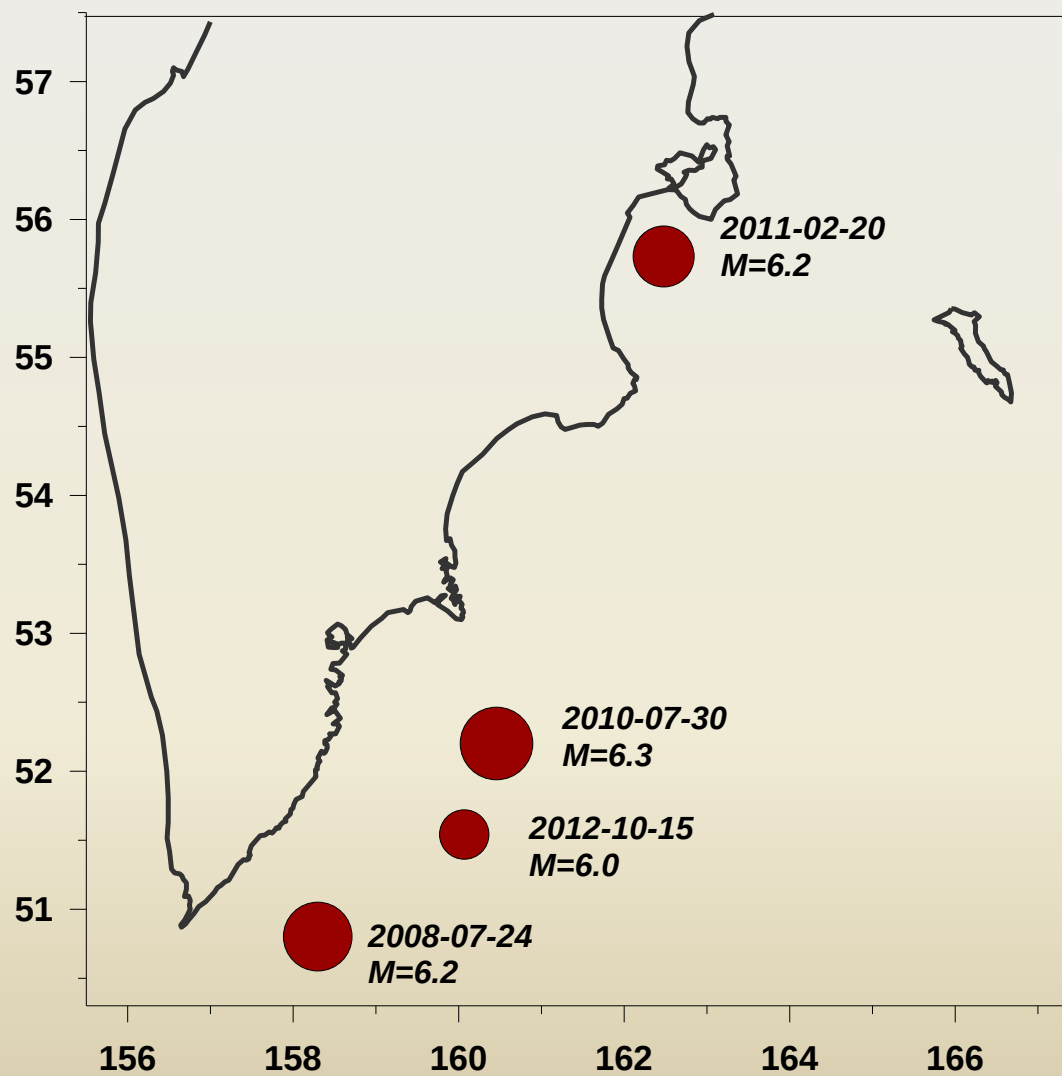
$n(sA)$ – количество аномалий, предваряющих согласно модели сильное землетрясение

