

Разделение взрывов и землетрясений по информативным характеристикам сейсмического сигнала на основе методов машинного обучения

¹ Имашев Санжар Абылбекович (<https://orcid.org/0000-0003-3293-3764>), sanzhar.imashev@gmail.com

² Нигматуллин Равиль Рашидович (<https://orcid.org/0000-0003-2931-4428>), renigmat@gmail.com

¹ Научная станция РАН в г. Бишкеке, Бишкек, Киргизия

² Казанский научно-исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, Казань, Россия

Резюме [PDF RUS](#) [PDF ENG](#)

Полный текст [PDF RUS](#)

Резюме. В статье представлен метод автоматической классификации сейсмических событий, направленный на поиск различий между землетрясениями и техногенными взрывами на основе алгоритма случайного леса. Модель использует только характеристики, извлекаемые из сигнала, записанного одной сейсмической станцией, без привлечения данных о местоположении или глубине источника. Вектор классифицирующих признаков формировался из амплитудных соотношений, а также временных, спектральных и фрактальных параметров сейсмограммы. Для обучения и тестирования был использован сбалансированный набор, включающий более 24 000 сейсмических записей из базы Pacific Northwest Curated Seismic Dataset. Точность обученной модели составила около 94 % на тестовой выборке. Анализ важности признаков показал, что наибольший вклад в распознавание внесли временные, фрактальные и спектральные параметры, что согласуется с особенностями формирования сигналов природного и техногенного происхождения. Полученные результаты показывают, что предложенный метод обеспечивает достоверное и надежное качество классификации и может применяться для автоматической фильтрации техногенных событий при сейсмическом мониторинге.

Ключевые слова:

автоматическая классификация, землетрясения, техногенные взрывы, машинное обучение, случайный лес, сейсмический сигнал, признаки волновой формы

Для цитирования: Имашев С.А., Нигматуллин Р.Р. Разделение взрывов и землетрясений на основе информативных характеристик сейсмического сигнала и методов машинного обучения. *Геосистемы переходных зон*, 2025, т. 9, № 4, с. 420–438. <https://doi.org/10.30730/qtrz.2025.9.4.420-438> ; <https://www.elibrary.ru/alymzd>

For citation: Imashev S.A., Nigmatullin R.R. Discrimination between explosions and earthquakes based on informative seismic signal features using machine learning methods. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2025, vol. 9, No. 4, pp. 420–438. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/qtrz.2025.9.4.420-438> ; <https://www.elibrary.ru/alymzd>

Список литературы

1. Kim W.Y., Aharonian V., Lerner-Lam A.L., Richards P.G. **1997**. Discrimination of earthquakes and explosions in southern Russia using regional high-frequency three-component data from the IRIS/JSP Caucasus network. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87(3): 569–588. <https://doi.org/10.1785/bssa0870030569>
2. Hong T.-K. **2013**. Seismic discrimination of the 2009 North Korean nuclear explosion based on regional source spectra. *Journal of Seismology*, 17(2): 753–769. <https://doi.org/10.1007/s10950-012-9352-1>
3. Kortström J., Uski M., Tiira T. **2016**. Automatic classification of seismic events within a regional seismograph network. *Computers & Geosciences*, 87: 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.11.006>
4. Журавлев В.И., Лукк А.А., Сидорин А.А. **2021**. О проблемах выявления взрывов в каталогах землетрясений на примере Турции и Ирана. *Сейсмические приборы*, 57(1): 69–82. <https://doi.org/10.21455/si2021.1-5>
5. Koper K.D., Burlacu R., Armstrong A.D., Herrmann R.B. **2024**. Classifying small earthquakes, explosions and collapses in the western United States using physics-based features and machine learning. *Geophysical Journal International*, 239(2): 1257–1270. <https://doi.org/10.1093/gji/ggae316>
6. Habbak E.L., Abdalzaher M.S., Othman A.S., Mansour H. **2024**. Enhancing the classification of seismic events with supervised machine learning and feature importance. *Scientific Reports*, 14(1): 30638. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81113-7>
7. Kim W., Simpson D.W., Richards P.G. **1993**. Discrimination of earthquakes and explosions in the eastern United States using regional high-frequency data. *Geophysical Research Letters*, 20(14): 1507–1510. <https://doi.org/10.1029/93GL01267>

