

УДК 550.34.06

РАСПОЗНАВАНИЕ СЛАБЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ В РАЙОНЕ ВОСТОЧНО-БЕЙСКОГО РАЗРЕЗА (ХАКАСИЯ, РОССИЯ)

^{1,2)} Добрынина А. А. ³⁾ Герман В. И.

¹⁾ *Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия*

²⁾ *Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия*

³⁾ *Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья, Красноярск, Россия*

Статья посвящена задаче распознавания взрывов и землетрясений на основе спектрального анализа сейсмограмм. Приводятся примеры спектральной обработки записей промышленных взрывов и землетрясений, локализованных вблизи Восточно-Бейского угольного разреза (республика Хакасия, Россия).

Разделение землетрясений и промышленных взрывов при изучении региональной сейсмичности является одной из важных задач. Особенно актуальна эта задача для районов месторождений, где разработка ведется с помощью взрывов. Важным является также изучение наведенной сейсмичности, вызванной активными шахтными работами и возникающей даже в тектонически стабильных и слабоактивных районах.

В опубликованных работах, посвященных дискриминации взрывов и землетрясений, в качестве критериев разделения рассматривают отношение амплитуд продольных и поперечных волн (P/S), отношение продольных и поверхностных волн (Pg/Lg), форму записи, знаки первых вступлений, наличие поверхностной волны, спектральные характеристики сейсмограммы и др. [1 - 12]. В районах с высоким уровнем сейсмичности и большим количеством взрывов используют также «статистический» подход: все слабые землетрясения, локализованные в дневное время на территории со взрывными работами, автоматически причисляют к взрывам. Перечисленные критерии не являются универсальными и могут меняться в зависимости от геологических условий, глубины взрыва и др. условий. В статье сделана попытка выделить критерии дискриминации землетрясений и промышленных взрывов для локального района Бейского каменноугольного месторождения – Восточно-Бейского угольного разреза.

Бейское каменноугольное месторождение расположено в Бейском районе Республики Хакасия, Россия (рисунок 1). Месторождение открыто в 1920 г. В.И. Яворским [13], поисковые и разведочные работы длились здесь с 1963 по 1992 гг., в период с 1977 по 1986 г. проведена детальная разведка участка «Чалпан» для подготовки к отработке Восточно-Бейским разрезом. В настоящее время месторождение разрабатывает открытым способом Сибирская угольная энергетическая компания (ООО СУЭК-Хакасия) [14]. В районе разреза ежегодно в среднем регистрируется ~50 взрывов.

Исследуемый регион характеризуется умеренной рассеянной сейсмичностью. Последнее сильное землетрясение зарегистрировано здесь 22 декабря

2013 г. – Абаканское землетрясение (магнитуда 4.9, координаты N 53.32, E 91.56), – на удалении около 35 км от крупных сейсмоактивных разломов: Абаканского и Кандатского (рисунок 2).

Интенсивность сотрясений в эпицентре оценена в 6 баллов по шкале MSK-64, землетрясение сопровождалось афтершоками. Перед Абаканским землетрясением 2013 г. относительно сильным событием было Синеборское землетрясение 24 января 2003 г. (магнитуда 4.3, координаты N 53.44, E 92.17), ощущавшееся на территории Шушенского и Минусинского районов Красноярского края (рисунок 2).



Оранжевая область – территория республики Хакассия, прямоугольник – район Восточно-Бейского угольного разреза

Рисунок 1. Схема расположения исследуемого района

Для анализа были выбраны сейсмограммы 22 промышленных взрывов ($M=1.2 - 2.3$) и 6 землетрясений (Абаканское 12 декабря 2013 г., $M=4.9$ и 5 его афтершоков с магнитудами 0.8 - 2.2 – рисунок 3), записанных региональной сетью сейсмических станций Красноярского научно-исследовательского института геологии и минерального сырья (КНИИ-ГиМС). Анализировались сейсмические записи станций Табат (ТВТР) и Большая Речка (BLRR) сети КНИИГиМС (KRAR), действующих с 2005 г. и оснащенных регистраторами «Байкал» и сейсмоприемниками СМЗ-КВ, установленными на выходах скальных пород. Землетрясения и взрывы локализируются в одной и той же области. Эпицентральные расстояния варьируются в пределах 52 - 72 км (зем-

**РАСПОЗНАВАНИЕ СЛАБЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ
В РАЙОНЕ ВОСТОЧНО-БЕЙСКОГО РАЗРЕЗА (ХАКАСИЯ, РОССИЯ)**