$n(A)$ – количество выделенных аномалий

$n(sE)$ – количество землетрясений, соответствующих успешному прогнозу

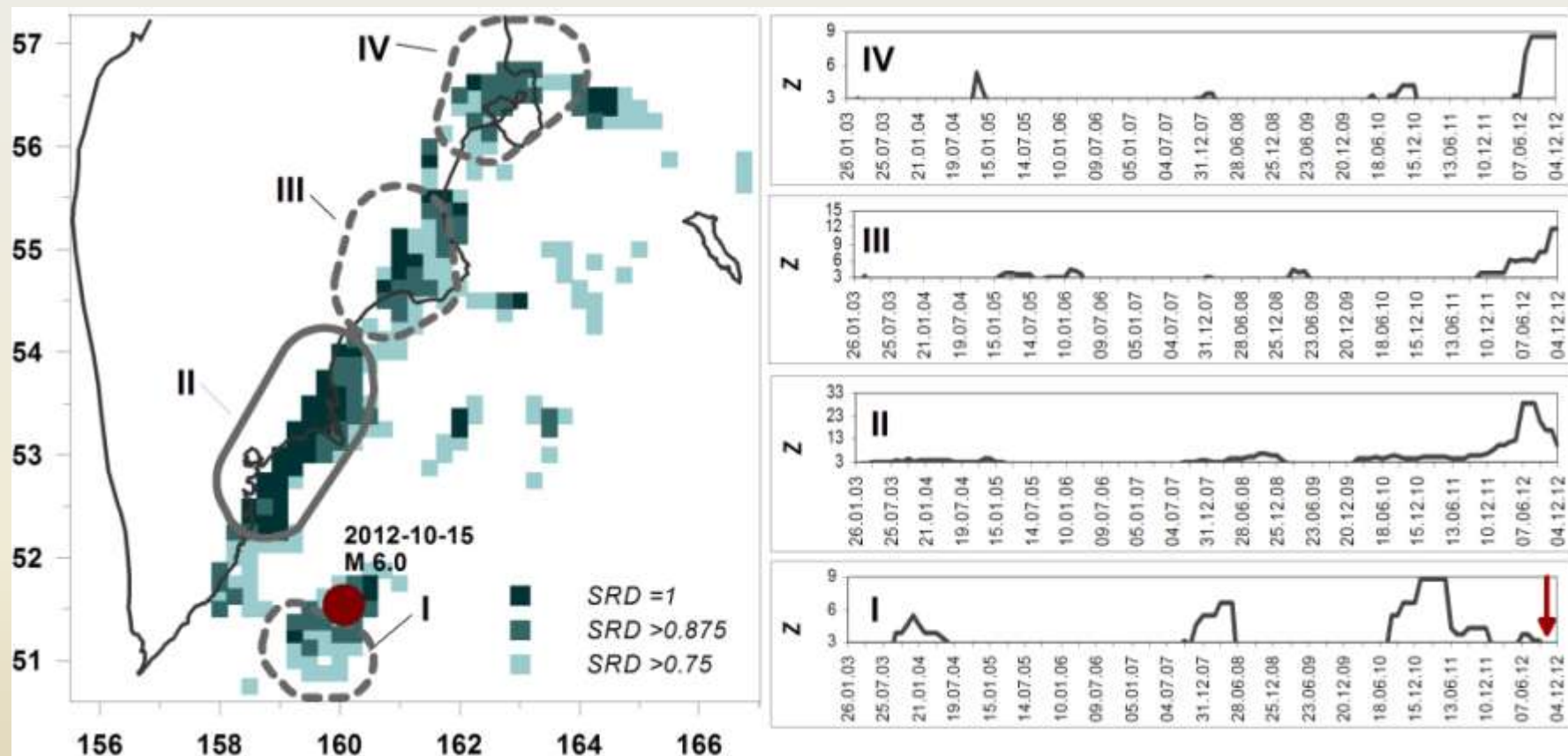
$n(E)$ – количество всех землетрясений с параметрами, соответствующими прогнозу

Z - функция



Z - функция

$dT = 12$ мес.



Карта максимальных значений SRD-параметра в течение 2011-2012 гг.

