

Дискриминация слабых землетрясений и взрывов

Добрынина Анна Александровна, кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмогеологии
Институт земной коры Сибирского отделения РАН (г. Иркутск)

Герман Виктор Иванович, кандидат технических наук, главный геофизик
Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья (г. Красноярск)

Аннотация. Настоящая работа посвящена задаче разделения взрывов и слабых землетрясений на основе анализа сейсмограмм. Приводятся примеры спектральной обработки записей промышленных взрывов и землетрясений, локализованных вблизи Восточно-Бейского угольного разреза (республика Хакасия, Россия).

Ключевые слова: землетрясение, взрыв, спектральный анализ, сейсмограмма, сейсмические волны

DOI: 10.5281/zenodo.2590766

При изучении региональной сейсмичности одной из важных задач является разделение землетрясений и взрывов. Особенно актуальна эта задача для окрестностей месторождений, где разработка ведется с помощью взрывов. Также нельзя сбрасывать со счетов наведенную сейсмичность, возникающую даже в тектонически стабильных и слабоактивных районах вследствие перераспределения напряжений в земной коре, вызванных активными шахтными выработками.

К настоящему времени опубликовано множество работ, посвященных дискриминации взрывов и землетрясений. В качестве критериев разделения рассматриваются отношения амплитуд сейсмических волн (P/S, P_g/L_g), форма записи, знаки первых вступлений, наличие поверхностной волны, спектральные характеристики сейсмограммы и др. [1–12]. В районах с высоким уровнем сейсмичности и большим количеством взрывов также используется «статистический» подход: все слабые землетрясения, локализованные в районе, где ведутся взрывные работы, произошедшие в дневное время, автоматически причисляются к взрывам. Ясно, что перечисленные критерии не постоянны и могут меняться в зависимости от локальных геологических условий, глубины и типа взрыва и пр. В настоящей работе сделана попытка выделить критерии дискриминации землетрясений и промышленных взрывов для района Бейского каменноугольного месторождения – Восточно-Бейского угольного разреза.

Бейское каменноугольное месторождение расположено в Бейском районе Республики Хакасия, Россия. Оно было открыто в 1920 году В.И. Яворским [13], поисковые и разведочные работы на месторождении длились с 1963 по 1992 г., в период с 1977 по 1986 г. была проведена детальная разведка участка «Чалпан» для подготовки к отработке Восточно-Бейским разрезом. В настоящее время разработка месторождения производится ООО СУЭК-Хакассия (Сибирская Угольная Энергетическая компания) открытым способом [14]. В среднем, в год в районе разреза регистрируется около 50 взрывов. Мониторинг землетрясений в Бейском районе выполняется сетью сейсмических станций Красноярского научно-исследовательского института геологии и минерального сырья (КНИИГиМС). Исследуемый регион характеризуется умеренной рассеянной сейсмичностью. Последнее сильное землетрясение, зарегистрированное в данном районе – Абаканское землетрясение (22 декабря 2013 г., магнитуда $M=4.9$, координаты N 53.32, E 91.56) на удалении около 35 км от крупных сейсмоактивных разломов: Абаканского и Кандатского (рис. 1). Интенсивность сотрясений в эпицентре оценивается 6 баллов по шкале MSK-64, землетрясение сопровождалось афтершоками. До Абаканского землетрясения 2013 г. последним относительно сильным событием было Синембор-

ское землетрясение 24 января 2003 г. с $M=4.3$ (координаты N 53.44, E 92.17), ощущавшееся на территории Шушенского и Минусинского районов Красноярского края (рис. 1).

Для анализа нами были выбраны 22 промышленных взрыва (с магнитудами $M=1.2–2.3$, рис. 2) и 6 землетрясений (Абаканское землетрясение, 12 декабря 2013 г., $M=4.9$ и 5 его афтершоков – слабых событий с магнитудами 0.8–2.2). При анализе использовались сейсмические записи со станций Табат (TBTR) и Большая Речка (BLRR) сети КНИИГиМС (KRAR), действующих с 2005 года. Регистрация сейсмических событий велась сейсмоприемниками СМЗ-КВ, установленными на выходах скальных пород, с применением регистраторов «Байкал». Землетрясения и взрывы локализируются в одной области. Эпицентральные расстояния варьируются в пределах 52–72 км (землетрясения) и 59–77 км (взрывы) для станции Большая Речка и в пределах 70–87 км (землетрясения) и 61–78 (взрывы) для станции Табат.

При исследовании сейсмограмм землетрясений и взрывов использовались разные подходы: визуальный анализ (форма записи, наличие поверхностной волны, поляризация первого вступления Р-волн, отношения амплитуд сейсмических волн), фильтрация записей системой узкополосных фильтров в диапазоне от 0.5 до 20 Гц, расчет спектров Фурье и спектрально-временной анализ (СВАН).

