

Распознавание промышленных взрывов и слабых природных землетрясений*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-512-23-29>

Статья посвящена проблеме распознавания промышленных взрывов и слабых природных землетрясений в районах угольных месторождений, где добыча ведется с помощью взрывов (разработка угля открытым способом). Дискриминация взрывов и землетрясений осуществляется на основе анализа сейсмограмм, зарегистрированных региональной сетью короткопериодных сейсмических станций. Для этого использовались различные подходы: визуальный анализ (форма записи, наличие поверхностных волн, полярность первых вступлений продольных волн, соотношение амплитуд продольных, поперечных и поверхностных волн), фильтрация записей по системе узкополосных фильтров в диапазоне от 0,5 до 20 Гц, расчет спектров Фурье и спектрально-временной анализ. Полученные результаты показали, что из различных критериев, используемых для дискриминации землетрясений и взрывов, для района Восточно-Бейского угольного месторождения наиболее информативным является спектральный анализ сейсмограмм.

Ключевые слова: промышленный взрыв, землетрясение, сейсмичность, месторождение угля, разработка угля открытым способом, Кузбасско-Хакасский угольный район.

Для цитирования: Добрынина А.А., Герман В.И., Саньков В.А. Распознавание промышленных взрывов и слабых природных землетрясений // Уголь. 2022. № 512. С. 23-29. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-512-23-29>.

ВВЕДЕНИЕ

При изучении региональной сейсмичности одной из важных задач является разделение природных землетрясений и техногенных взрывов. Эта задача особенно актуальна для месторождений полезных ископаемых, где разработка ведется с помощью взрывов (открытым способом). Нельзя также не учитывать наведенную сейсмичность, возникающую даже в тектонически устойчивых и сейсмически слабоактивных районах за счет перераспределения напряжений в земной коре, вызванных активными горными выработками.

В настоящее время опубликовано много работ по дискриминации взрывов и тектонических землетрясений. В качестве критериев разделения используются соотношения амплитуд продольных и поперечных волн (P/S), продольных и поверхностных волн (Pg/R), форма записи, полярности первых вступлений P-волн, наличие поверхностных волн, спектральные характеристики сейсмограмм и др. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. В районах с высоким

ДОБРЫНИНА А.А.

Канд. физ.-мат. наук,
ведущий научный сотрудник
ФГБУН «Институт земной коры» СО РАН,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: dobrynina@crust.irk.ru

герман В.И.

Канд. техн. наук, научный сотрудник
ФГБУН «Институт земной коры» СО РАН,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: german3v@yandex.ru

саньков В.А.

Канд. геол.-мин. наук,
заместитель директора
ФГБУН «Институт земной коры» СО РАН,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: sankov@crust.irk.ru

* Работы выполнены в рамках КНТП Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогатительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата».

уровнем сейсмичности и большим количеством взрывов также используется статистический подход: в районе проведения взрывных работ все слабые землетрясения, произошедшие в рабочее время, автоматически классифицируются как взрывы. Очевидно, что все указанные критерии не являются постоянными и могут меняться в зависимости от локальных геологических условий, глубины и типа взрыва и т.д. В данной работе предпринята попытка выявить критерии различения землетрясений и техногенных взрывов для локального региона Бейского угольного бассейна – Восточно-Бейского угольного разреза.

ИССЛЕДУЕМЫЙ РЕГИОН

Бейское каменноугольное месторождение расположено в Бейском районе Республики Хакасия, Россия (рис. 1, а).

Оно было открыто в 1920 г. В.И. Яворским [13], поисково-разведочные работы на месторождении велись с 1963 по 1992 г., в период с 1977 по 1986 г. была проведена детальная разведка Чалпанского участка с целью подготовки к разработке Восточно-Бейского угольного разреза. В настоящее время разработка месторождения ведется Сибирской угольной энергетической компанией открытым способом [14]. В среднем в районе разреза фиксируется около 50 взрывов в год (рис. 1, в).

Район исследований характеризуется умеренной рассеянной сейсмичностью (рис. 1, б, г). Последним сильным землетрясением, зарегистрированным в этом районе, было Абаканское землетрясение (22 декабря 2013 г., $M_s = 4,9$, координаты N 53,32; E 91,56), произошедшее на расстоянии около 35 км от Абаканского и Кандатского