RTL - параметр

Соболев, Тюпкин (1996)

зона сейсмического затишья соответствует области отрицательных значений параметра RTL

$$RTL = R \cdot T \cdot L$$

$$R(\varphi, \lambda, t) = \sum \exp(-r_i/r_0) - R_s$$

$$r_0 = 50 \text{ км}$$

$$t_0 = 1 \text{ год}$$

$$T(\varphi, \lambda, t) = \sum \exp(-t_i/t_0) - T_s$$

$$R_{max} = 100 \text{ км}$$

$$T_{mas} = 2 \text{ года}$$

$$L(\varphi, \lambda, t) = \sum \exp(-l_i/r_i) - L_s$$

$$H = 30 - 100 \text{ км}$$

$$\lg(l_i) = 0.244 \cdot K_i - 2.266 \quad (\text{Ризниченко, 1976})$$

Аномалия характеризуется

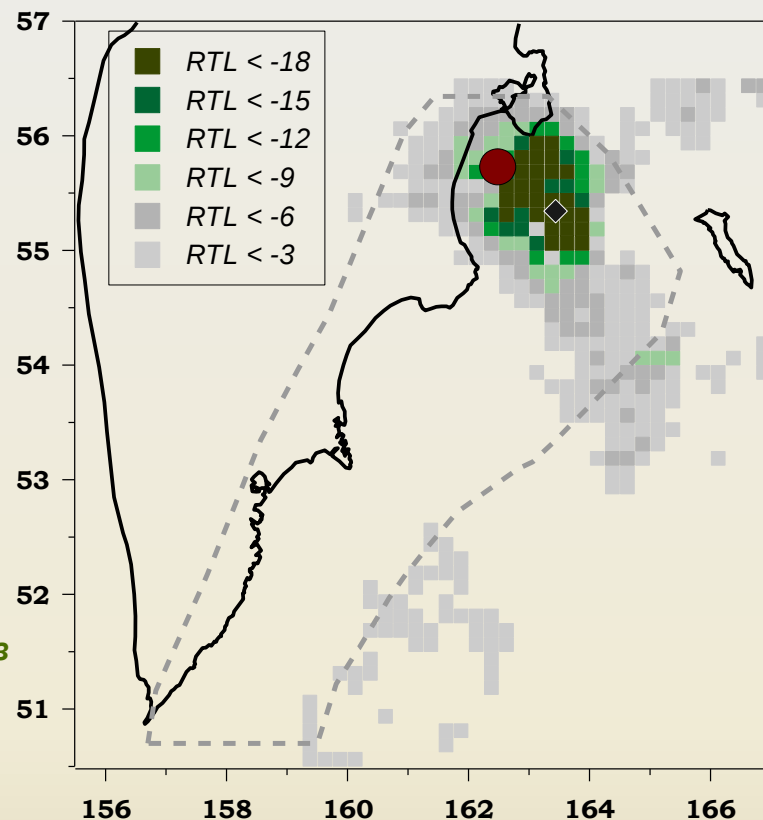
RTL min и длительностью затишья dT (RTL < -3)

Значительное сейсмическое событие ($M > 6.5$) следует ожидать на краю области отрицательных значений RTL в интервале времени до 3 лет после выхода RTL из минимума.

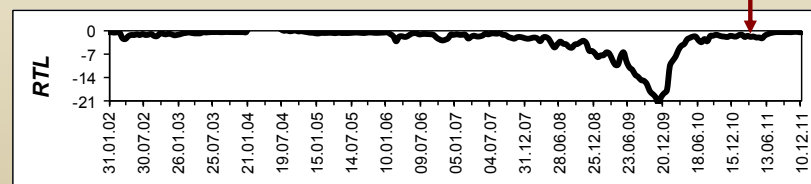
1980 -2012 гг.

