

Динамические параметры очагов землетрясений, произошедших на острове Сахалин в 1978-2024 гг.

Богомоллов Л.М., Сычев В.Н.

*Институт морской геологии и геофизики
ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия*

Мотивация, задача

Имеются данные по динамическим параметрам (ДП) очагов 431 землетрясений в северо-западной части Тихого океана, которые произошли в период 1969–1996 гг. [автор Р.Н. Бурымская]. Но из них лишь 8 приходится на территории сахалина и прилегающий шельф

Недавние исследования ДП для землетрясений в С-З части Тихого океана как правило ограничиваются сейсмическим моментом M_0

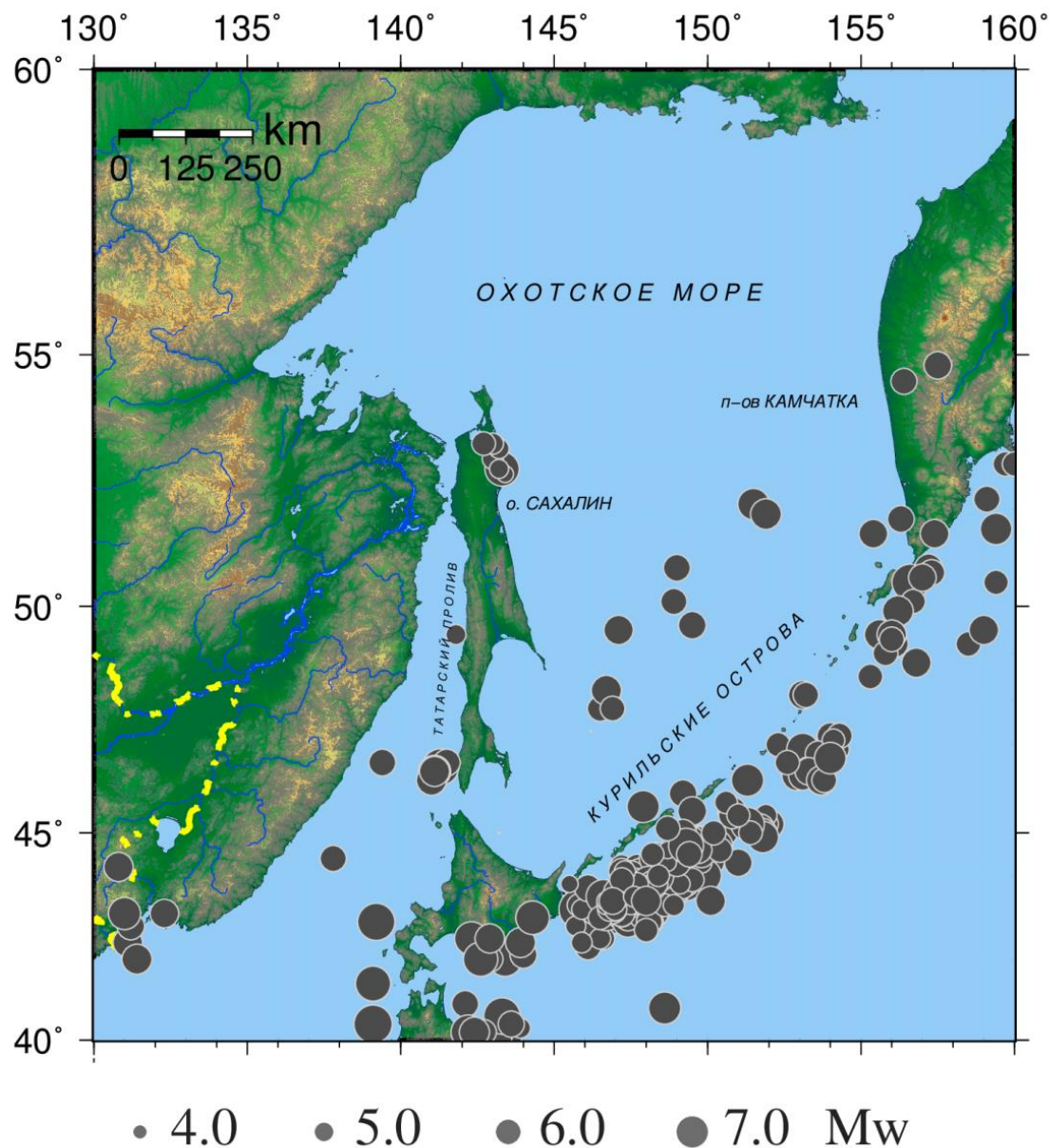
Замысел -

Создание (расширение) банка данных по динамическим параметрам (в особенности по сброшенным напряжениям и приведенной сейсмической энергии) очагов землетрясений на о. Сахалин и окружающей акватории Охотского и Японского морей.