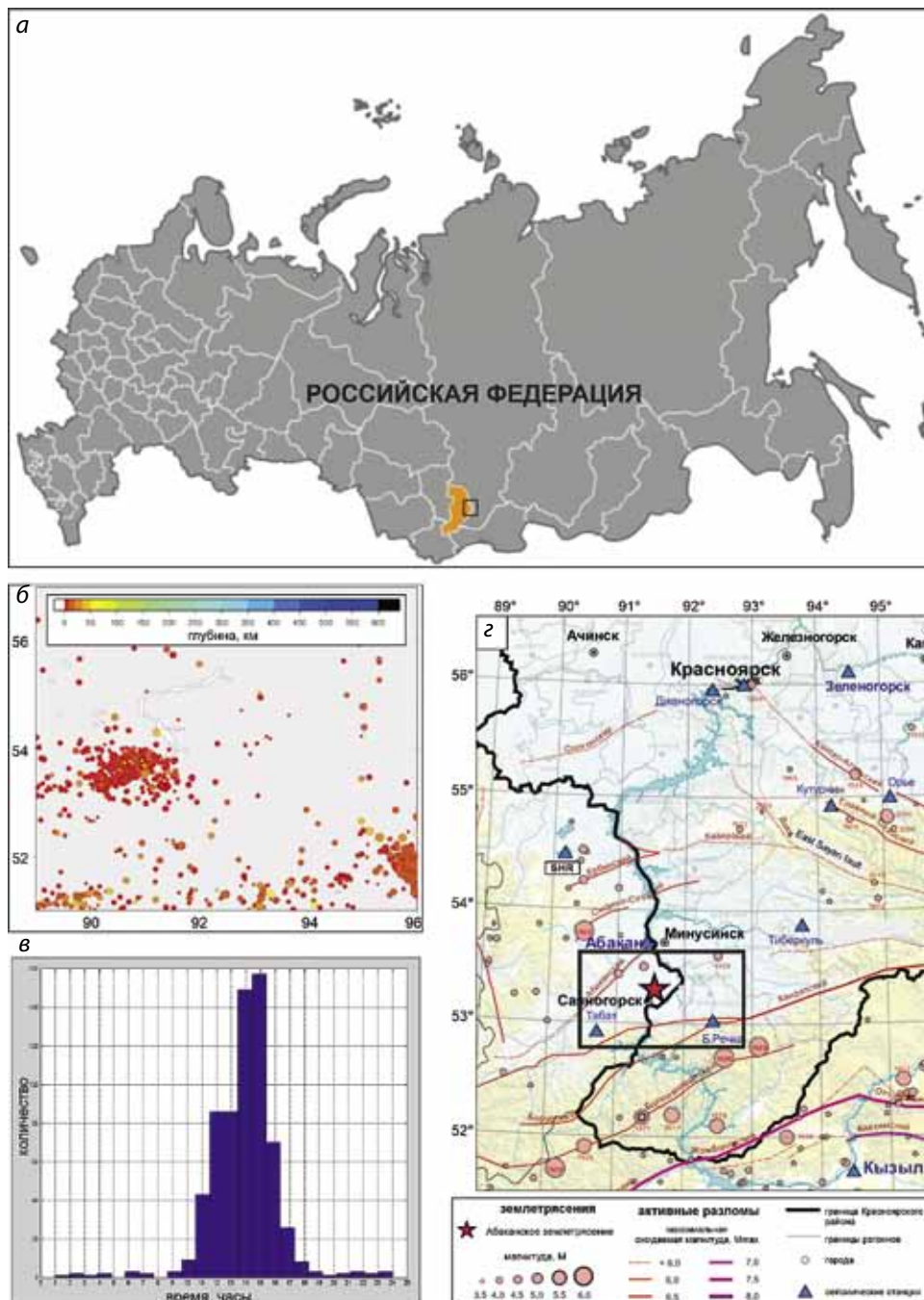


Рис. 1. Исследуемый регион. а – положение области исследования, оранжевой областью отмечена территория Республики Хакасия, прямоугольником показаны территория Восточно-Бейского угольного разреза и прилегающие территории; б – сейсмичность за 1950-2013 гг. (по данным Международного сейсмологического центра, <http://www.isc.ac.uk>); в – суточное распределение сейсмических событий (время местное, GMT+7); г – сейсмичность (магнитуда $M \geq 3,5$) района исследований (выделено прямоугольником)

Fig. 1. The surveyed region: а – location of the surveyed area, the orange area indicates the territory of the Republic of Khakassia, the rectangle shows the territory of the East Beisky coal mine and adjacent areas; б – seismic ratings for the period of 1950-2013 (according to the International Seismological Center, <http://www.isc.ac.uk>); в – daily distribution of seismic events (local time, GMT+7); г – the seismic rating (magnitude $M \geq 3.5$) of the survey area (marked with a rectangle)

сейсмоактивных разломов (рис. 1, з). Интенсивность в эпицентре оценивается в 6 баллов по шкале MSK-64, землетрясение сопровождалось афтершоковой активизацией. Перед Абаканским землетрясением 2013 г. последним относительно сильным событием было Синеворское землетрясение 24 января 2003 г., $M_s = 4,3$ (координаты N 53,44; E 92,17), которое ощущалось в Шушенском и Минусинском районах Красноярского края (рис. 1, з).