Визуальный анализ сейсмограмм промышленных взрывов показал, что их волновая картина крайне нестабильна. Для некоторых событий на записи хорошо видна поперечная волна, для других событий она отсутствует (не видна на фоне коды продольной волны). В некоторых случаях поверхностная волна очень интенсивна и при автоматической обработке может быть ошибочно принята за поперечную волну. Длительность и амплитуда поверхностной волны также сильно меняются для разных взрывов. Отношения амплитуд продольных, поперечных и поверхностных сейсмических волн землетрясений и взрывов варьируются в достаточно широких пределах, не позволяющих уверенно установить пороговое значение, при котором происходит разделение разных событий (показано пунктирной кривой) (рис. 3).

То есть, указанные критерии дискриминации землетрясений и взрывов не являются надежными для исследования нами региона.

Анализ и сопоставление Фурье-спектров слабых землетрясений и взрывов показало, что, в целом, для взрывов характерны более сложные изрезанные спектры с максимумами в области низких частот. Помимо обычных спектров для каждого события также строились СВАН-диаграммы, показывающие распределение интенсивности излучения по частотам и по времени (рис. 4).

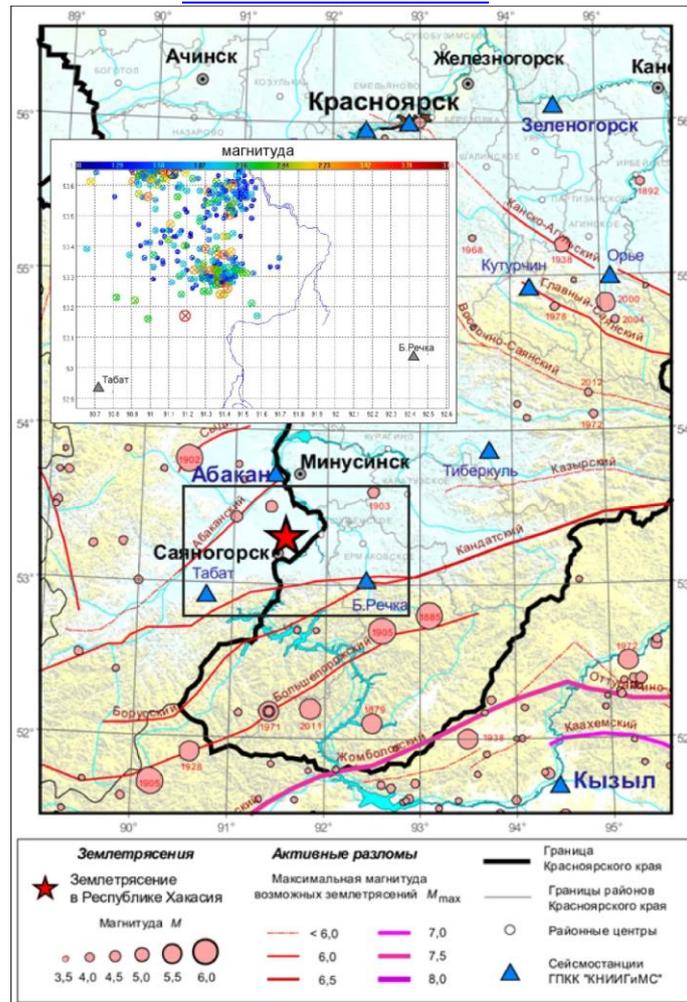


Рис. 1. Сейсмичность ($M \geq 3.5$) исследуемого района (выделен прямоугольником). Врезка: взрывы в районе Восточно-Бейского угольного разреза за период 2013–2016 гг. по данным КНИИГиМС.