Исходные данные

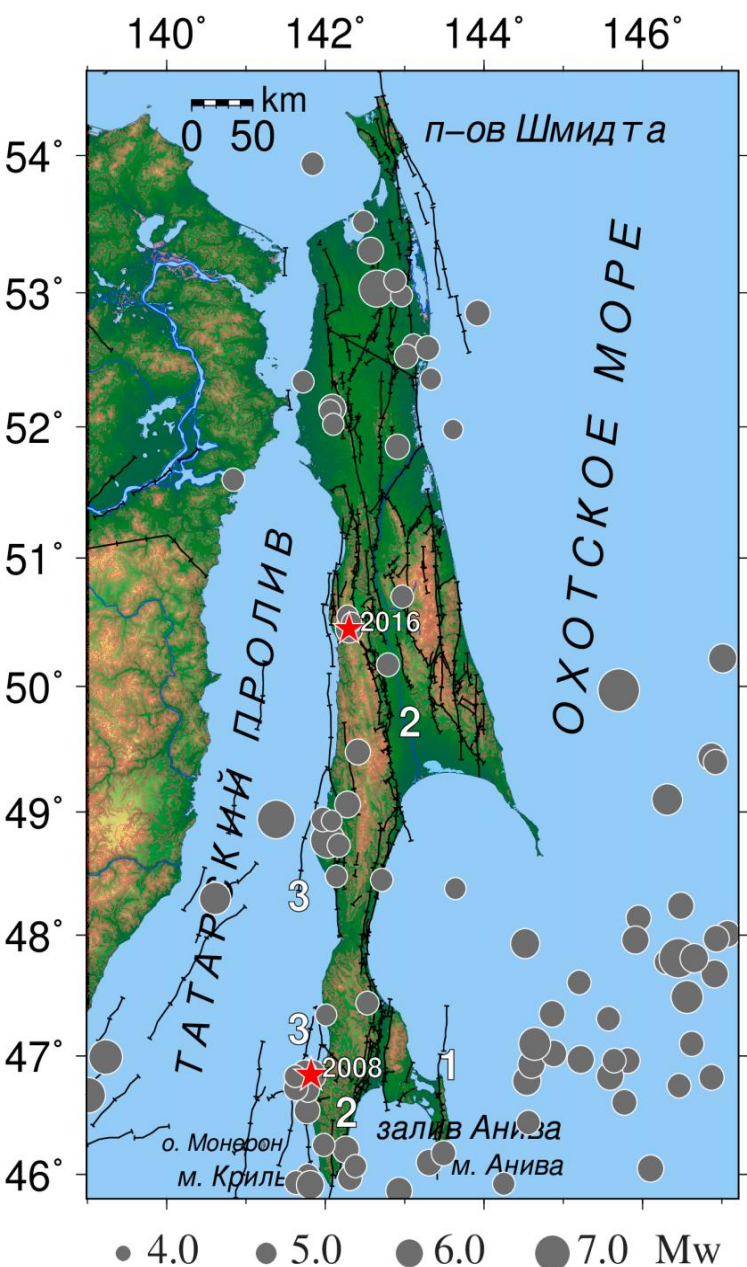
- Каталог динамических параметров 431 очага северо-западной части Тихого океана за 1969–1996 гг. $M=4.1\div 8.7$. Согласно: Бурымская Р.Н. 2001. Спектральный состав излучения и очаговые параметры землетрясений северо-западной части Тихого океана за 1969–1996 годы. В кн.: Динамика очаговых зон и прогнозирование сильных землетрясений северо-запада Тихого океана. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН/ Т. 1, С. 48–67.
- Каталог землетрясений, для которых рассчитаны компоненты тензора сейсмического момента, представлен на сайте Global CMT Catalog Search (<https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>).
- Для территории о. Сахалин и сопредельных акваторий Охотского и Японского морей из этого источника получены данные для 110 землетрясений с 1978 по 2024 г.

Бурымская Р.Н. 2001.
431 событие,
216 - в южной
части иссл. зоны.



Расположение эпицентров землетрясений 1969–1996 гг., для которых в [8] были определены спектральные и динамические параметры по записям аналоговых станций (через ЧИСС спектры).

На территории Сахалина и шельфе – 8 событий



События из каталога СМТ

Распределение по площади эпицентров
110 землетрясений из каталога СМТ за
1978–2024 гг.

(<https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>).

Красные звезды - землетрясения: 2007 –
Невельское (2007.08.02, $M_W=6.2$),
2016 – **Онорское** (2016.08.14, $M_W=5.7$).