По данным Международного сейсмологического центра, с 2000 г. в исследуемом районе зарегистрировано более 660 сейсмических событий с магнитудой $M > 1$. Большинство из них (~ 630 событий) произошло в рабочее время – в интервале с 10:00 до 17:00 (время местное, GMT+7, рис. 1, в). Значительную часть из них составляют промышленные взрывы, но есть и природные, и техногенные землетрясения. Важность очистки сейсмического каталога от промышленных взрывов обусловлена высокой вероятностью реализации техногенных землетрясений в районах добычи угля открытым способом. Такие техногенные землетрясения могут быть сильными и опасными – примером тому является Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г., $M_L = 6,1$; $I_0 = 7$ (Кузбасс) [15]. Сейсмическая активизация Бачатского угольного разреза началась за несколько лет до самого Бачатского землетрясения и продолжается до сих пор. Район сейсмического процесса тесно связан с открытыми выработками. До 2020 г. зарегистрировано четыре сейсмических активизации, три из которых вызваны сильными землетрясениями 09.02.2012, $M_L = 4,3$; 03.04.2013,

$M_L = 3,9$; 18.06.2013, $M_L = 6,1$. Последнее завершилось серией ощутимых землетрясений с локальной магнитудой 3,0-3,5. Полученные данные доказывают, что Бачатское землетрясение и связанную с ним активизацию можно рассматривать как техногенные события [15].

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Для анализа были отобраны 22 техногенных взрыва ($M = 1,2-2,3$, рис. 2) и 6 землетрясений (Абаканское землетрясение 12 декабря 2013 г., $M = 4,9$ и 5 его афтершоков – слабые события с магнитудой 0,8-2,2). Сейсмические трассы зарегистрированы сетью региональных сейсмических станций Красноярского НИИ геологии и минеральных ресурсов, работающих с 2005 г. Сеть оснащена короткопериодными сейсмоприемниками, установленными в скальном основании. Полоса рабочих частот варьируется от 0,5 до 10 или 20 Гц, частота дискретизации – 100 отсчетов в секунду.

В работе использовались записи, полученные сейсмическими станциями Табат (TBT) и Большая речка (BLR) для сейсмических событий (землетрясения и взрывы), локализованных в одном районе (см. рис. 2). Эпицентральные расстояния изменяются в пределах 52-72 км (для землетрясений) и 59-77 км (для взрывов) для ст. Большая Речка и в пределах 70-87 км (землетрясения) и 61-78 (взрывы) для ст. Табат.

При изучении сейсмограмм землетрясений и взрывов использовались различные широко известные подходы: визуальный анализ (форма записи, наличие поверхностных волн, полярности первых вступлений P-волн, соотно-

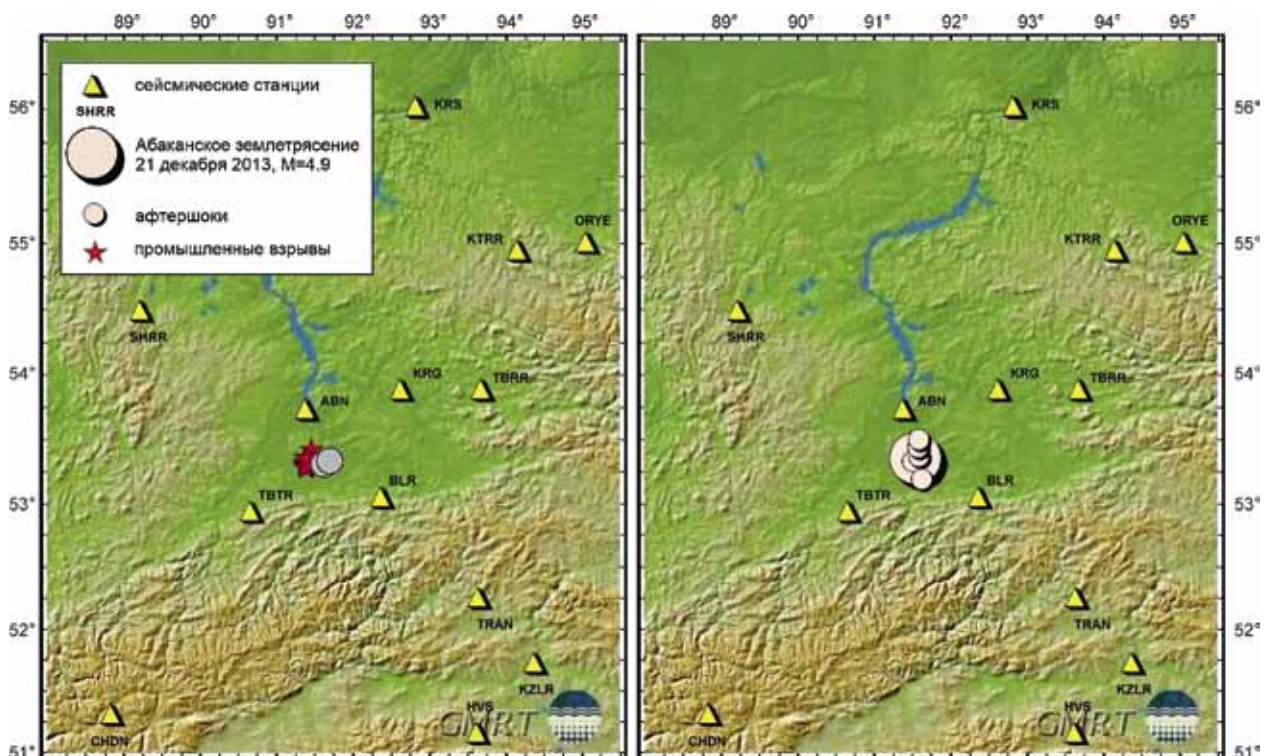


Рис. 2. Расположение землетрясений, промышленных взрывов и сейсмостанций. Серыми кружками показаны землетрясения, ранее идентифицированные как взрывы