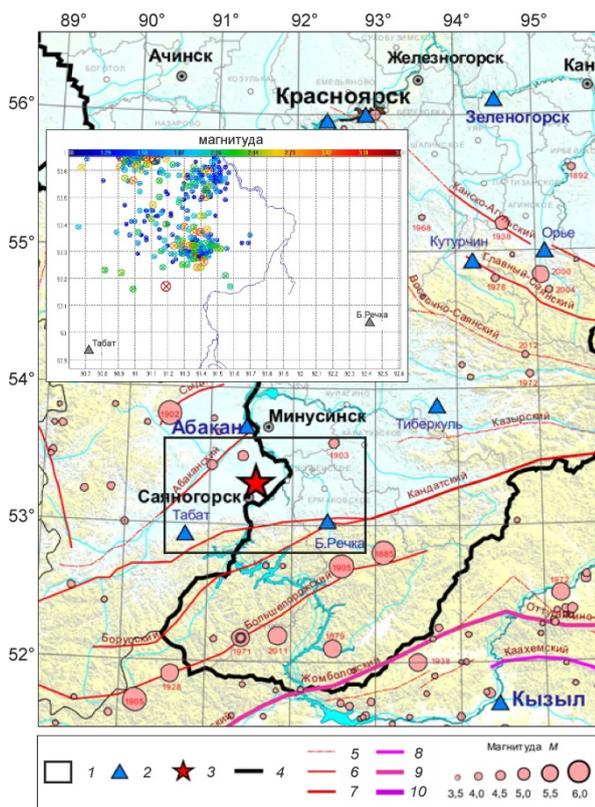


Рисунок 2. Сейсмичность исследуемого района ($M \geq 3.5$). На врезке – эпицентры взрывов в районе Восточно-Бейского угольного разреза за 2013 – 2016 гг.

летрясения) и 59 - 77 км (взрывы) относительно станции Большая Речка и в пределах 70 - 87 км (землетрясения) и 61 - 78 (взрывы) относительно станции Табат.

При исследовании сейсмограмм землетрясений и взрывов использовались несколько подходов: визуальный анализ (формы записи, наличия поверхностной волны, полярности первого вступления Р-волн, отношения амплитуд Р/S и Рg/Lg-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 не стабильна. На записях некоторых событий хорошо видна поперечная волна, на записях других событий она не видна на фоне коды продольной волны (рисунок 4).

В некоторых случаях поверхностная волна интенсивна и при автоматической обработке может быть ошибочно принята за поперечную волну. Длительность и амплитуда поверхностной волны также значительно изменяются для разных взрывов.

