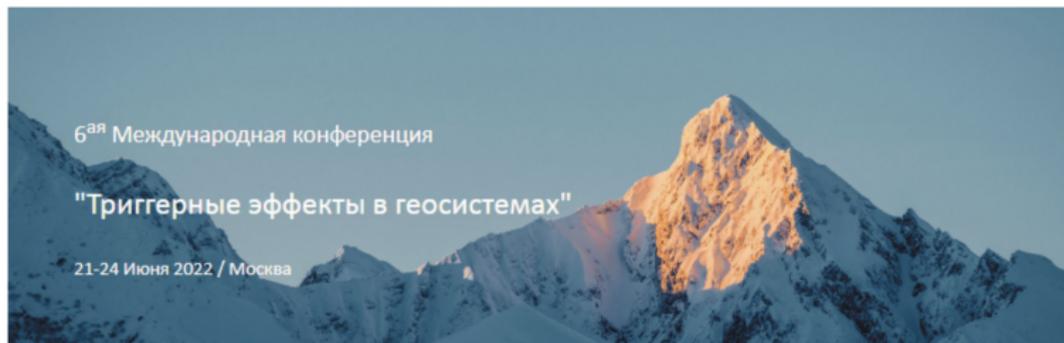


Учёт пространственной неоднородности параметров сейсмического режима для построения надёжных оценок сейсмической опасности

Василий Павленко

ИФЗ РАН

22 июня 2022



Введение

Различные подходы к описанию диффузной сейсмичности:

- ▶ Традиционный подход [Ризниченко \(1965, 1966\)](#); [Cornell \(1968, 1971\)](#)
- ▶ На основе исторической сейсмичность [Milne and Davenport \(1969\)](#)
- ▶ Сглаживание наблюдаемой сейсмичности [Woo \(1996\)](#); [Kijko and Graham \(1998, 1999\)](#)

Анализ влияния этих подходов на результаты BACO:

- ▶ [Molina et al. \(2001\)](#) и [Beauval et al. \(2006\)](#): сравнение традиционного подхода и метода ядерного сглаживания
- ▶ [Hong et al. \(2006\)](#): традиционного подхода, метода [Milne and Davenport \(1969\)](#) и метода эпицентральных ячеек
- ▶ [Goda et al. \(2013\)](#): сравнение традиционного подхода, метода ядерного сглаживания и метода эпицентральных ячеек

Применение методов сглаживания:

- ▶ Карты сейсмической опасности USGS ([Frankel, 1995](#); [Frankel et al., 1996, 2002](#); [Petersen et al., 2008, 2014](#))
- ▶ Программа OpenQuake

Параметры сейсмического режима

Закон Гутенберга-Рихтера:

$$\log_{10}(N) = a - bM \quad (1)$$

Оценка Аки-Утсу:

$$\hat{b} = \frac{\log_{10}(e)}{\bar{M} - (M_c - \Delta M/2)} \quad (2)$$

$$\hat{a} = \log_{10}(N) + \hat{b}M_c \quad (3)$$

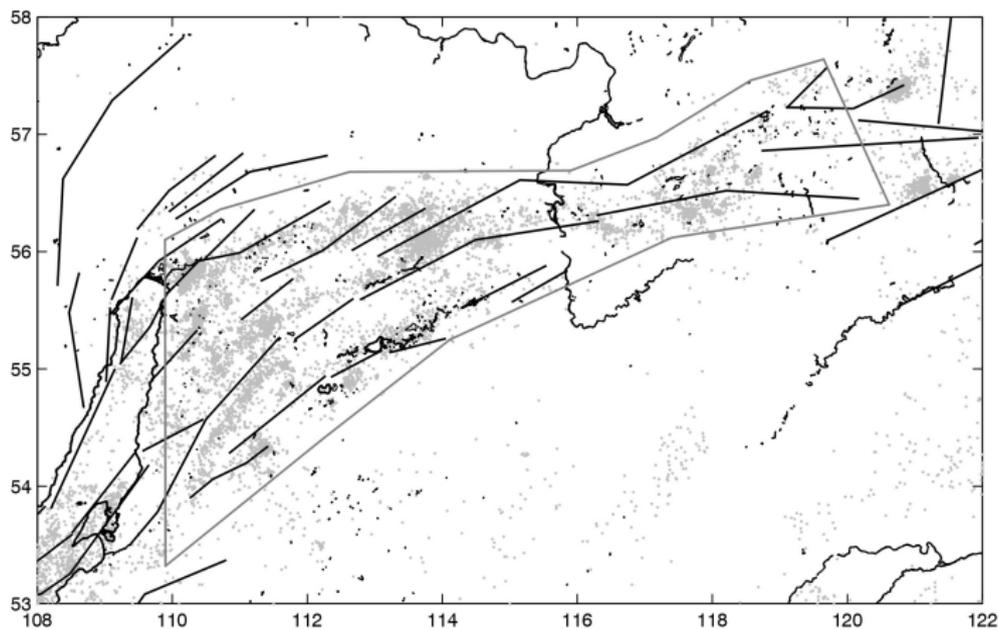
Обобщение оценки Аки-Утсу для каталогов с изменяющимся уровнем магнитуды представительной регистрации [Kijko and Smit \(2012\)](#):

$$\hat{b} = \frac{n}{\sum_i^s (n_i / \hat{b}_i)} \quad (4)$$

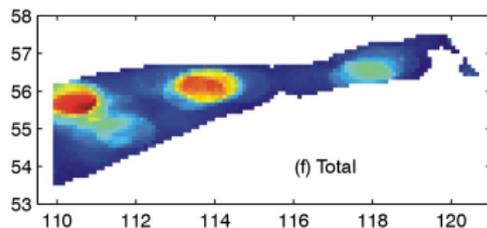
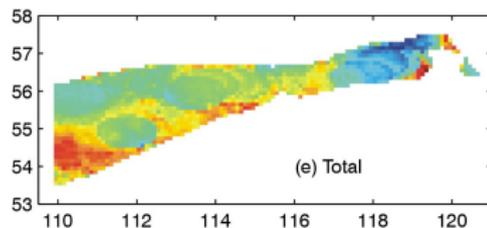
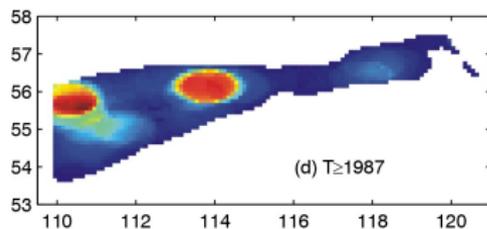
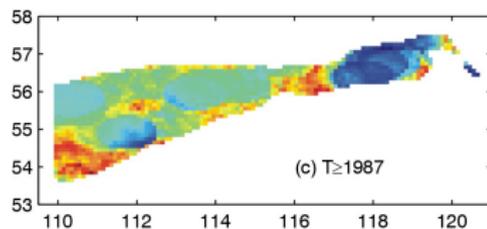
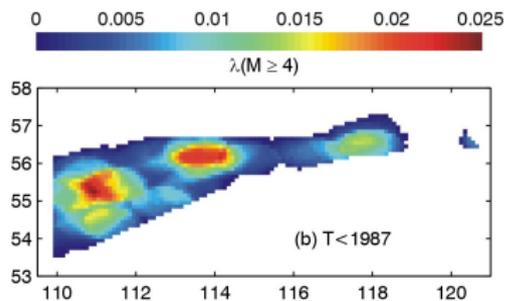
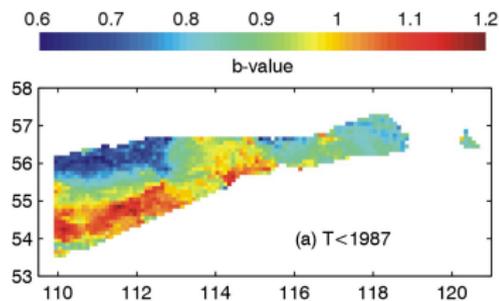
$$\hat{\lambda}_m = \frac{n}{\sum_i^s t_i \exp[-\hat{\beta}(M_c^i - m)]} \quad (5)$$