Fig. 2. Locations of the earthquakes, industrial blasts and seismic stations. Gray circles show earthquakes previously identified as blasts

шение амплитуд Р-, S- и поверхностных волн), фильтрация записей системой узкополосных фильтров в диапазоне от 0,5 до 20 Гц, спектральный анализ (расчет спектров Фурье и спектрально-временной анализ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из визуального анализа сейсмограмм промышленных взрывов установлено, что их волновые формы нестабильны. Для одних событий на записи отчетливо видна S-волна, для других событий она отсутствует – не видна на фоне Р-волны (рис. 3, а, д, е). В ряде случаев поверхностная волна очень интенсивна и может быть ошибочно принята за S-волну при автоматической обработке (особенно после фильтрации, рис. 3, д).

Волновая картина землетрясений также нестабильна: в одних случаях она имеет классическую форму с относительно слабым вступлением Р-волны и выраженной поперечной S-волной, в других случаях вступление S-волны не видно (см. рис. 3, д). Следует отметить, что записи землетрясений в разных азимутах от эпицентра отличаются из-за неоднородности (направленности) сейсмического излучения от очага землетрясения. В случае слабых поверхностных землетрясений на форму записи большое влияние оказывает также неоднородность строения верхней части земной коры – сейсмические волны затухают, преломляются и отражаются от вторичных границ. Этот эффект приводит к появлению на сейсмограмме вторичных волн, искажающих исходную волновую форму.