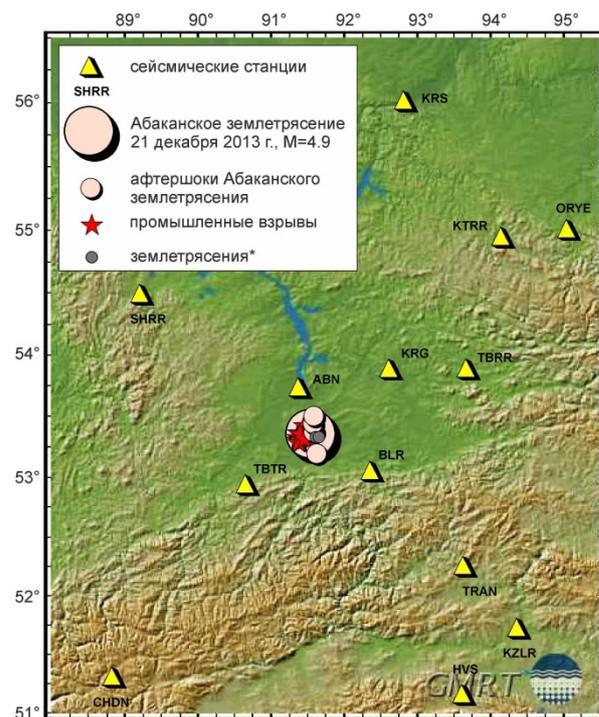
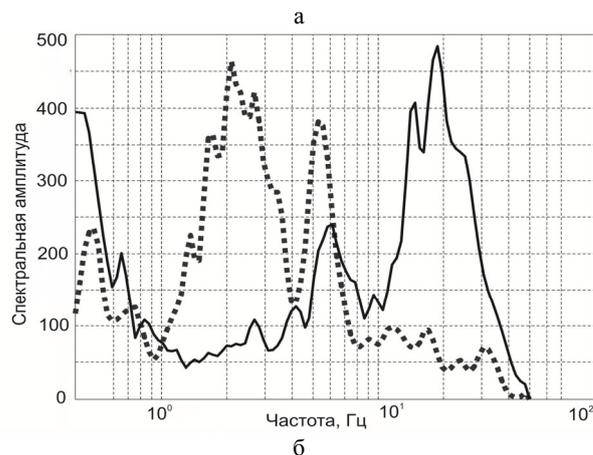
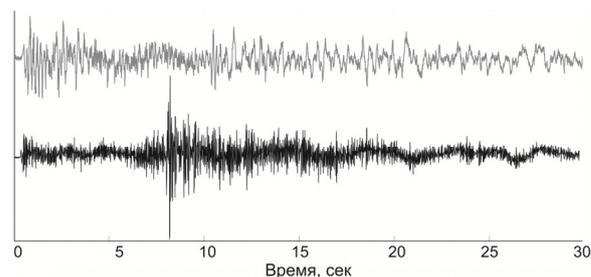
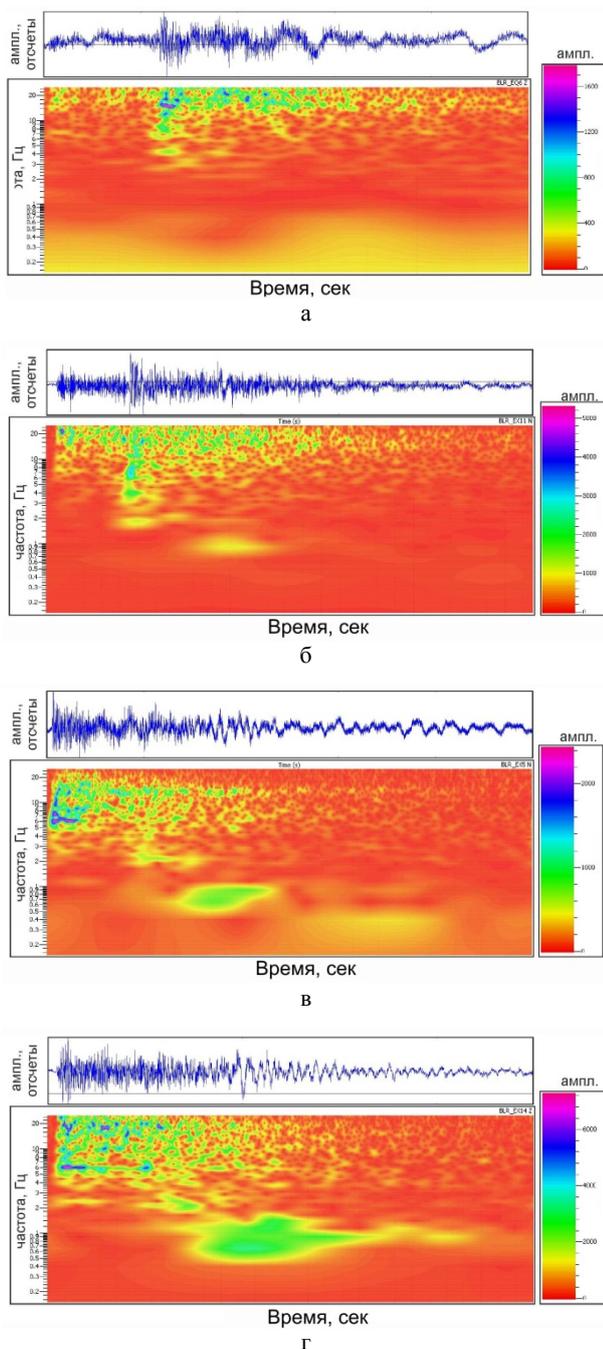


Рисунок 3. Расположение сейсмических станций КНИИГиМС относительно эпицентров землетрясений и промышленных взрывов



Записи (на рисунке 4-а): верхняя – промышленный взрыв, нижняя – афтершок Абаканского землетрясения. Кривые (на рисунке 4-б): сплошная – спектр землетрясения; пунктирная – спектр промышленного взрыва. Амплитуды отнормированы на максимум

Рисунок 4. Примеры: а – сейсмических записей; б – спектров промышленного взрыва в Восточно-Бейском угольном разрезе и афтершока Абаканского землетрясения



Оригинальная запись землетрясения/взрыва – вверху,
СВАН-диаграмма – внизу

Рисунок 5. Примеры записей и землетрясений:
а – 08 октября 2014 г., $M=1.1$; б – 18 сентября 2014 г.,
 $M=1.3$ и промышленных взрывов: в – 21 февраля 2015 г.,
 $M=1.2$, г – 9 октября 2014 г., $M=1.7$. Сейсмическая
станция Большая Речка

ЛИТЕРАТУРА

1. Асминг, В.Э. Использование критериев идентификации взрывов и землетрясений для уточнения оценки сейсмической опасности региона / В.Э. Асминг [и др.] // 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, Обнинск, 2010.