Региональный каталог землетрясений

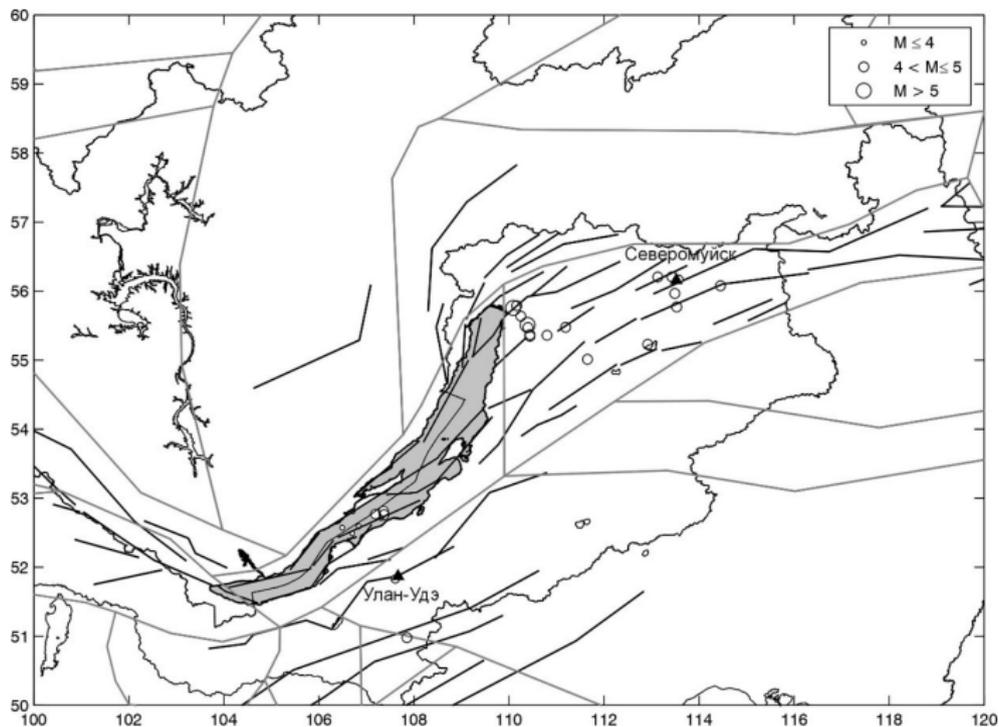
Доступен по ссылке <http://seis-bykl.ru/>



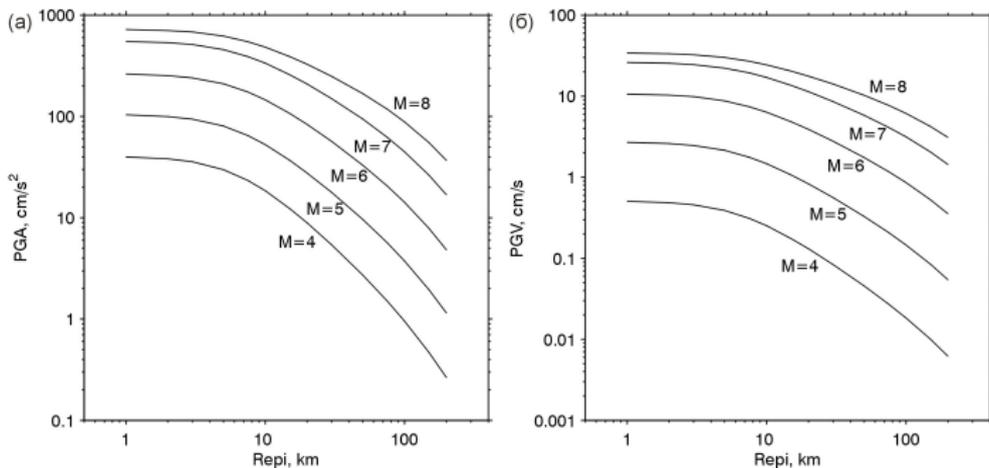
Вариации параметров сейсмического режима