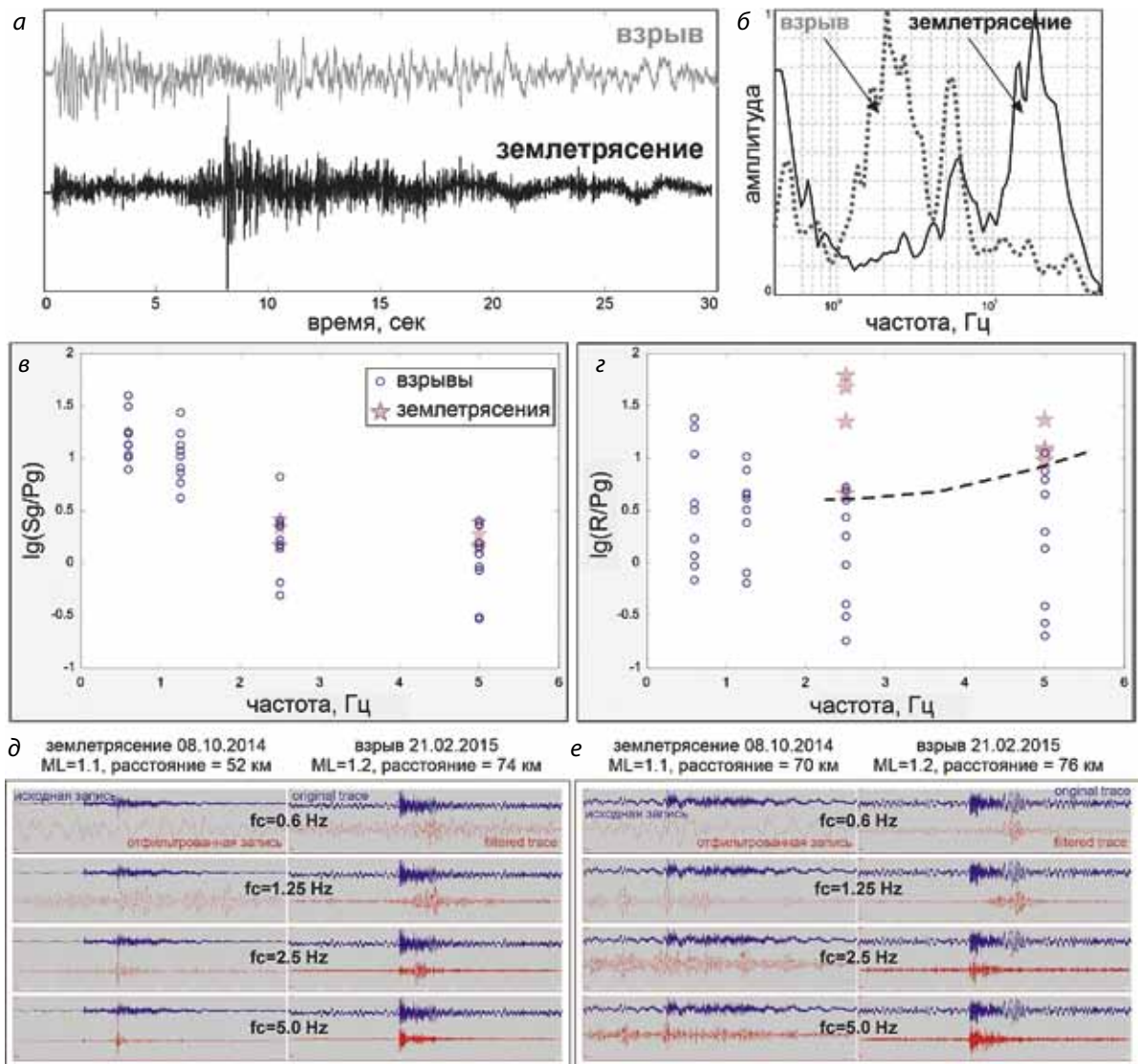


Рис. 3. Примеры анализа сейсмограмм промышленных взрывов и землетрясений: а – типичные записи взрыва и землетрясения; б – сравнение спектров землетрясений и взрывов (амплитуды нормированы на максимум); в, г – отношения амплитуд сейсмических волн: в – Sg/Pg и г – R/Pg, пунктиром разделены отношения взрывов и землетрясений; д, е – сравнение отфильтрованных трасс, f_c – центральная частота.

Fig. 3. Examples of analyzing seismograms of industrial blasts and earthquakes: а – a typical records of a blasts and an earthquake; б – comparison of the earthquake and blast spectra (amplitudes are normalized to the maximum); в-г – correlations of the seismic wave amplitudes: в – Sg/Pg and г – R/Pg, the dotted line divides the blasts and earthquake ratios; д-е – comparison of the filtered traces, f_c is the central frequency

Длительность и амплитуда поверхностной волны также существенно различаются для разных событий. Поверхностная волна (обычная и ожидаемая для взрывов) не всегда видна на исходной сейсмической трассе – особенно при интенсивных продольных волнах (рис. 3, д) или на малых эпицентральных расстояниях.

Для оценки отношений амплитуд сейсмических волн исходные трассы скоростей были преобразованы в смещения и обработаны системой узкополосных фильтров на центральных частотах 0,50, 1,25, 2,50 и 5,00 Гц. В качестве амплитуды для анализа выбиралась максимальная амплитуда в волновом цуге (пакете) для S- и поверхностных волн и амплитуда первого вступления – для P-волн. Соотношения амплитуд сейсмических P- и S-волн и P-волн и поверхностных R-волн землетрясений и взрывов изменяются в широких пределах, полностью или частично перекрывающихся для землетрясений и взрывов (см. рис. 3, в, г). Это хорошо видно для соотношений амплитуд объемных волн (см. рис. 3, в). Большой разброс данных не позволяет выделить какие-то надежные пороговые значения, при которых происходит разделение разных событий.

Полярности (знаки) первых вступлений P-волн и механизмы очагов землетрясений (фокальные механизмы) могут быть одним из наиболее полезных инструментов для определения характера сейсмического события. Для большинства коровых тектонических землетрясений характерен механизм очага типа двойного диполя или двойной пары сил (в очаге действуют две пары ортогональных сил – сжатия и растяжения). Фокальные механизмы могут представлять собой сдвиг, сброс, надвиг или их промежуточные типы, но все ме-

ханизмы характеризуются квадрантным распределением полярностей первых вступлений – для станций в разных азимутах от очага будут наблюдаться разные полярности первых вступлений P-волны (вверх и вниз). Для взрывов фокальным механизмом является центр расширения (или сжатия – для имплозивного, направленного внутрь, взрыва), а полярность первых вступлений будет положительной (вверх) для взрывов и отрицательной (вниз) для имплозии. В нашем случае мы имеем дело со слабыми сейсмическими событиями и редкой региональной сетью сейсмических станций, что не позволяет надежно определить механизмы очагов или получить достоверное распределение полярностей продольных волн вокруг сейсмического очага. Также в случае слабых событий возможна «потеря» полярности первого вступления из-за затухания и отражения сейсмических волн от вторичных границ. Эта же причина (редкая сейсмическая сеть) делает невозможным точное определение глубины сейсмического события – одного из возможных индикаторов для разделения взрывов и землетрясений: для промышленных взрывов глубины будут сосредоточены у поверхности (до 1 км), в то время как для коровых землетрясений глубины могут достигать 20–25 км.

Спектральный анализ и, в частности спектрально-временной анализ, является одним из самых полезных инструментов при анализе сейсмических событий. Спектральный анализ и спектрограммы позволяют оценить частоты излучения волн различных типов и увидеть их временные вариации, что недоступно при обработке сейсмограмм фильтрами или при простом визуальном анализе.