Отношения амплитуд P/S и Pg/Lg волн землетрясений и взрывов варьируются в достаточно широких пределах, не позволяющих уверенно установить пороговое значение, при котором может быть проведено разделение событий разной природы. То есть, вышеперечисленные критерии дискриминации землетрясений и взрывов не являются надежными для исследуемого региона.

Проведенный спектральный анализ показал, что исследованные взрывы характеризуются более низкочастотным излучением по сравнению с землетрясениями (рисунок 4-б). Сопоставлением Фурье-спектров слабых землетрясений и взрывов установлено, что, в целом, для взрывов характерны более сложные изрезанные спектры с максимумами в области низких частот. СВАН-диаграммы, показывающие распределение интенсивности излучения по частотам и по времени приведены на рисунке 5.

Для землетрясений максимум излучения приходится на поперечные волны (диапазон от 4 до 25 Гц), при этом низкочастотная составляющая излучения быстро затухает со временем (рисунок 5-а, 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 (рисунок 5-в, г). Поверхностные волны очень хорошо выражены. Для взрывов характерно более быстрое затухание высокочастотной составляющей излучения по сравнению с землетрясениями (рисунок 5). В ходе исследований было установлено, что два события, ранее определенных как взрывы, являются слабыми землетрясениями (рисунок 5-б).

Проведенные предварительные исследования показали, что из нескольких опробованных критериев дискриминации землетрясений и взрывов для района Восточно-Бейского угольного разреза наиболее информативным является спектрально-временной анализ сейсмограмм. Дальнейшие работы в указанной области будут направлены на улучшение статистики для создания алгоритма дискриминации землетрясений и взрывов для рассмотренного участка Бейского каменноугольного месторождения (Восточно-Бейского разреза), а также других районов Хакасии и Тувы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, проект p_сибирь_a № 14-45-04157.

3. Гамбурцева, Н.Г. Сейсмический метод идентификации подземных ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях / Н.Г. Гамбурцева [и др.] // Физика Земли, 2005. – № 5. – С. 80 - 94.
4. Годзиковская, А.А. Местные взрывы и землетрясения / А.А. Годзиковская. - 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. Христовск, Б.Е. Бабачкова [и др.] // Физика Земли, 1988. – № 4. – С. 68 - 72.
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 Lg и Pn 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 [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 (ННТ) / X. 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.
14. [Электронный ресурс] – Официальный сайт компании СУЭК: <http://suek-khakasia.ru/>.

ШЫҒЫС-БЕЙСК ҚИМАСЫ (ХАКАСИЯ, РЕСЕЙ) АУДАНЫНДА ШАМАЛЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕР МЕН ӨНЕРКӘСІПТІК ЖАРЫЛЫСТАРДЫ ТАНУ

^{1,2)} Добрынина А. А., ³⁾ Герман В. И.

¹⁾ *Ресей ғылыми академиясы Сібір бөлімінің Жер қыртысы институты, Иркутск, Ресей*

²⁾ *Ресей ғылыми академиясы Сібір бөлімінің Геологиялық институты, Улан-Удэ, Ресей*

³⁾ *Красноярск геология және минерал шикізат ғылыми-зерттеулік институты, Красноярск, Ресей*

Мақала, сейсмограммаларды спектрлік талдау негізінде жарылыстар мен жерсілкінулерді тану мәселелерін шешуіне арналған. Шығыс-Бейск көмір кенорны (Хакасия республикасы, Ресей) жанында жергіліктелген өнеркәсіптік жарылыстар мен жерсілкінулердің жазбаларын спектрлік өңдеу үлгілері келтірілген.

DISCRIMINATION OF WEAK EARTHQUAKES AND INDUSTRIAL EXPLOSIONS IN THE AREA OF THE EAST BEYSKY COAL MINE (KHAKASSIA, RUSSIA)

^{1,2)} A. A. Dobrynina, ³⁾ V. I. German

¹⁾ *Institute of the Earth's crust of Siberian branch of Russian academy of sciences, Irkutsk, Russia*

²⁾ *Geological institute of Siberian branch of Russian academy of sciences, Ulan-Ude, Russia*

³⁾ *Krasnoyarsk Research Institute of Geology and Mineral Resources, Krasnoyarsk, Russia*

The article focuses on the problem of the discrimination of industrial explosions and earthquakes based on spectral analysis of seismograms. Examples of spectral processing of records of industrial explosions and earthquakes localized around the area of the East Beysky coal mine (Republic of Khakassia, Russia) are considered.