8. Del Pezzo E. **2003**. Discrimination of earthquakes and underwater explosions using neural networks. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(1): 215–223. <https://doi.org/10.1785/0120020005>
9. Walter W.R., Matzel E., Pasyanos M.E., Harris D.B., Gok R., Ford S.R. **2007**. Empirical observations of earthquake-explosion discrimination using P/S ratios and implications for the sources of explosion S-waves. In: *Proceedings of the 29th Monitoring Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies*, p. 684–693.
10. Orlic N., Loncaric S. **2010**. Earthquake-explosion discrimination using genetic algorithm-based boosting approach. *Computers & Geosciences*, 36(2): 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.05.006>
11. Wang R., Schmandt B., Kiser E. **2020**. Seismic discrimination of controlled explosions and earthquakes near Mount St. Helens using P/S ratios. *JGR Solid Earth*, 125(10). <https://doi.org/10.1029/2020jb020338>
12. Saad O.M., Inoue K., Shalaby A., Sarny L., Sayed M.S. **2018**. Autoencoder based features extraction for automatic classification of earthquakes and explosions. In: *Proceedings of 17th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*. Singapore, p. 445–450. <https://doi.org/10.1109/icis.2018.8466464>
13. Kong Q., Wang R., Walter W.R., Pyle M., Koper K., Schmandt B. **2022**. Combining deep learning with physics based features in explosion-earthquake discrimination. *Geophysical Research Letters*, 49(13). <https://doi.org/10.1029/2022gl098645>
14. Ertuncay D., Lorenzo A.D., Costa G. **2024**. Seismic signal discrimination of earthquakes and quarry blasts in North-East Italy using deep neural networks. *Pure and Applied Geophysics*, 181(4): 1139–1151. <https://doi.org/10.1007/s00024-024-03440-0>
15. Kim S., Lee K., You K. **2020**. Seismic discrimination between earthquakes and explosions using support vector machine. *Sensors*, 20(7): 1879. <https://doi.org/10.3390/s20071879>
16. Hong M., Zhang H., Wu L., Chen J., Dai L., Wang L. **2025**. Using deep convolutional neural networks for earthquake and explosion classification. *IEEE Access*, 13: 56144–56159. <https://doi.org/10.1109/access.2025.3552127>
17. Hough S.E. **2017**. Discrimination between natural earthquakes and explosions based on the azimuthal distribution of S/P amplitude ratios. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(1): 218–229. <https://doi.org/10.1785/0120160322>
18. Силкин К.Ю. **2022**. Новые эвристики на основе вейвлет-анализа записи одиночного датчика для распознавания землетрясений и взрывов. *Сейсмические приборы*, 58(3): 5–24. <https://doi.org/10.21455/si2022.3-1>
19. Ni Y., Hutko A., Skene F., Denolle M., Malone S., Bodin P., Hartog R., Wright A. **2023**. Curated Pacific Northwest AI-ready Seismic Dataset. *Seismica*, 2(1). <https://doi.org/10.26443/seismica.v2i1.368>
20. Kharita A., Denolle M.A., West M.E. **2024**. Discrimination between icequakes and earthquakes in southern Alaska: an exploration of waveform features using Random Forest algorithm. *Geophysical Journal International*, 237(2): 1189–1207. <https://doi.org/10.1093/gji/ggae106>
21. Abdalzaher M.S., Moustafa S.S.R., Abd-Elnaby M., Elwekeil M. **2021**. Comparative performance assessments of machine-learning methods for artificial seismic sources discrimination. *IEEE Access*, 9: 65524–65535. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3076119>
22. Морозов А.Н. **2008**. Метод идентификации взрывной сейсмичности на территории Архангельской области. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 1(11): 177–184.
23. Fisk M.D. **2006**. Source spectral modeling of regional P/S discriminants at Nuclear Test Sites in China and the Former Soviet Union. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(6): 2348–2367. <https://doi.org/10.1785/0120060023>
24. Сычев В.Н., Имашев С.А. **2017**. Оценка параметра Херста сейсмического сигнала. *Геосистемы переходных зон*, 1(2): 50–61. <http://dx.doi.org/10.30730/2541-8912.2017.1.2.050-061>
25. Imashev S., Cheshev M., Mishchenko M. **2019**. Fractal analysis of seismoacoustic signals of near-surface sedimentary rocks in Kamchatka. *Geofizika*, 36(2): 153–169. <https://doi.org/10.15233/gfz.2019.36.15>
26. Breiman L. **2001**. Random Forests. *Machine Learning*, 45(1): 5–32. <https://doi.org/10.1023/a:1010933404324>
27. Elkhoully S.H., Ali G. **2024**. Seismic discrimination between nuclear explosions and natural earthquakes using multi-machine learning techniques. *Pure and Applied Geophysics*. <https://doi.org/10.1007/s00024-024-03463-7>
28. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A., Michel V., Thirion B., Grisel O., Blondel M., Louppe G., Prettenhofer P., Weiss R. **2011**. Scikit-learn: machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12: 2825–2830.