Методика - расчетные выражения

- Сброшенные напряжения $\Delta\sigma = 7M_0/16r^3$

- Приведенная сейсмическая энергия

$$e_{PR} = (32k^3/7)\Delta\sigma/G$$

- Для модели Брюна [Кочарян, 2016]

$$e_{PR} = 0.2 \Delta\sigma/\rho V_S^2$$

- **Прочие соотношения**

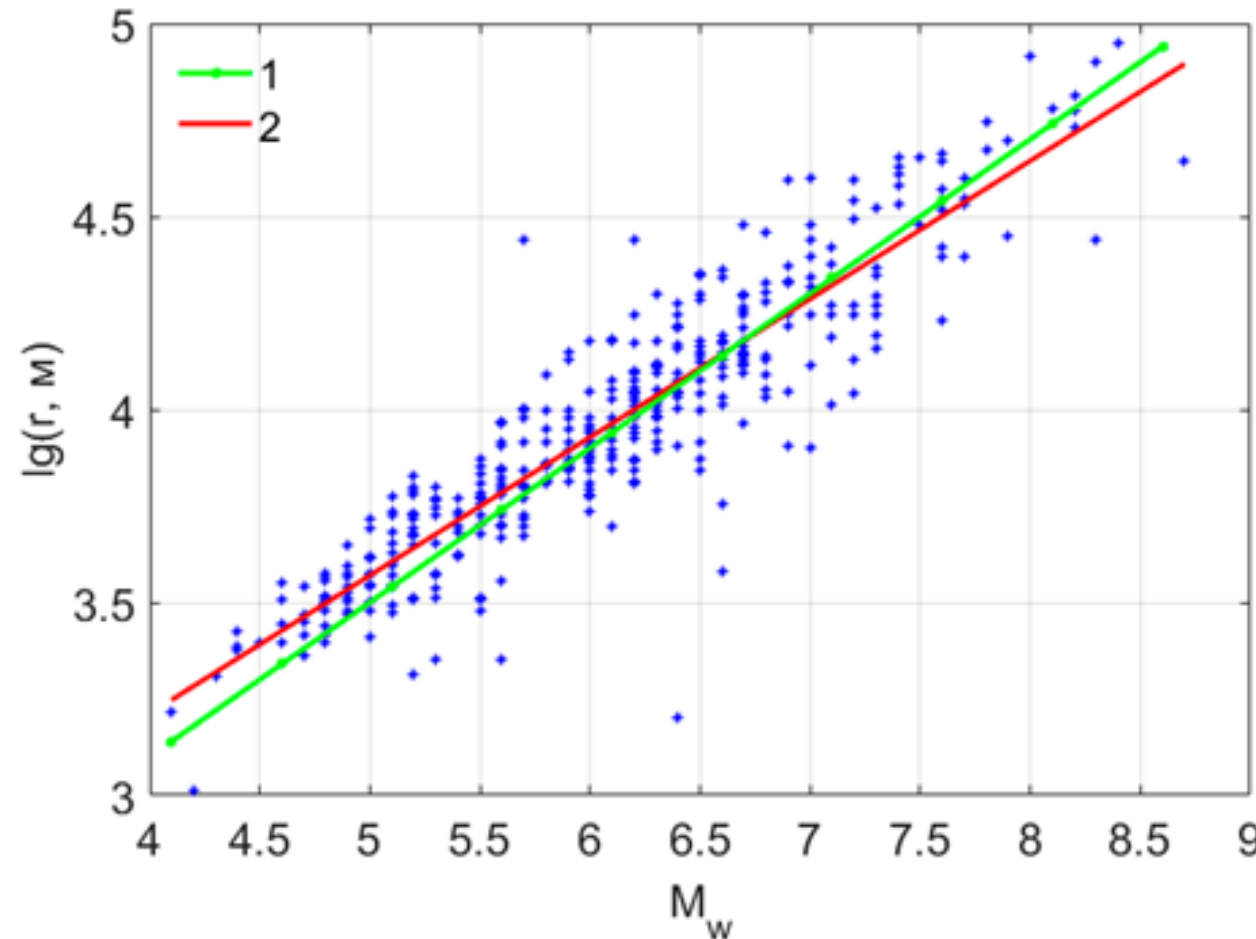
- [Канамори, 1977] $M_W = 2/3 (\lg(M_0) - 9.1)$

- По [Ризниченко, 1985] и [Бурымская, 2001] получаем значение радиуса очага (рассчитанного по модели Брюна)

