

**Закон продуктивности землетрясений в широком
диапазоне магнитуды**
П. Шебалин, С. Баранов И. Воробьева

Shebalin P, Baranov S and Vorobieva I. Earthquake Productivity Law in a Wide
Magnitude Range. *Frontiers in Earth Science*. 2022. 10:881425. doi:
10.3389/feart.2022.881425

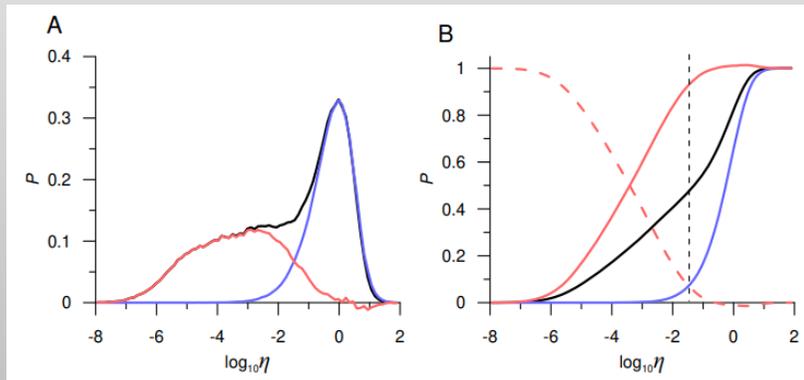
Метод ближайшего соседа для идентификации афтершоков

Zaliapin and Ben-Zion (2013, 2016)

Функция близости (Baiesi and Paczuski, 2004)

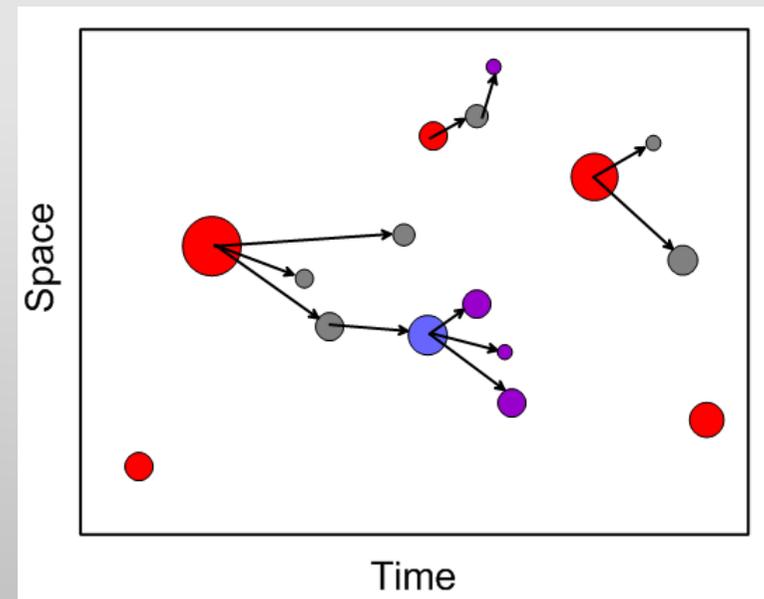
$$\eta_{ij} = \begin{cases} t_{ij} (r_{ij})^{d_f} 10^{-bm_i} & \text{for } t_{ij} > 0; \\ +\infty & \text{for } t_{ij} \leq 0 \end{cases}$$

Распределение функции близости
И определение порогового значения



Для каждого события ищется «ближайшее» предшествующее (порождающее) событие.

В итоге зависимыми считаем события с функцией близости меньше пороговой.



Закон продуктивности землетрясений

Shebalin, P. N., Narteau, C., and Baranov, S. V. (2020b). Earthquake Productivity Law. *Geophys. J. Int.* 222, 1264–1269. doi:10.1093/gji/ggaa252

Распределение числа прямых афтершоков в относительном магнитудном интервале ΔM имеет экспоненциальную форму