	$M \geq 6$	$M \geq 6.8$
Эффективность ($n(sA)/n(A)$)	0.67 (12/18)	0.28 (5/18)

Надежность ($n(sE)/n(E)$)	0.46 (17/37)	1 (8/8)
-----------------------------	--------------	---------

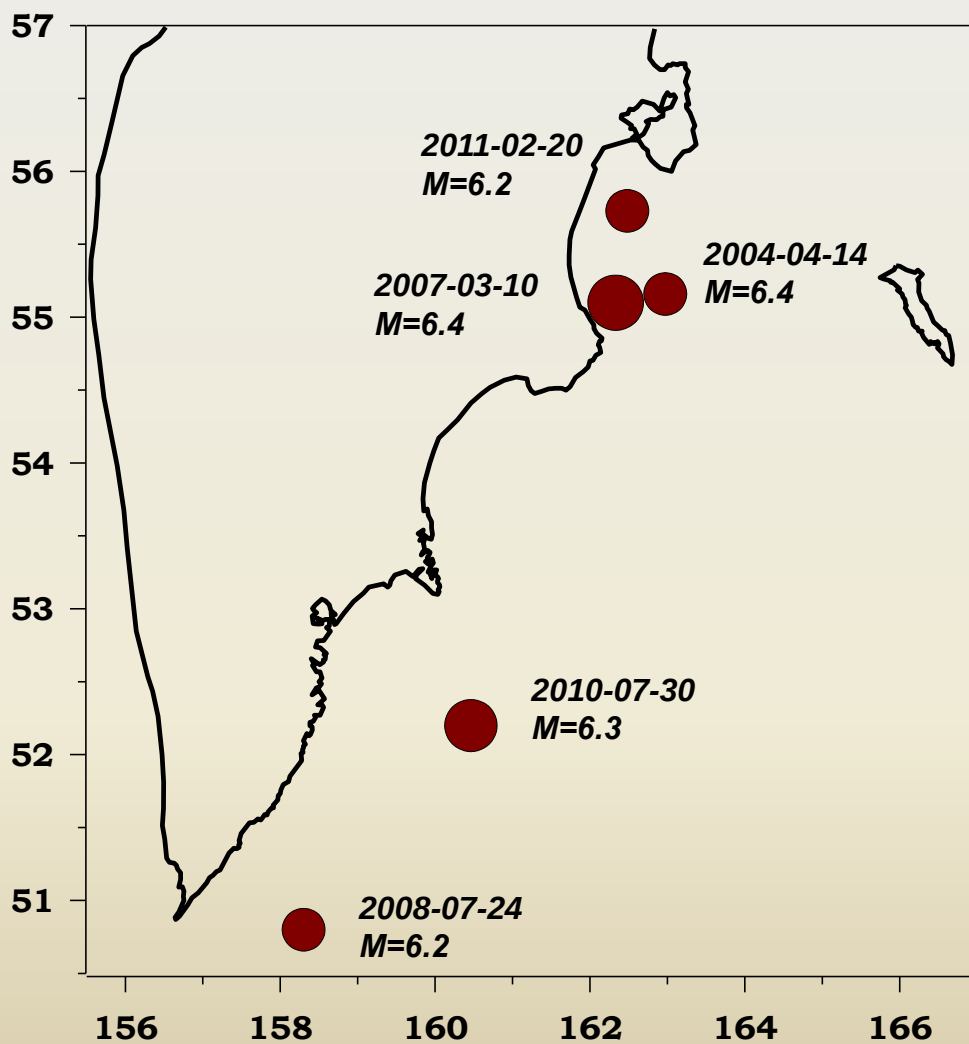


Карта минимальных значений RTL в 2009-2010 гг.