- **$\lg(r) = 0.4M_W + 1.5 = 0.27 \lg(M_0) - 0.92$**

- **$\lg(r) = 0.36M_W + 1.78 = 0.24 \lg(M_0) - 0.4$**

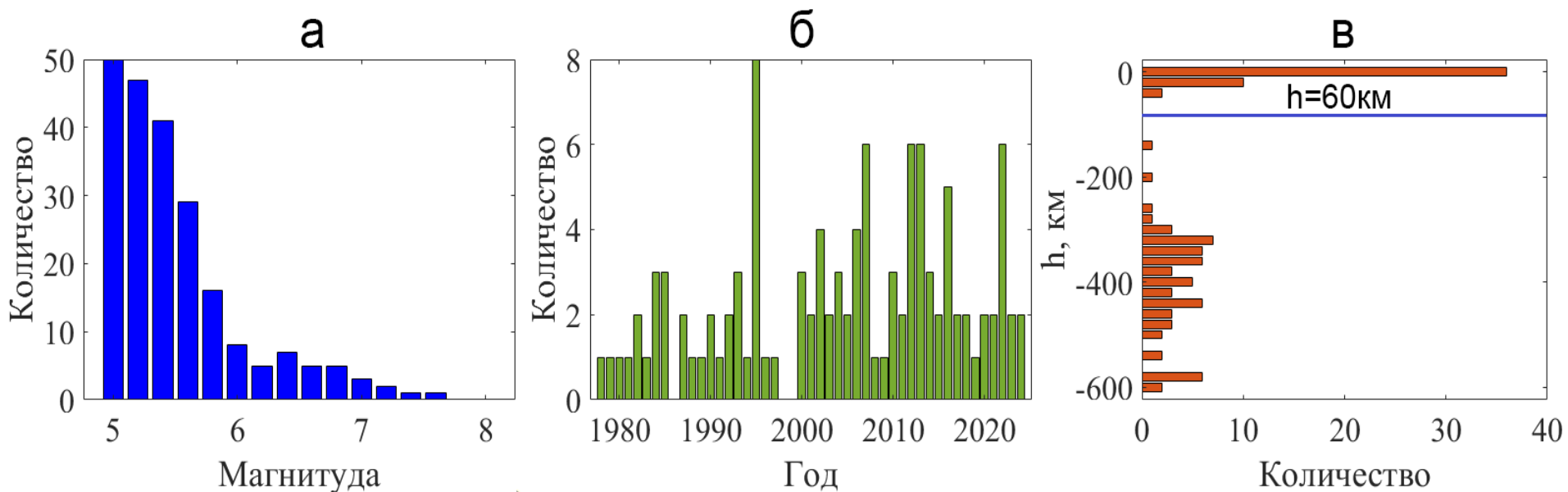
Методика – аппроксимации радиуса r



Модельные зависимости $\lg(r(M_w))$:
1- теоретическая, согласно обобщению [Ризниченко, 1985],
2- эмпирическая, по каталогу ДП [Бурымская, 2001].

Для $M_w < 6.7$ регрессия по эмпирич. данным несколько выше теории

Распределение 110 землетрясений из каталога СМТ: а - по магнитудам, б - во времени и в - по глубине.

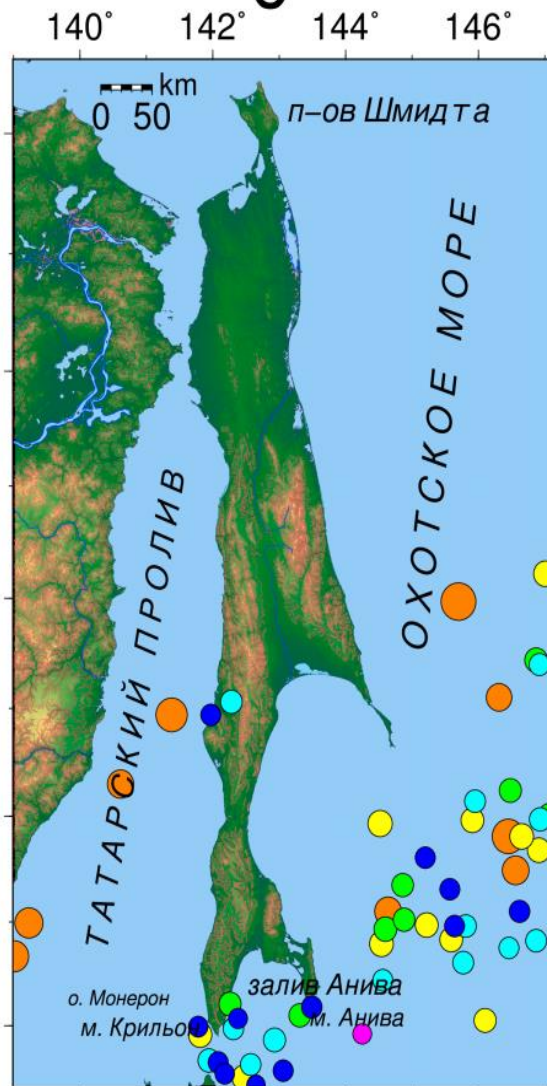
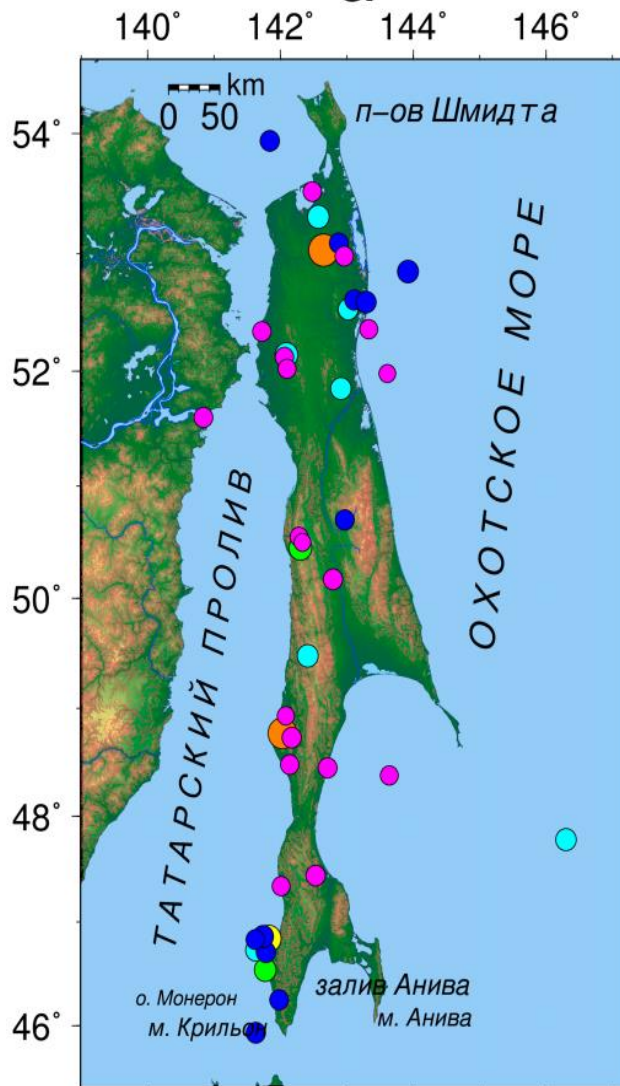