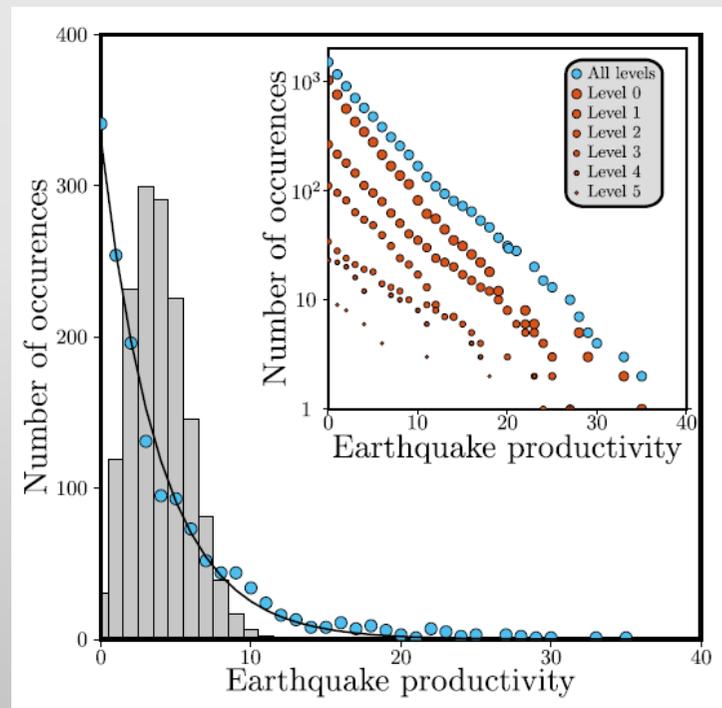
$$p_e(\lambda) = \frac{1}{\Lambda_{\Delta M}} \exp\left(-\frac{\lambda}{\Lambda_{\Delta M}}\right)$$

$\Lambda_{\Delta M}$ – продуктивность, среднее число афтершоков магнитудном интервале ΔM на землетрясение

- Для большинства землетрясений характерно малое число афтершоков, и наиболее вероятным результатом является полное отсутствие афтершоков.
- Ранее предполагалось, что продуктивность имеет характерное значение.
- В модели ETAS используется распределение Пуассона с ненулевой модой.

Закон продуктивности землетрясений

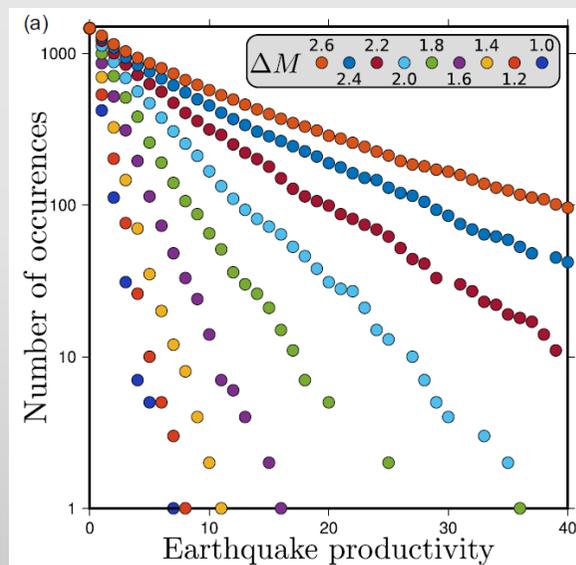
Shebalin, P. N., Narteau, C., and Baranov, S. V. (2020b). Earthquake Productivity Law. Geophys. J. Int. 222, 1264–1269. doi:10.1093/gji/ggaa252



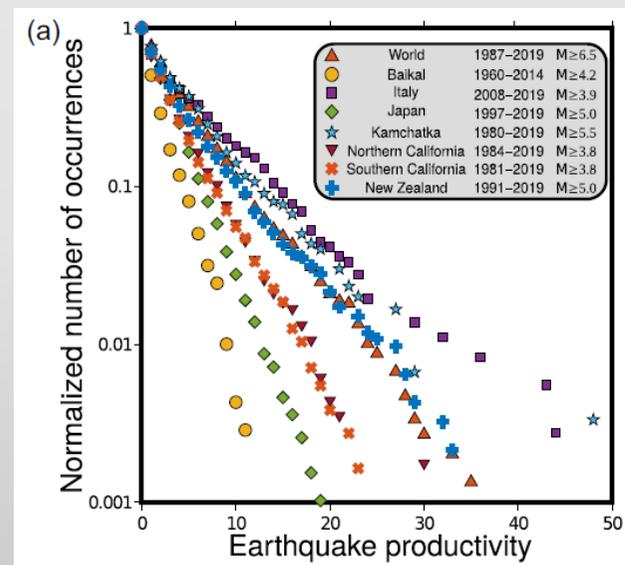
- Продуктивность землетрясений из мирового каталога ANSS. Голубые точки – распределение числа афтершоков землетрясений с магнитудой $M \geq 6.5$ в относительном магнитудном окне $\Delta M=2$.
- Черная линия – экспоненциальное распределение с параметром Λ_2 , (среднее число афтершоков на одно землетрясение, определяется по данным)
- Гистограмма – распределение Пуассона с параметром Λ_2 .
- Врезка показывает распределение числа афтершоков для разных уровней иерархии.