Уравнение прогноза движений грунта



Уравнение прогноза движений грунта

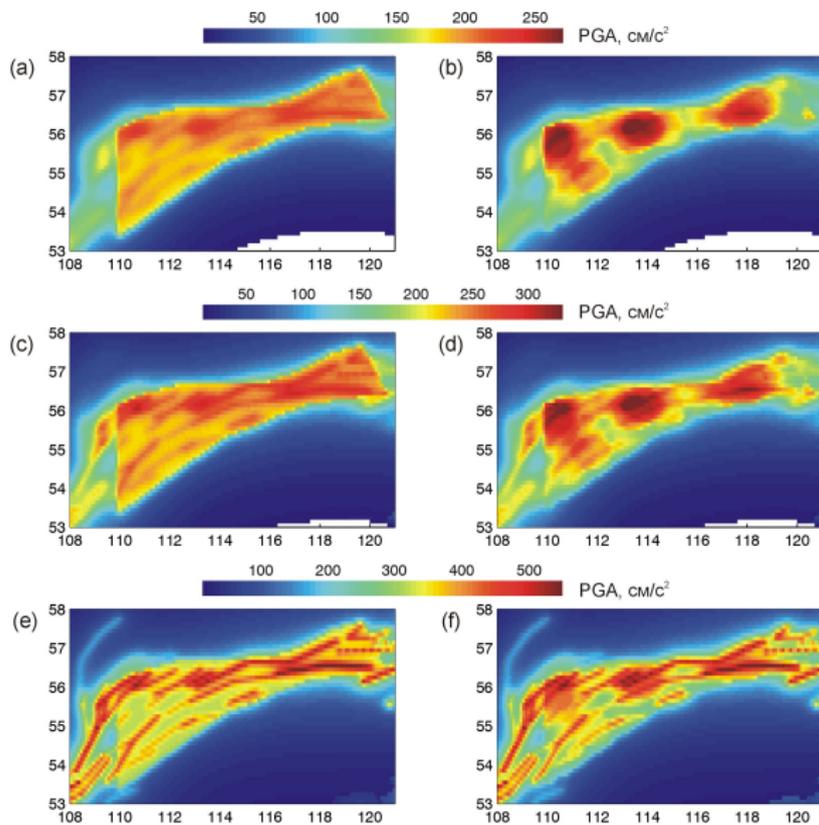


$$\ln(Y) = F_M(M) + F_D(R_{epi}, M) + \epsilon\sigma$$

$$F_M(M) = e_1 + \begin{cases} e_2(M - M_h) + e_3(M - M_h)^2, & M \leq M_h \\ e_4(M - M_h), & M \geq M_h \end{cases}$$

$$F_D(R_{epi}, M) = [c_1 + c_2(M - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + c_3(R - R_{ref})$$