Разделим нашу выборку на две части: 48 событий с глубиной гипоцентров менее 60 км и 62 события с гипоцентрами на глубине более 60 км.

Результат - землетрясения, для которых определены сброшенные напряжения и др. ДП

а

б



а – с глубиной
гипоцентров до
60 км,
б – с глубиной
более 60 км

МПа

- 0 – 1.0
- 1.0 – 1.3
- 1.3 – 1.7
- 1.7 – 2.0
- 2.0 – 3.0
- более 3.0

Средневзвешенные сброшенные напряжения

Представляет интерес усреднение $\Delta\sigma$ по выборке событий, сформированной по какому-либо признаку (например, по расположению гипоцентров в заданной зоне или одинаковому типу подвижки в очаге).

$$\langle \Delta\sigma \rangle_V = \frac{\sum_i \Delta\sigma_i r_i^3}{\sum_i r_i^3}$$

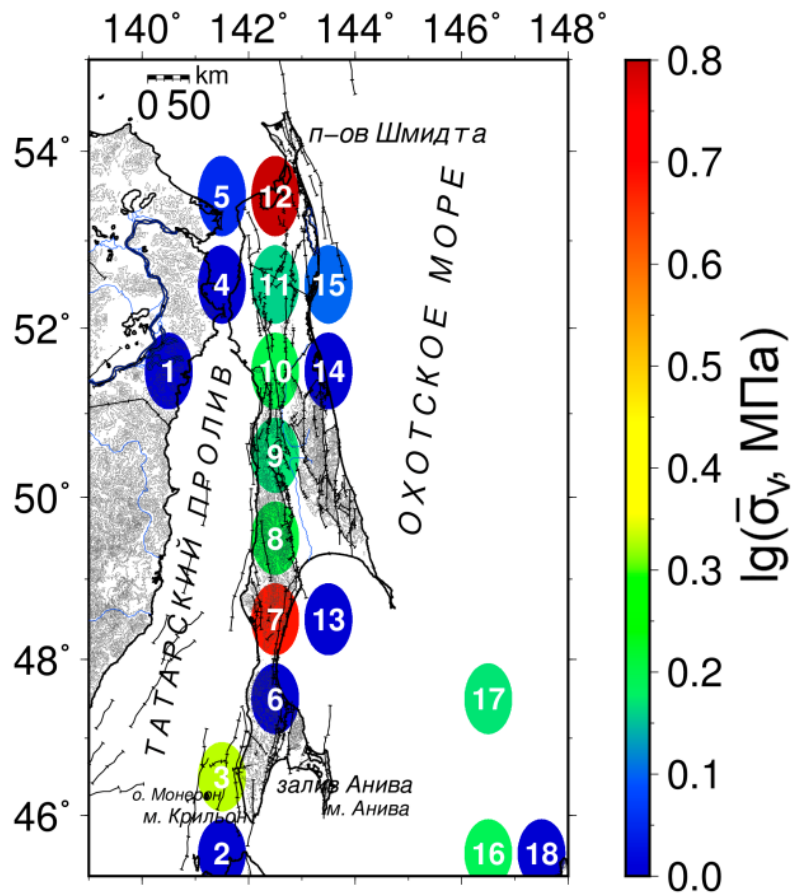
Но произведение $\Delta\sigma_i \cdot r_i^3 = 7/16 (M_0)_i$, следовательно

$$\langle \Delta\sigma \rangle_V = \frac{7}{16} \frac{\sum_i (M_0)_i}{\sum_i r_i^3}$$