Закон продуктивности землетрясений: Тесты

Shebalin, P. N., Narteau, C., and Baranov, S. V. (2020b). Earthquake Productivity Law. Geophys. J. Int. 222, 1264–1269. doi:10.1093/gji/ggaa252

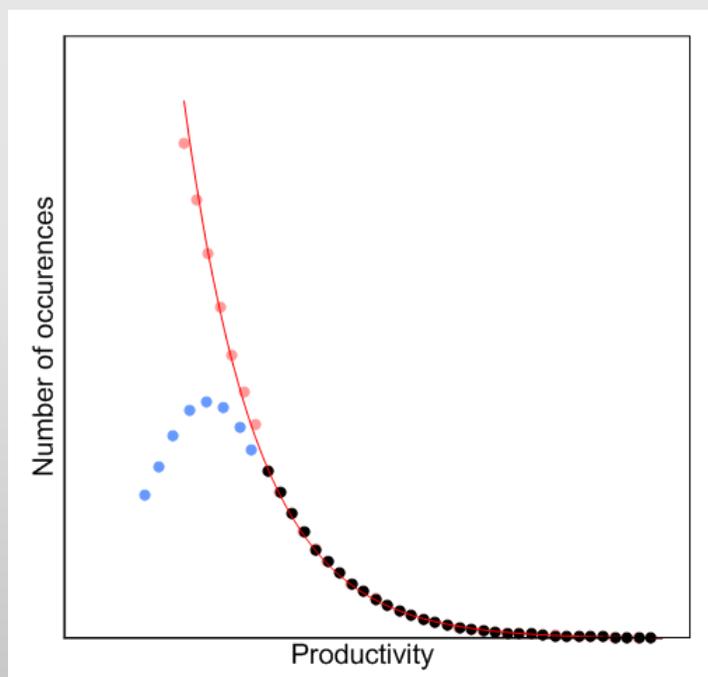


ANSS, распределения
для различных ΔM



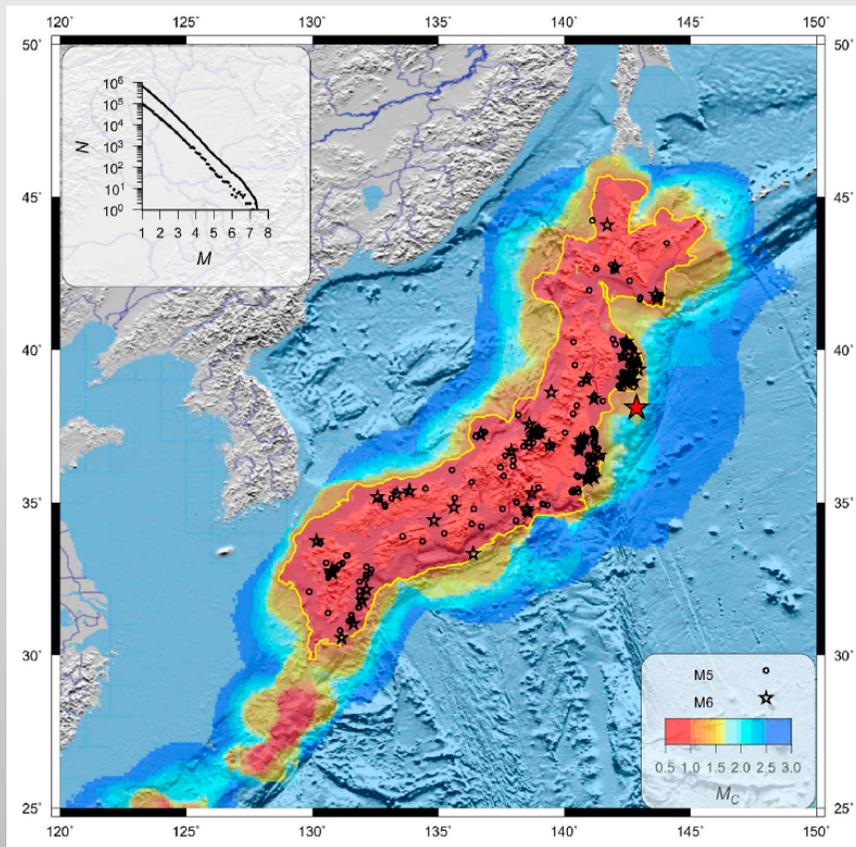
Различные каталоги
 $\Delta M=2$

Выполняется ли закон продуктивности для больших ΔM , когда среднее число афтершоков становится большим ?