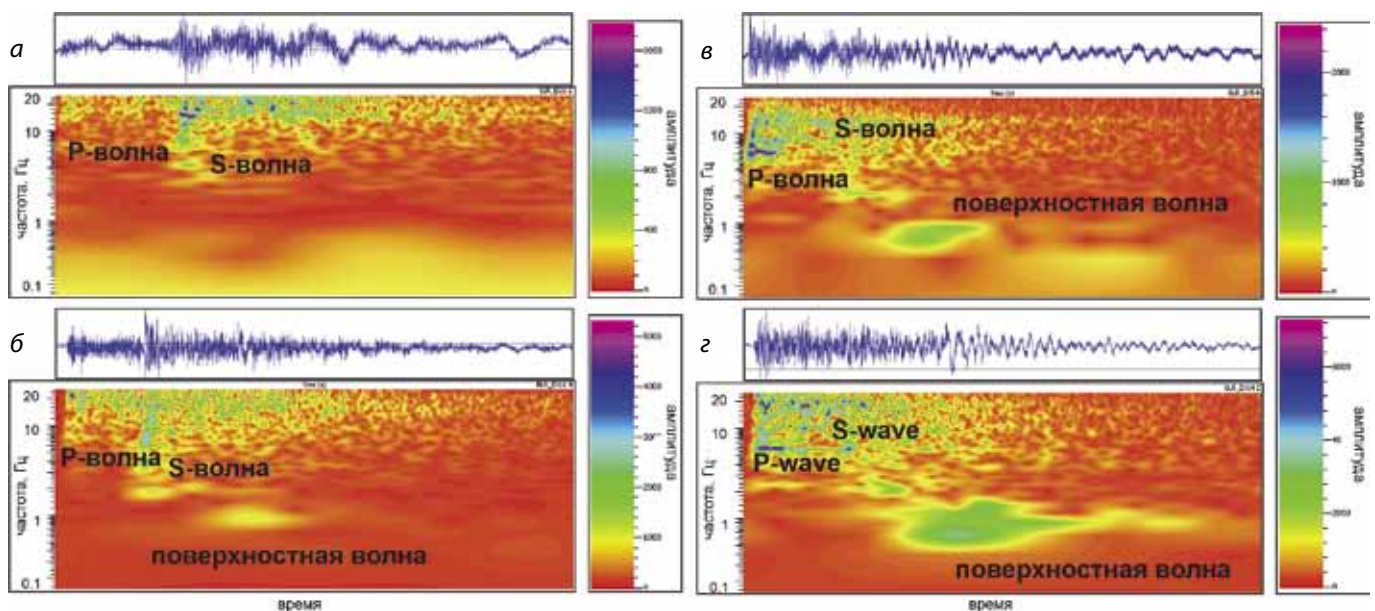


Рис. 4. Примеры спектрограмм: а, б – землетрясения (а – 08 октября 2014 г., $M = 1,1$, б – 18 сентября 2014 г., $M = 1,3$); в, г – промышленные взрывы (в – 21 февраля 2015 г., $M = 1,2$, г – 09 октября 2014 г., $M = 1,7$), зарегистрированные на сейсмической станции Большая Речка (BLR). Для каждой спектрограммы показана исходная сейсмическая запись.

Fig. 4. Examples of spectrograms: а, б – earthquakes (а – October 08, 2014, $M = 1.1$, б – September 18, 2014, $M = 1.3$); в, г – industrial explosions (в – February 21, 2015, $M = 1.2$, г – October 09, 2014, $M = 1.7$) recorded at the Big River seismic station (BLR). The original seismic record is shown for each spectrogram

Сравнение рассмотренных в работе Фурье-спектров слабых землетрясений и взрывов показало, что в целом взрывы характеризуются более сложными спектрами с максимумами в области низких частот. Наоборот, спектры землетрясений являются более «гладкими» и характеризуются более высокочастотным излучением по сравнению со взрывами (см. рис. 3, б). Эта разница связана как с особенностями излучения из очагов сейсмических событий, так и с разностью сейсмической трассы «источник – приемник». В случае промышленного взрыва, расположенного близ поверхности или непосредственно на поверхности, сейсмическая трасса проходит в верхней, наиболее нарушенной части разреза, что приводит к искажению сигнала и появлению слабых вторичных волн.

Наряду со спектрами для каждого события строились спектрограммы, показывающие распределение интенсивности излучения по частотам и во времени (рис. 4). Хорошо видно, как разные типы волн (объемные Р- и S-волны и поверхностные волны) разделены по частоте (см. рис. 4).

Для землетрясений максимум излучения соответствует объемным S-волнам (диапазон от 4 до 25 Гц), при этом низкочастотная составляющая излучения быстро затухает со временем (см. рис. 4, а, б). Второй максимум излучения (более слабый и имеющий более высокую частоту, > 10 Гц) соответствует Р-волнам. Для взрывов наблюдается иная картина – максимум излучения приходится на Р-волны (характерен широкий частотный диапазон – от 4 до 25 Гц), интенсивность излучения S-волн значительно ниже (см. рис. 4, в, г). Поверхностные волны очень хорошо выражены при взрывах, но наблюдаются и при некоторых землетрясениях (см. рис. 4, б). Взрывы характеризуются более быстрым затуханием высокочастотной составляющей излучения по сравнению с землетрясениями (см. рис. 4). В целом спектрально-временные диаграммы (спектрограммы) показывают достаточно устойчивую картину, отличную для землетрясений и взрывов, и могут использоваться для разделения этих сейсмических событий. В частности, в результате проведенных работ было установлено, что два события, ранее идентифицированные как промышленные взрывы, являются слабыми землетрясениями (см. пример на рис. 4, б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере слабых сейсмических событий (промышленных взрывов и землетрясений) в районе Восточно-Бейского угольного разреза были опробованы различные методы дискриминации взрывов и землетрясений. В ходе проведенного исследования были получены следующие основные результаты.