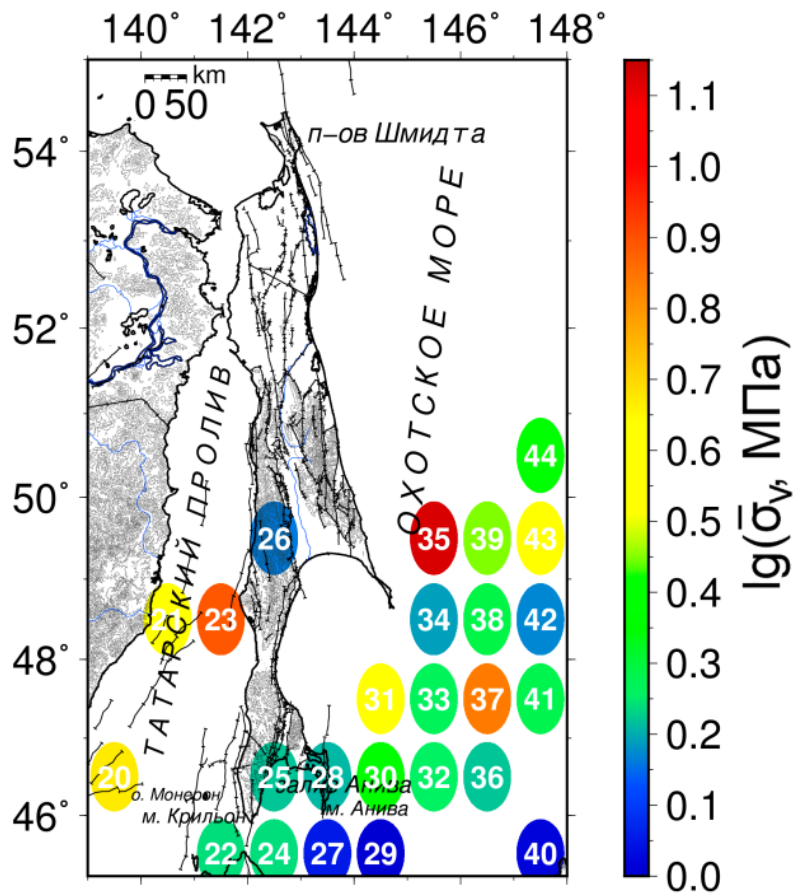
Расчеты проводились для ячеек размером $1 \times 1^\circ$, при этом сдвиг также задавался в 1° .

Распределение средневзвешенных сброшенных напряжений (в логарифмических ед.)

а



б



а – глубина гипоцентра до 60 км,

б – более 60

Сопоставление $\langle \Delta \sigma \rangle$ с геодинамическим районированием Сахалина