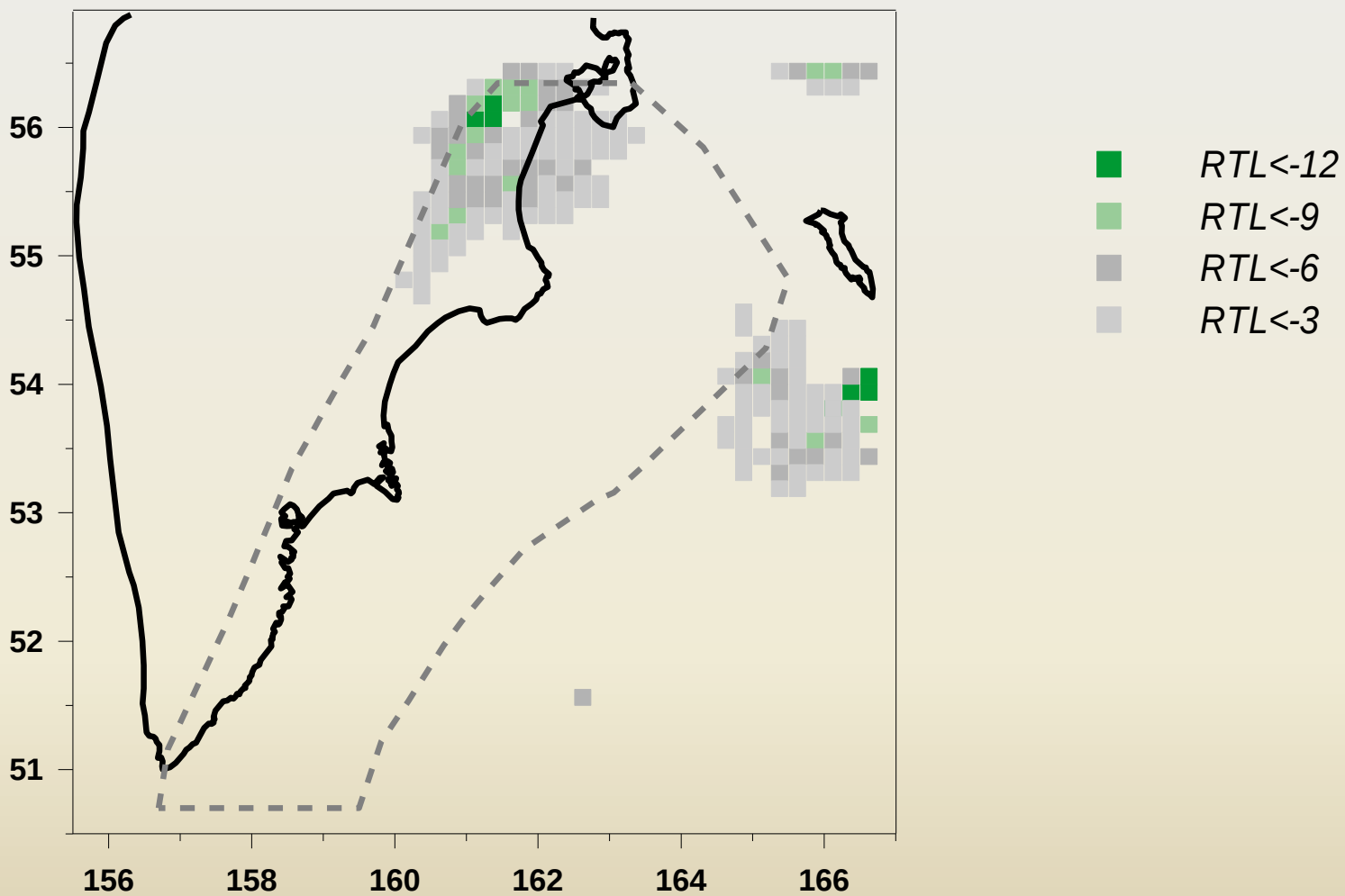


Временной ход параметра RTL в реперной точке аномалии

RTL - параметр



RTL - параметр



Карта минимальных значений параметра RTL в течение 2011 - 2012 гг.