Из визуального анализа сейсмограмм землетрясений и промышленных взрывов установлено, что их волновые формы нестабильны. Редкая региональная сеть сейсмических станций не позволяет использовать глубины и очаговые механизмы для выделения событий разной природы.

Отношения амплитуд объемных и поверхностных волн (S_g/P_g и R/P_g) для землетрясений и взрывов варьируются в широких пределах. Невозможно точно установить по-

роговое значение, при котором можно достоверно различать события, имеющие разную природу.

Таким образом, все проверенные выше критерии различения землетрясений и взрывов не являются стабильными и надежными для исследуемого региона.

Предварительные исследования показали, что спектральный анализ сейсмограмм является наиболее информативным критерием дискриминации землетрясений и взрывов в районе Восточно-Бейского угольного разреза из нескольких апробированных критериев.

Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение статистики измерений для создания алгоритма дискриминации землетрясений и взрывов для рассматриваемого региона – Бейского угольного месторождения (разрез Восточно-Бейский), а также других регионов Хакасии и Кузбасса.

Список литературы

1. Использование критериев идентификации взрывов и землетрясений для уточнения оценки сейсмической опасности региона / В.Э. Асминг, Е.О. Кременецкая, Ю.А. Виноградов и др. // Вестник МГТУ. 2010. Т.13, № 4/2. С. 998-1007.
2. Годзиковская А.А. Местные взрывы и землетрясения. М.: Наука, 2000. 108 с.
3. Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов на полигоне Лобнор // Физика Земли. 2001. № 12. С. 64-77.
4. Морозов А.Н. Метод идентификации взрывной сейсмичности на территории Архангельской области // Вестник Краунц. Науки о Земле. 2008. Т 11. № 1. С. 177-184.
5. Соколова И.Н. Распознавание подземных ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях по записям станций сейсмической сети НЯЦ РК // Вестник НЯЦ РК. 2004. № 3. С. 119-123.
6. Халтурин В.И. Отношение амплитуд волн Lg и Pn в проблеме мониторинга ядерных взрывов // Вестник НЯЦ РК. 2003. № 2. С. 52-60.
7. Discrimination of the natural and artificial quakes in the Eastern Marmara Region, Turkey / F. Sertcelik, E. Yavuz, M. Birdem et al. // Acta Geodaetica Et Geophysica. 2020. Vol. 55. P. 645-665.
8. Discrimination Between Small Earthquakes and Quarry Blasts in Egypt Using Spectral Source Characteristics / I.M. Korrat, A. Lethy, M.N. ElGabry et al. // Pure and Applied Geophysics. 2022. Vol. 179. P. 599-618. URL: <https://doi.org/10.1007/s00024-022-02953-w> (дата обращения: 15.11.2022).
9. Discrimination of quarry blasts from tectonic events in the Armutlu Peninsula, Turkey / E. Yavuz, F. Sertcelik, H. Livaoğlu et al. // Journal of Seismology. 2019. Vol. 23. P. 59-76.
10. Kim S., Lee K., You K. Seismic Discrimination between Earthquakes and Explosions Using Support Vector Machine // Sensors. 2020. Vol. 20. P. 1879. URL: <https://doi.org/10.3390/s20071879> (дата обращения: 15.11.2022).
11. Идентификация промышленных взрывов при оценке сейсмической опасности слабосейсмичных районов Казахстана / Н.Н. Михайлова, А.Е. Великанов, И.Н. Соколова и др. // Вестник НЯЦ РК. 2012. № 1. С. 68-73.
12. Распознавание подземных ядерных взрывов и землетрясений для района полигона Лобнор по данным сети KNET / А.В. Березина, И.Н. Соколова, Е.В. Першина и др. // Вестник НЯЦ РК. 2020. Т. 3. С. 60-64.

13. Яворский В.И. Приенисейско-Абаканские месторождения углей // Известия Геологической комиссии. 1921. № 2. Т. 10. 6 с.
14. Официальный сайт компании СУЭК. [Электронный ресурс]. URL: <http://suek-khakasia.ru/> (дата обращения: 15.11.2022).
15. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с $ML = 6.1$, $I_0 = 7$ (Кузбасс) // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2, № 1. С. 48-61. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.05>.