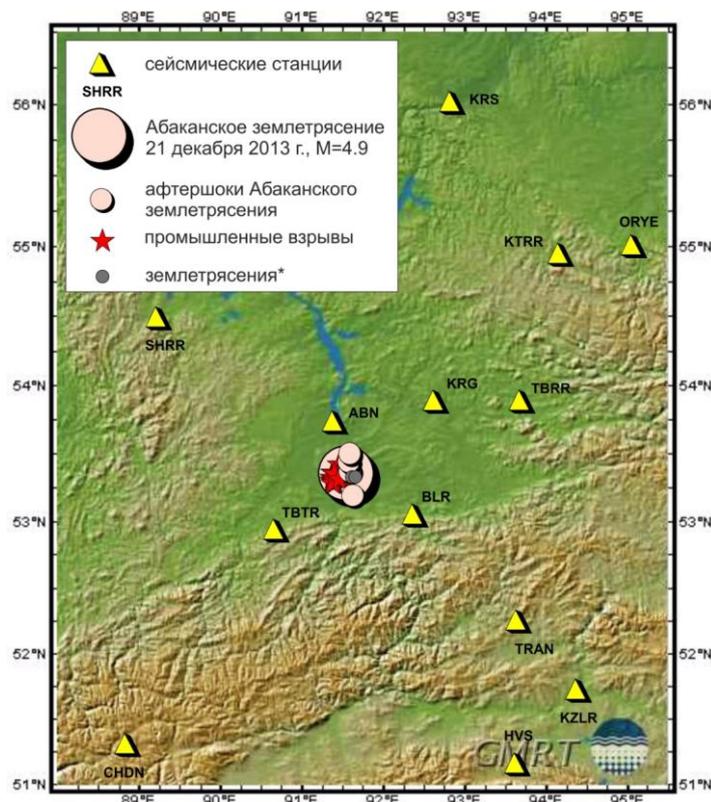


Рис. 2. Положение эпицентров землетрясений (кружки), промышленных взрывов (звездочки) и сейсмических станций КНИИГиМС (треугольники). Серыми кружками показаны землетрясения, ранее определенные как взрывы.

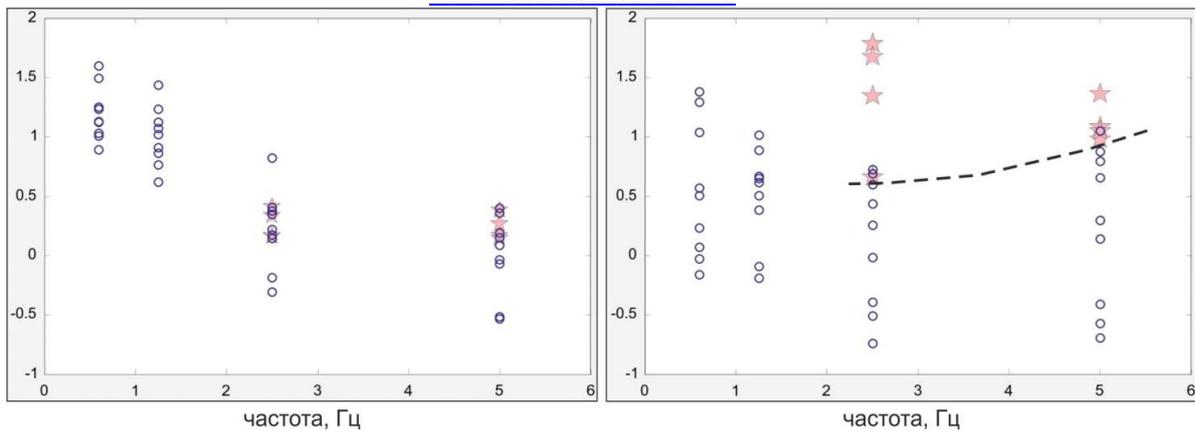


Рис. 3. Отношения амплитуд поперечных и продольных волн (слева) и поверхностных и продольных волн (справа) на разных частотах для взрывов (кружки) и землетрясений (звездочки).

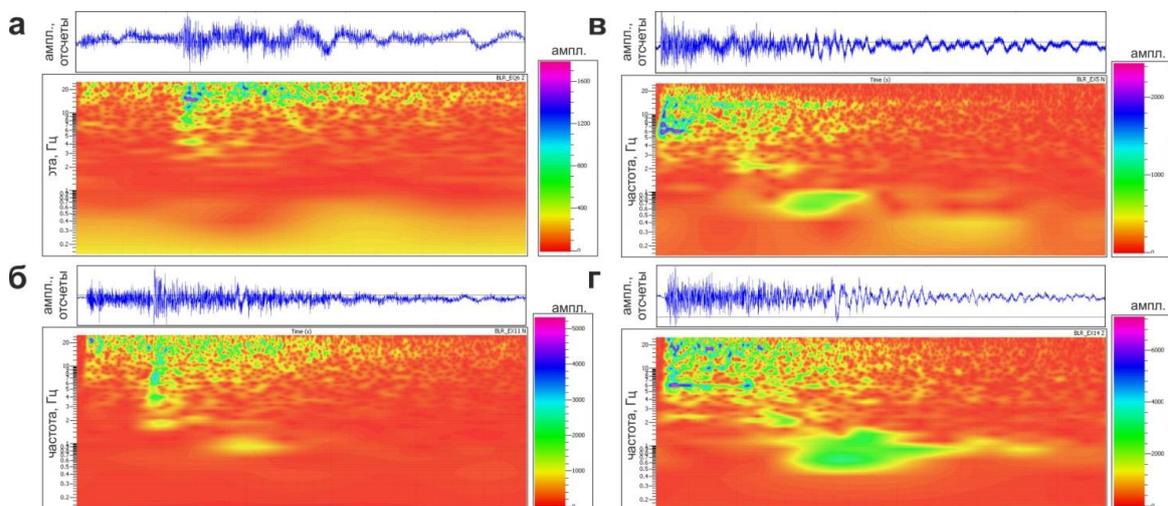


Рис. 4. Примеры СВАН-диаграмм землетрясений (а, б) и взрывов (в, г). Для каждого события сверху показана исходная сейсмограмма.