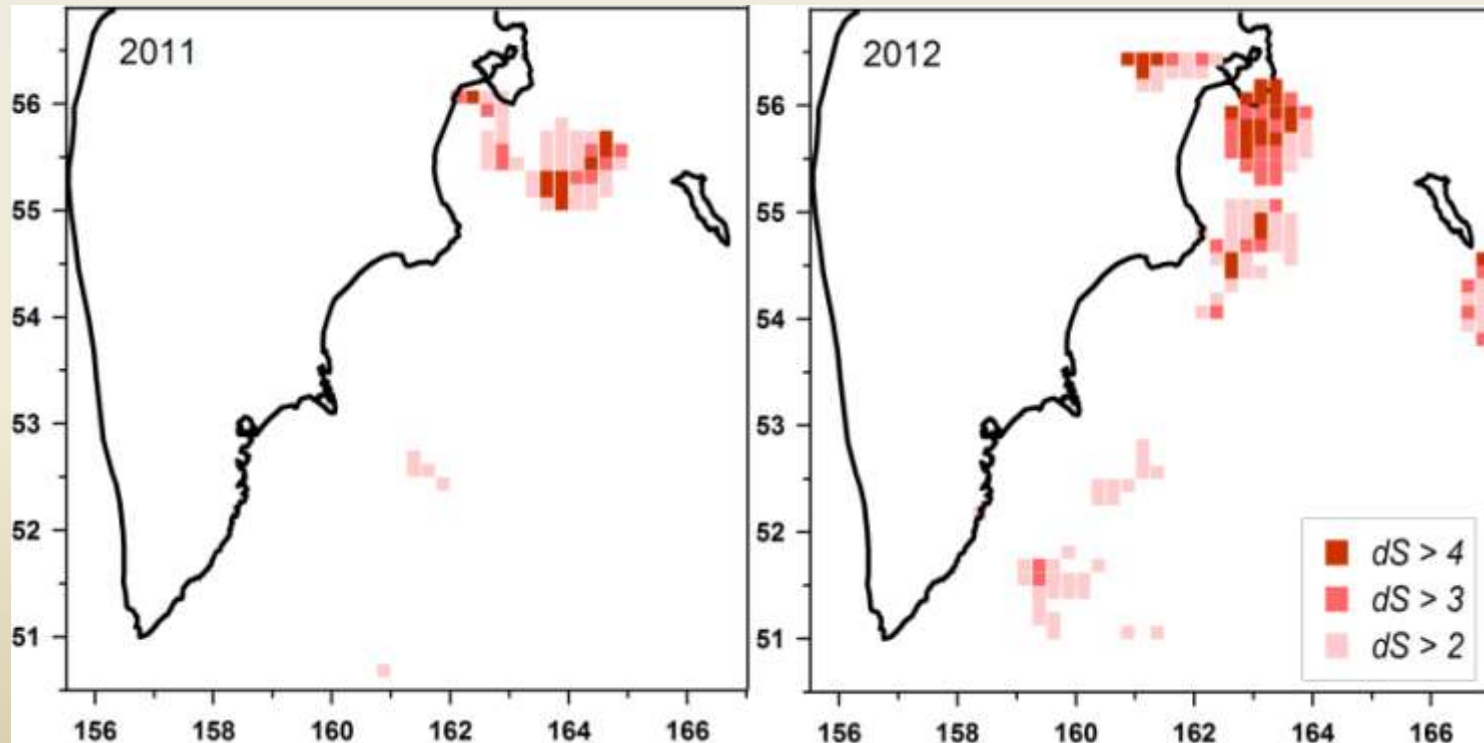
dS - параметр

Соболев, Тюпкин (1998)

Выделение области форшоковой активизации

$$dS = (S - S_{\text{ср}}) / \sigma_S \quad S = \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{\pi \cdot R^2} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{\frac{2}{3}(K_i - K_0)} \quad R = 50 \text{ км}, T = 1 \text{ год}$$

dS - разность между накопленной за время T площадью сейсмогенных разрывов в пределах круговой области радиусом R и средним многолетним значением, нормированная на среднеквадратичное отклонение



Карты максимальных значений dS-параметра

Выявление кластеров землетрясений

Соболев, Тюпкин (1998)