Original Paper

UDC 550.34 © A.A. Dobrynina, V.I. German, V.A. Sankov, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № S12, pp. 23-29
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-23-29>

Title

DISCRIMINATION OF WEAK NATURAL EARTHQUAKES AND INDUSTRIAL EXPLOSIONS

Authors

Dobrynina A.A.¹, German V.I.¹, Sankov V.A.¹

¹ Institute of the Earth's crust of Siberian branch of Russian academy of sciences, 664033, Irkutsk, Russian Federation

Authors Information

Dobrynina A.A., PhD PhD (Physics and Mathematics), leading researcher, e-mail: dobrynina@crust.irk.ru

German V.I., PhD (Engineering), Researcher, e-mail: german3v@yandex.ru

Sankov V.A., PhD (Geol.-min.), Vice-director, e-mail: sankov@crust.irk.ru

Abstract

The article focuses on the problem of the discrimination of industrial explosions and natural earthquakes in areas of coal deposits where mining is carried out with imploding works (coal open pit mining). Discrimination of explosions and earthquakes realized on the base of the analysis of seismograms recorded by regional short-period seismic station network. For this aim, different approaches were used: visual analysis (record form, presence of a surface waves, polarities of the first arrivals of P-waves, amplitude ratios of P-, S- and surface waves), filtering of records by a system of narrow-band filters in the range from 0.5 to 20 Hz, calculation of Fourier spectra and spectral-temporal analysis. The results obtained have shown that of the various criteria used to discriminate between earthquakes and explosions for the region of the East Beysky coal field, the most informative is the spectral analysis of seismograms.

Keywords

industrial explosion, earthquake, seismicity, coal field, coal open pit mining, Kuzbass-Khakassia coal area

References

- Asming V.E., Kremenetskaya E.O., Vinogradov Yu.A. & Evtugina Z.A. Using the criteria for identifying explosions and earthquakes to refine the assessment of the seismic hazard of the region. *Bulletin of the Moscow State Technical University*, 2010, Vol. 13, (4/2), pp. 998-1007. (In Russ.).
- Godzikovskaya A.A. Local explosions and earthquakes. M.: Nauka Publ., 2000, 108 p. (In Russ.).
- Kopnichev Yu.F., Shepelev O.M. & Sokolova I.N. Research on seismic recognition of underground nuclear explosions at the Lopnor test site. *Physics of the Earth*, 2001, (12), pp. 64-77. (In Russ.).
- Morozov A.N. Method for identification of explosive seismicity on the territory of the Arkhangelsk region. *Vestnik Kraunts. Earth Sciences*, 2008, Vol. 1, (11), pp. 177-184. (In Russ.).
- Sokolova I.N. Recognition of underground nuclear explosions and earthquakes at regional distances according to the records of stations of the NNC RK seismic network. *Bulletin of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan*, 2004, (3), pp. 119-123. (In Russ.).
- Khalturin V.I. The ratio of the amplitudes of the waves Lg and Pn in the problem of monitoring nuclear explosions. *Bulletin of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan*, 2003, (2), pp. 52-60. (In Russ.).

7. Sertcelik F., Yavuz E., Birdem M. & Merter G. Discrimination of the natural and artificial quakes in the Eastern Marmara Region, Turkey. *Acta Geodaetica Et Geophysica*, 2020. (55), pp. 645-665.

8. Korrat I.M., Lethy A., ElGabry M.N. & Othman A.S. Discrimination Between Small Earthquakes and Quarry Blasts in Egypt Using Spectral Source Characteristics. *Pure and Applied Geophysics*, 2022, (179), pp. 599-618. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00024-022-02953-w> (accessed 15.11.2022).

9. Yavuz E., Sertçelik F., Livaoglu H., Woith H. & Lühr B.G. Discrimination of quarry blasts from tectonic events in the Armutlu Peninsula, Turkey. *Journal of Seismology*, 2019, (23), pp. 59-76.

10. Kim S., Lee K. & You K. Seismic Discrimination between Earthquakes and Explosions Using Support Vector Machine. *Sensors*, 2020, (20), pp. 1879. Available at: <https://doi.org/10.3390/s20071879> (accessed 15.11.2022).

11. Mikhailova N.N., Velikanov A.E., Sokolova I.N., Aristova I.L., Sultanova G.S. & Mukambaev A.S. Identification of industrial explosions in assessing the seismic hazard of weakly seismic regions of Kazakhstan. *Bulletin of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan*, 2012, (1), pp. 68-73.

12. Beryozina A.V., Sokolova I.N., Pershina Y.V. & Nikitenko T.V. Discrimination of underground nuclear explosions and earthquakes for Lop Nor test site area based on KNET network. *Bulletin of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan*, 2020, (3), pp. 60-64. (In Russ.).

13. Yavorsky V.I. Yenisei-Abakan coal deposits. *Izvestiya Geologicheskoy Komisii*, 1921, Vol. 2, (10), 6 p. (In Russ.).

14. Official website. [Electronic resource]. Available at: <http://suek-khakasia.ru/> (accessed 15.11.2022).

15. Emanov A.F., Emanov A.A. & Fateev A.V. Bachatsky induced earthquake on June 18, 2013, $ML = 6.1$, $I_0 = 7$ (Kuzbass). *Russian Journal of Seismology*, 2020, Vol. 2, (1), pp. 48-61. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.05>.

Acknowledgements

The research was performed as part of the Integrated Scientific and Technical Programme of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 075-15-2022-1192 "Processing of coal mill tailings in order to obtain commercial coal concentrate".

For citation

Dobrynina A.A., German V.I. & Sankov V.A. Discrimination of weak natural earthquakes and industrial explosions. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 23-29. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2022-S12-23-29](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-23-29).

Paper info

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022

SAFETY