Для землетрясений максимум излучения приходится на поперечные волны (диапазон от 4 до 25 Гц), при этом низкочастотная составляющая излучения быстро затухает со временем (рис. 4а, б). Второй максимум излучения (более слабый и более высокочастотный, > 10 Гц) соответствует продольным волнам. Для взрывов наблюдается иная картина — максимум излучения приходится на продольные волны (характерен широкий диапазон частот — от 4 до 25 Гц), интенсивность излучения поперечных волн значительно ниже (рис. 4в, г). Поверхностные волны очень хорошо выражены. Для взрывов характерно более быстрое затухание высокочастотной составляющей излучения по сравнению с землетрясениями (рис. 4). В ходе работ было

установлено, что два события, ранее определенные как взрывы, являются слабыми землетрясениями (рис. 4б).

Проведенные предварительные исследования показали, что из использованных разнообразных критериев дискриминации землетрясений и взрывов для района Восточно-Бейского угольного разреза наиболее информативным является спектрально-временной анализ сейсмограмм. Полученные результаты будут в дальнейшем использоваться для идентификации подземных ядерных взрывов на территории Восточной Сибири и республики Саха (Якутия).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, проект № 17-45-388049.

Литература:

1. Асминг В.Э. Использование критериев идентификации взрывов и землетрясений для уточнения оценки сейсмической опасности региона / В.Э. Асминг, Е.О. Кременецкая, Ю.А. Виноградов, З.А. Евтюгина // Вестник МГТУ. 2010. т.13, №4/2. — С. 998–1007.
2. Габсатарова И.П. Исследование пространственно-временных особенностей сейсмичности на Северном Кавказе / И.П. Габсатарова // Автореферат дисс... к.ф.-м.н. Обнинск, 2010. — 16 с.
3. Гамбурцева Н.Г. Сейсмический метод идентификации подземных ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях / Н.Г. Гамбурцева, И.О. Китов, Д.Д. Султанов и др. // Физика Земли. 2005. № 5. — С.80–94.
4. Годзиковская А.А. Местные взрывы и землетрясения. М.: Наука, 2000. — 108 с.
5. Денева Д.А. О распознавании промышленных взрывов и слабых землетрясений при помощи местных сейсмологических сетей / Д.А. Денева, Л.О. Христовков, Б.Е. Бабачкова и др. // Физика Земли. 1988. № 4. — С. 68–72.

www.esa-conference.ru

6. Копничев Ю.Ф. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов на полигоне Лобнор / Ю.Ф. Копничев, О.М. Шепелев, И.Н. Соколова // Физика Земли. 2001. № 12. — С.64–77.
7. Морозов А.Н. Метод идентификации взрывной сейсмичности на территории Архангельской области / А.Н. Морозов // Вестник Краунц. Науки о Земле. 2008. №1. Вып. №11. — С. 177–184.
8. Соколова И.Н. Распознавание подземных ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях по записям станций сейсмической сети НЯЦ РК / И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2004. Вып. 3. — С. 119–123.
9. Халтурин В.И. Отношение амплитуд волн L_g и P_n в проблеме мониторинга ядерных взрывов / В.И. Халтурин // Вестник НЯЦ РК. Геофизика и проблемы нераспространения. 2003. Вып. 2. — С.52–60.
10. Benson R. A method for identifying explosion contaminating earthquake catalogs: application to the Washington regional earthquake catalog / R. Benson, C.D. Lindholm, R. Ludwin et al. // Seism. Research Letters. 1992. V. 63. № 4. — P. 533–539.
11. Kim W.Y. Discrimination of earthquakes and explosions in the eastern United States using regional high-frequency data / W.Y. Kim, D.W. Simpson, P.G. Richards // Geophys. Res. Lett, 1993. V. 20. № 2. — P. 11507–11510.
12. Li X. Analysis of natural mineral earthquake and blast based on Hilbert–Huang transform (HHT) / X. Li, Zh. Li, E. Wang, J. Feng, X. Kong, L. Chen, B. Li // Journal of Applied Geophysics, 2016. V. 128. — P. 79–86.
13. Яворский В.И. Приенисейско-Абаканские месторождения углей / В.И. Яворский // Изв. Геол. ком., 1921. № 2, Т. 10. — 6 с.
14. Официальный сайт компании СУЭК: <http://suek-khakasia.ru/>.