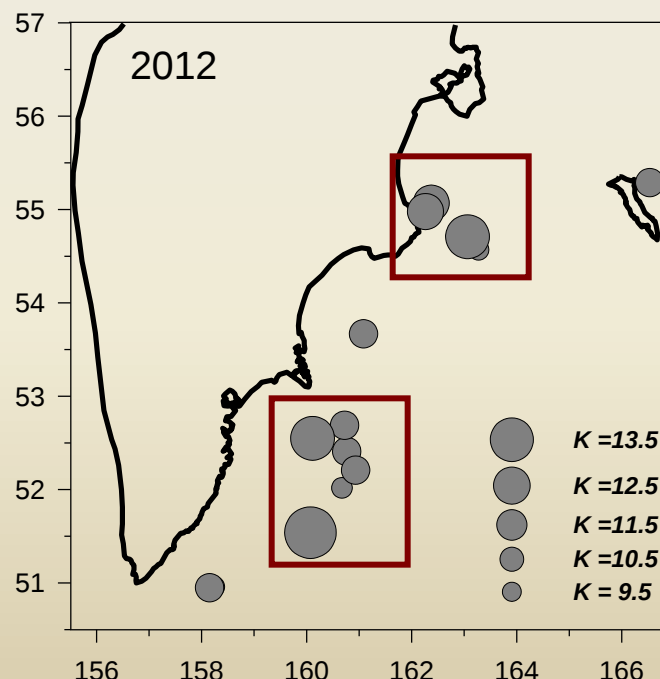
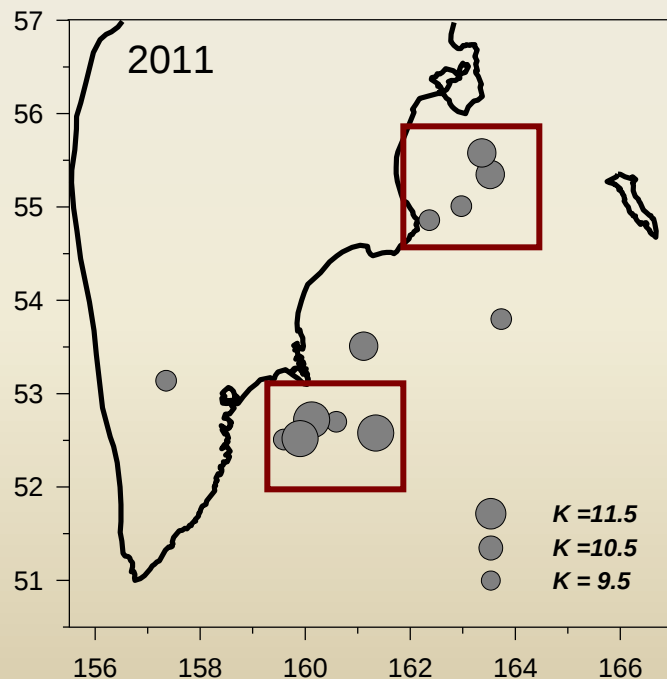
Образование кластеров может свидетельствовать о стягивании сейсмической активности к месту будущего макроразрыва

K_0 - минимальный класс землетрясений в кластере (первое землетрясение)

K_0 - минимальный класс основного события в кластере (последнее землетрясение)