Карты сейсмической опасности



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

- Ризниченко, Ю. В. (1965). От активности очагов землетрясений к сотрясаемости земной поверхности. *Изв. АН СССР. Физика Земли* (11), 1–12.
- Ризниченко, Ю. В. (1966). Расчёт сотрясаемости точек земной поверхности от землетрясений в окружающей области. *Изв. АН СССР. Физика Земли* (5), 16–32.
- Beauval, C., O. Scotti, and F. Bonilla (2006). The role of seismicity models in probabilistic seismic hazard estimation: comparison of a zoning and a smoothing approach. *Geophys. J. Int.* 165(2), 584–595. doi: [10.1111/j.1365-246X.2006.02945.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.02945.x).
- Cornell, C. A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 58(5), 1583–1606.
- Cornell, C. A. (1971). Probabilistic analysis of damage to structures under seismic loads. In D. A. Howells, I. P. Haigh, and C. Taylor (Eds.), *Dynamic waves in civil engineering*, New York, pp. 473–488. Society for Earthquake and Civil Engineering: John Wiley and Sons.
- Frankel, A. (1995). Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States. *Seismol. Res. Lett.* 66(4), 8–21. doi: [10.1785/gssrl.66.4.8](https://doi.org/10.1785/gssrl.66.4.8).
- Frankel, A., C. Mueller, T. Barnhard, D. Perkins, E. V. Leyendecker, N. Dickman, S. Hanson, and M. Hopper (1996). *National Seismic-Hazard Maps: Documentation*. U.S. Geological Survey. Open-File Report 96-532.
- Frankel, A. D., M. D. Petersen, C. S. Mueller, K. M. Haller, R. L. Wheeler, E. V. Leyendecker, R. L. Wesson, S. C. Harmsen, C. H. Cramer, D. M. Perkins, and K. S. Rukstales (2002). *Documentation for the 2002 Update of the National Seismic Hazard Maps*. U.S. Geological Survey. Open-File Report 02-420.
- Goda, K., W. Aspinall, and C. A. Taylor (2013). Seismic Hazard Analysis for the U.K.: Sensitivity to Spatial Seismicity Modelling and Ground Motion Prediction Equations. *Seismol. Res. Lett.* 84(1), 112–129. doi: [10.1785/0220120064](https://doi.org/10.1785/0220120064).
- Hong, H. P., K. Goda, and A. G. Davenport (2006). Seismic hazard analysis: a comparative study. *Can. J. Civ. Eng.* 33(9), 1156–1171. doi: [10.1139/l06-062](https://doi.org/10.1139/l06-062).
- Kijko, A. and G. Graham (1998). Parametric-historic Procedure for Probabilistic Seismic Hazard Analysis. Part I: Estimation of Maximum Regional Magnitude m_{\max} . *Pure Appl. Geophys.* 152(3), 413–442. doi: [10.1007/s000240050161](https://doi.org/10.1007/s000240050161).

- Kijko, A. and G. Graham (1999). "Parametric-historic" Procedure for Probabilistic Seismic Hazard Analysis. Part II: Assessment of Seismic Hazard at Specified Site. *Pure Appl. Geophys.* 154(1), 1–22. doi: [10.1007/s000240050218](https://doi.org/10.1007/s000240050218).
- Kijko, A. and A. Smit (2012). Extension of the Aki-Utsu b -Value Estimator for Incomplete Catalogs. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 102(3), 1283–1287. doi: [10.1785/0120110226](https://doi.org/10.1785/0120110226).
- Milne, W. G. and A. G. Davenport (1969). Distribution of earthquake risk in Canada. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 59(2), 729–754.
- Molina, S., C. D. Lindholm, and H. Bungum (2001). Probabilistic seismic hazard analysis: zoning free versus zoning methodology. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 42(1-2), 19–39.
- Petersen, M. D., A. D. Frankel, S. C. Harmsen, C. S. Mueller, K. M. Haller, R. L. Wheeler, R. L. Wesson, Y. Zeng, O. S. Boyd, D. M. Perkins, N. Luco, E. H. Field, C. J. Wills, and K. S. Rukstales (2008). *Documentation for the 2008 Update of the United States National Seismic Hazard Maps*. U.S. Geological Survey. Open-File Report 2008-1128.
- Petersen, M. D., M. P. Moschetti, P. M. Powers, C. S. Mueller, K. M. Haller, A. D. Frankel, Y. Zeng, S. Rezaeian, S. C. Harmsen, O. S. Boyd, N. Field, R. Chen, K. S. Rukstales, N. Luco, R. L. Wheeler, R. A. Williams, and A. H. Olsen (2014). *Documentation for the 2014 Update of the United States National Seismic Hazard Maps*. U.S. Geological Survey. Open-File Report 2014-1091, doi: [10.3133/ofr20141091](https://doi.org/10.3133/ofr20141091).
- Woo, G. (1996). Kernel Estimation Methods for Seismic Hazard Area Source Modeling. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 86(2), 353–362.