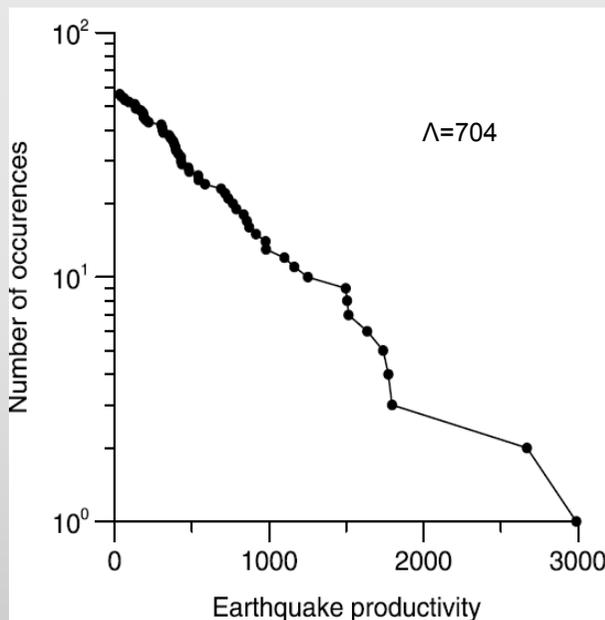
- Представительность каталога ANSS позволяет рассматривать $\Delta M=2$ для порождающих землетрясений $M \geq 6.5$ среднее число афтершоков $\Lambda_2=4.3$
- Увеличение ΔM ведет к увеличению числа афтершоков, но сокращает статистику порождающих землетрясений.

Данные: каталог ЖМА 2000-2019, поверхностные землетрясения Японских островов

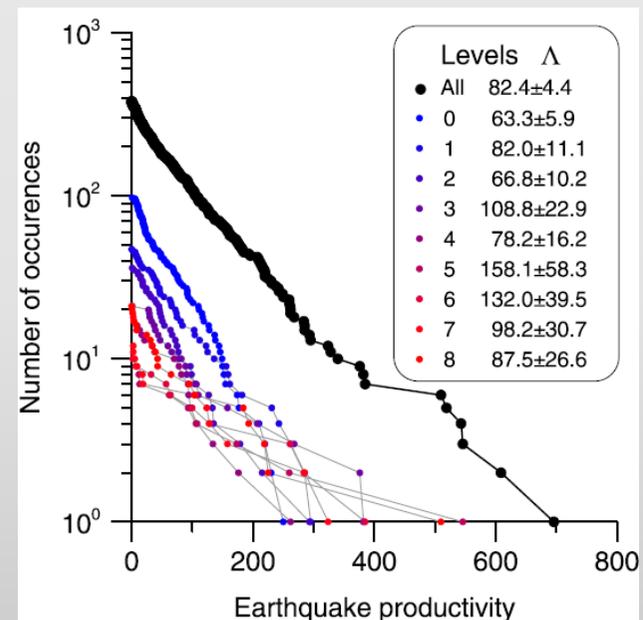


- Карта магнитуды полной регистрации M_c Японских островов Желтая линия очерчивает территорию $M_c \leq 1$.
- Эпицентры порождающих землетрясений использованные для анализа продуктивности кружки ($5 \leq M < 6$, 380 событий) и звездочки ($M \geq 6$, 56 событий).
- Красная звездочка – эпицентр землетрясения Тохоку 11 марта 2011, $M_w = 9.1$.
- На врезке показаны графики повторяемости на территории с $M_c \leq 1$ (внутри желтого контура).

Результат: продуктивность для $\Delta M=5$ и $\Delta M=4$



Порождающие землетрясения $M \geq 6$, $\Delta M=5$



Порождающие землетрясения $M \geq 5$, $\Delta M=4$

Обсуждение

- Распределение продуктивности землетрясений является экспоненциальным для больших значений ΔM .
- Это означает, что для большинства землетрясений характерно малое число афтершоков, и наиболее вероятным результатом является полное отсутствие афтершоков. Эта закономерность кажется контринтуитивной, особенно при рассмотрении афтершоков в широком диапазоне магнитуды. В рассмотренном примере средняя продуктивность 704, а число порождающих землетрясений всего 56, в предположении экспоненциального распределения ожидаемое число событий с продуктивностью $\lambda=0$ будет 0.07.
- Продуктивность землетрясения является его параметром наряду с другими характеристиками. Средняя продуктивность является характеристикой ансамбля землетрясений. Изучение вариаций средней продуктивности в пространстве и времени является перспективным направлением изучения сейсмичности.
- В моделировании сейсмичности (например модель ETAS) и некоторых методах декластеризации каталогов землетрясений новый закон о продуктивности позволяет заменить неверное предположение о постоянной продуктивности землетрясений экспоненциальным распределением.

Спасибо за внимание