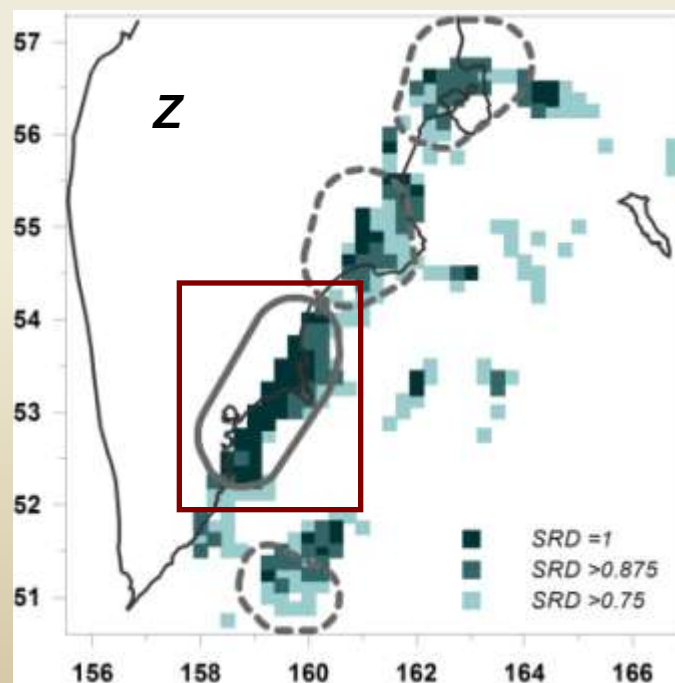
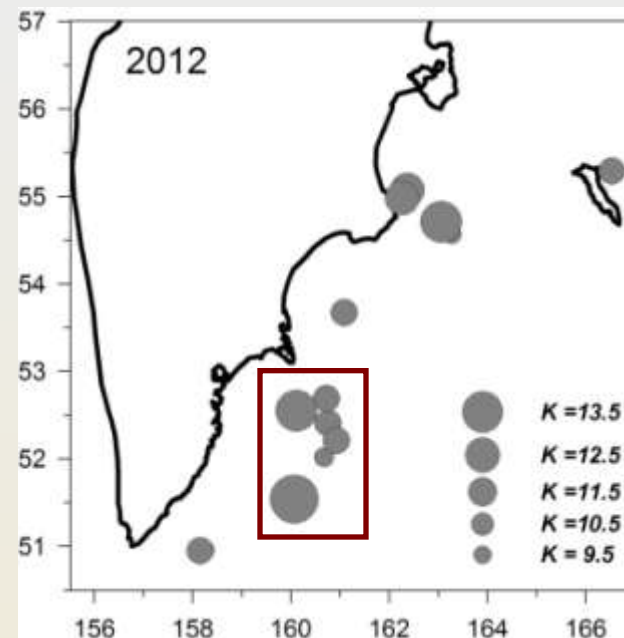
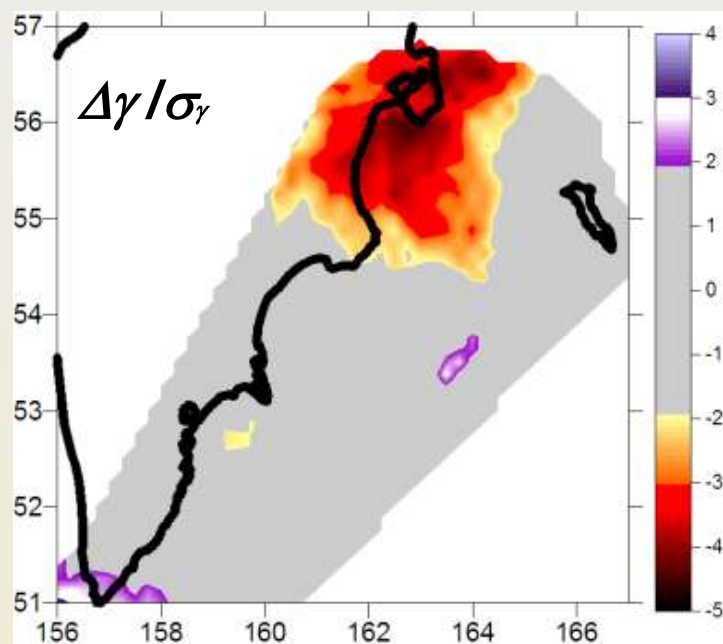
Кластер – группа землетрясений, удовлетворяющих условиям:

1. $\Delta R \leq R_{CR} = 3l_i$,
 l_i – размер сейсмогенного разрыва
2. $\Delta T \leq T_{CR} = 0.01 \cdot 10^{0.4 \cdot (K_i - 8.5)}$ (год)
3. $K(i) \leq K(i+1)$



Эпицентры главных событий кластеров землетрясений 2011-2012 гг.

Наиболее яркие аномалии 2011-2012 гг.



Спасибо за внимание!