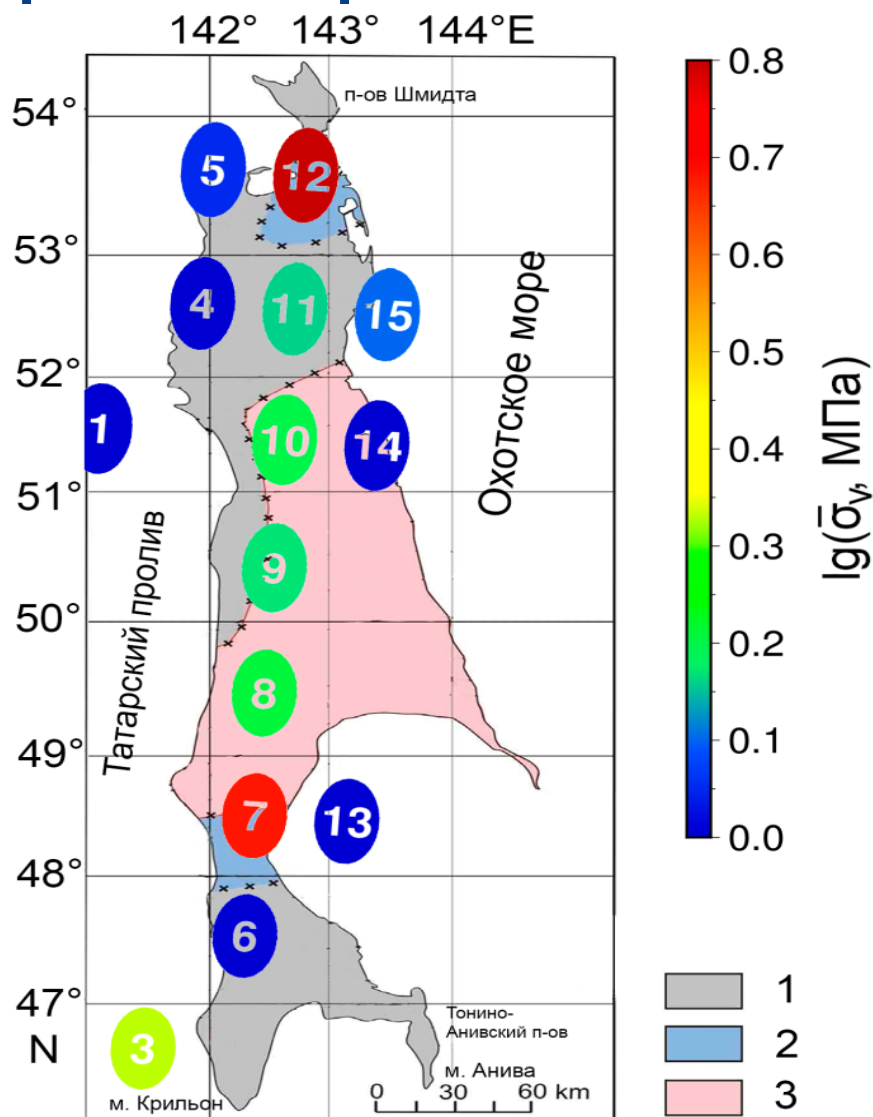
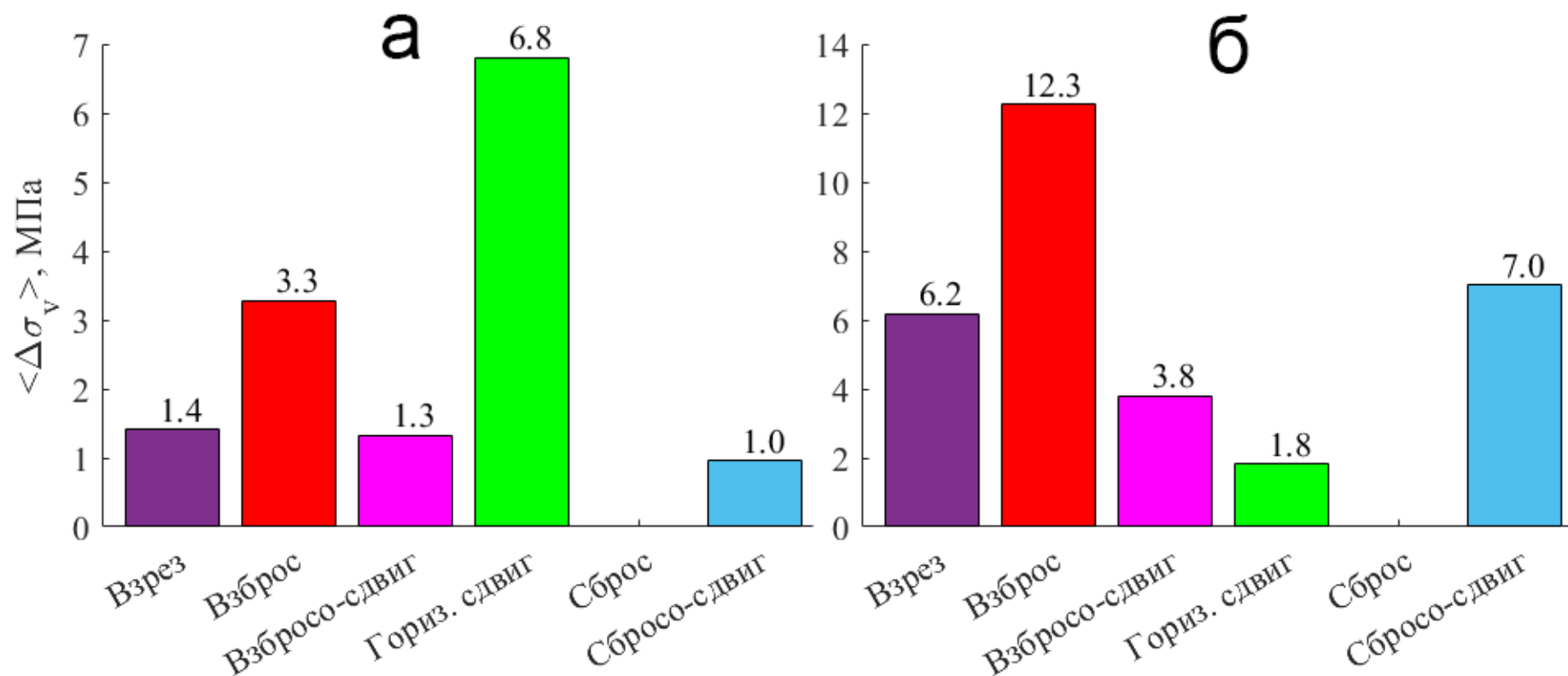


Схема районирования территории о. Сахалин по типу геодинамической обстановки, и расположение зон с различным средневзвешенным $\langle \Delta \sigma \rangle$ в районах с режимами:

- 1- области с трехосным напряженным состоянием,
- 2 – преобладает обстановка одноосного растяжения
- 3- преобладает обстановка одноосного растяжения сжатия .

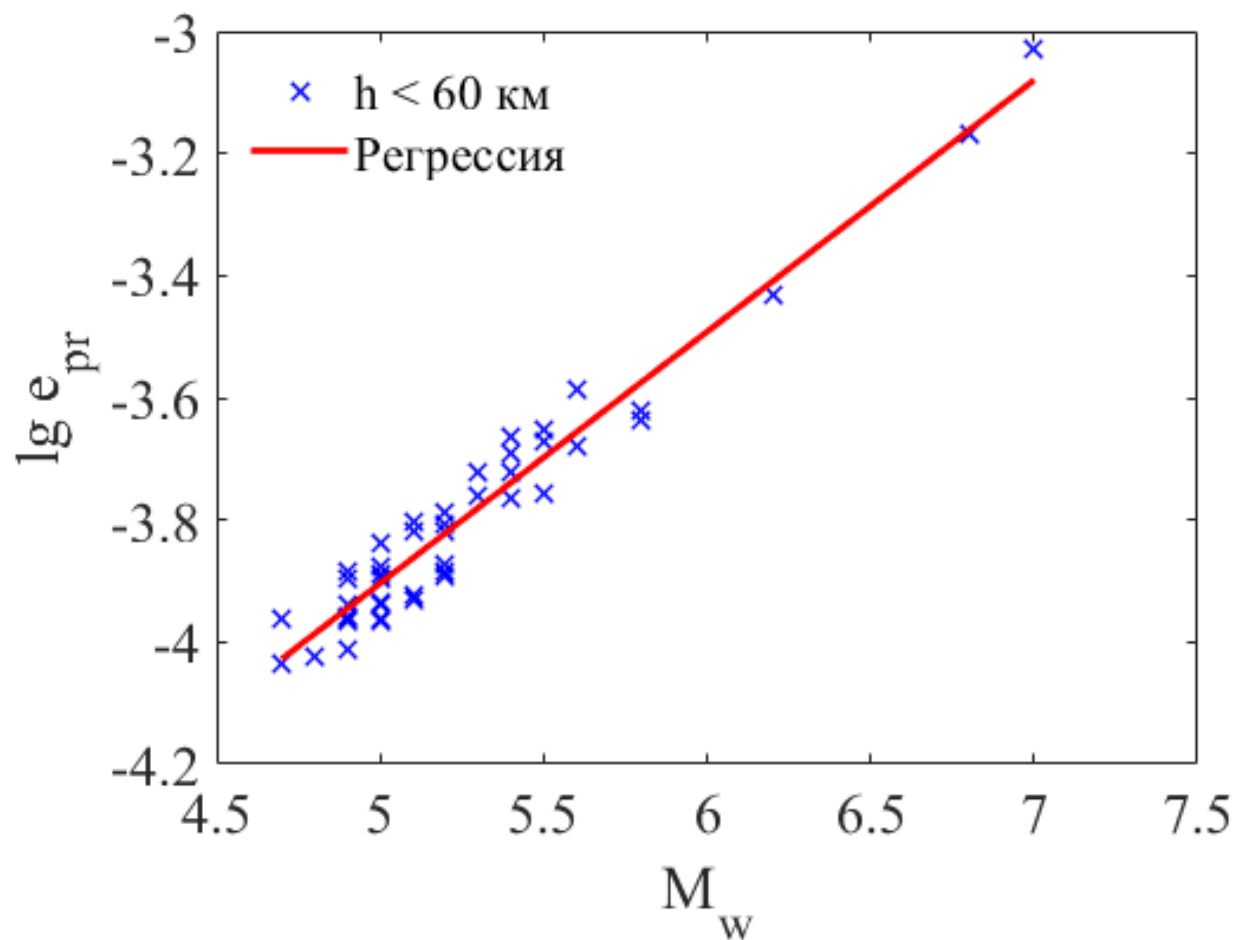
Средневзвешенные сброшенные напряжения для землетрясений с разными типами очаговых подвижек



а – очаги на глубине до 60 км,

б – очаги на глубине более 60 км.

Зависимость приведенной сейсмической энергии от магнитуды землетрясения



Зависимость e_{PR} от магнитуды землетр. для событий с глубиной гипоцентров до 60 км.
Уравнение регрессии (красная линия)
 $\lg e_{PR} = 0.41 M_W - 5.96.$

Заключение

С использованием феноменологического подхода, опирающегося на наличие регрессии $r(M_0)$ или $r(M_W)$, получены значения ДП ($r, \Delta\sigma, e_{PR}$) для 110 землетр. на Сахалине и окружающих акваториях за 1978-2024 гг. Использованный подход опирается на концепцию о взаимосвязи $r = f(M_W)$, что соотв. узкому диапазону значений скорости разрыва $V_R \sim (0.75-0.9) V_S$.

Для картирования распределений $\Delta\sigma$ и сравнения с геодинамическими обстановками предложено ввести средневзвешенные значения $\langle\Delta\sigma\rangle$ с весовыми коэффициентами $\sim r^3$. Средневзвешенные $\Delta\sigma$ для очагов с глубинами до 60 км находятся в пределах 0.7 – 6.6 МПа. Выделены зоны с наименьшими и наибольшими значениями $\langle\Delta\sigma\rangle$.

В этих же зонах достигается, соответственно, минимум и максимум приведенной сейсмической энергии. Для очагов землетр. на глубинах до 60 км есть линейная регрессия между значениями e_{PR} и M_W .