

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОДХОД К КОНТРОЛЮ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕДРА

Александр Федорович Еманов

Алтае-Саянский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор технических наук, директор филиала, тел. (383)333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru

Алексей Александрович Еманов

Алтае-Саянский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора филиала по науке; Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, старший научный сотрудник, тел. (383)330-52-66, e-mail: alex@gs.nsc.ru

Николай Александрович Серёжников

Алтае-Саянский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник, тел. (903)930-13-53, e-mail: bestyah21@mail.ru

Александр Владимирович Фатеев

Алтае-Саянский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, старший научный сотрудник; Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, ведущий инженер, тел. (383)330-52-66, e-mail: fateev@gs.nsc.ru

Ульяна Юрьевна Ворона

Алтае-Саянский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, научный сотрудник, тел. (913)737-80-17, e-mail: u.y.vorona@gmail.com

Елена Викторовна Шевкунова

Алтае-Саянский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, научный сотрудник, тел. (383)333-16-37, e-mail: elenash@gs.nsc.ru

Для Кузбасса на основе использования данных регистрации промышленных взрывов сетью сейсмологических станций и информации о параметрах взрывов, получаемых от горных предприятий, создана система, позволяющая контролировать эффективность короткозамедленного взрывания в снижении сейсмического воздействия на недра. Теоретически, любой заряд можно распределить так, чтобы сейсмический эффект не зависел от общего заряда взрыва, а определялся зарядом ступени. Экспериментально показано, что взрывы с меньшим общим зарядом взрываются с большим сейсмическим эффектом, чем взрывы с самыми большими зарядами. Вскрыты причины такого результата и создана система контроля за ошибками при ведении взрывных работ на разрезах. Сейсмологические данные позволяют контролировать техногенное воздействие от взрывов в Западной Сибири и дают информа-

цию для его уменьшения за счёт исправления ошибок в схемах короткозамедленного взрывания.

Ключевые слова: взрывы, добыча угля, Западная Сибирь, короткозамедленное взрывание, сейсмологический мониторинг.

SEISMOLOGICAL MONITORING OF INDUSTRIAL EXPLOSIONS AS AN EFFECTIVE APPROACH TO MONITORING SEISMIC EXPOSURE ON BOWELS

Alexander F. Emanov

Altay-Sayan Branch of Federal Research Center «United Geophysical Survey RAS», 3, Prospect Akademik Koptyug, Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Branch Director, phone: (383)333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru

Aleksey A. Emanov

Altay-Sayan Branch of Federal Research Center «United Geophysical Survey RAS», 3, Prospect Akademik Koptyug, Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Deputy Director for Research; Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Senior Researcher, phone: (383)330-52-66, e-mail: alex@gs.nsc.ru

Nikolay A. Serezhnikov

Altay-Sayan Branch of Federal Research Center «United Geophysical Survey RAS», 3, Prospect Akademik Koptyug, Novosibirsk, 630090, Russia, Junior Researcher, phone: (903)930-13-53, e-mail: bestyah21@mail.ru

Alexander V. Fateev

Altay-Sayan Branch of Federal Research Center «United Geophysical Survey RAS», 3, Prospect Akademik Koptyug, Novosibirsk, 630090, Russia, Senior Researcher; Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Senior Engineer, phone: (383)330-52-66, e-mail: fateev@gs.nsc.ru

Uliana Y. Vorona

Altay-Sayan Branch of Federal Research Center «United Geophysical Survey RAS», 3, Prospect Akademik Koptyug, Novosibirsk, 630090, Russia, Researcher, phone: (913)737-80-17, e-mail: u.y.vorona@gmail.com

Elena V. Shevkunova

Altay-Sayan Branch of Federal Research Center «United Geophysical Survey RAS», 3, Prospect Akademik Koptyug, Novosibirsk, 630090, Russia, Researcher, phone: (383)333-16-37, e-mail: elenash@gs.nsc.ru

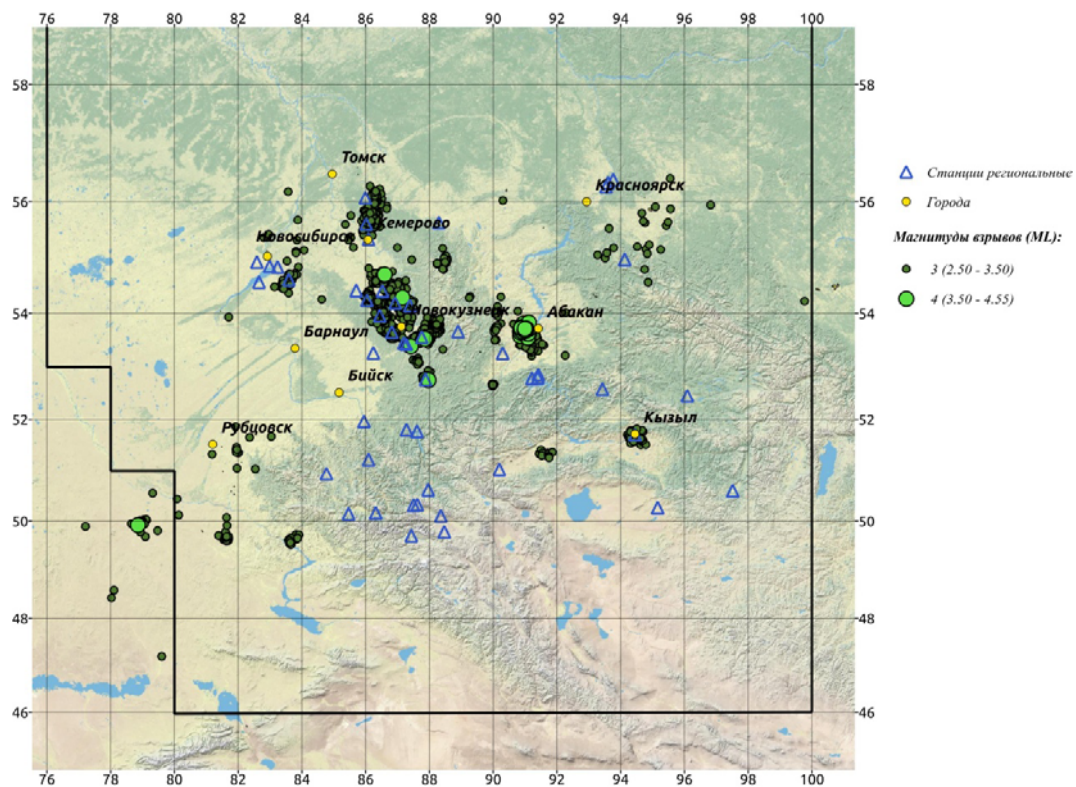
For Kuzbass, based on the use of data from the registration of industrial explosions, a network of seismological stations and information on the parameters of explosions received from mining enterprises has created a system that allows monitoring the effectiveness of short-delayed blasting in reducing seismic impact on the subsoil. Theoretically, any charge can be distributed so that the seismic effect does not depend on the total charge of the explosion, but is determined by the charge of the stage. It has been experimentally shown that explosions with a smaller total charge explode with a greater seismic effect than explosions with the largest charges. The reasons for this result have been revealed and a system has been created for monitoring errors in blasting operations on cuts. Seismological data allows you to control the technogenic impact of explosions in Western Si-

beria and provide information for its reduction by correcting errors in the schemes of short-delayed blasting.

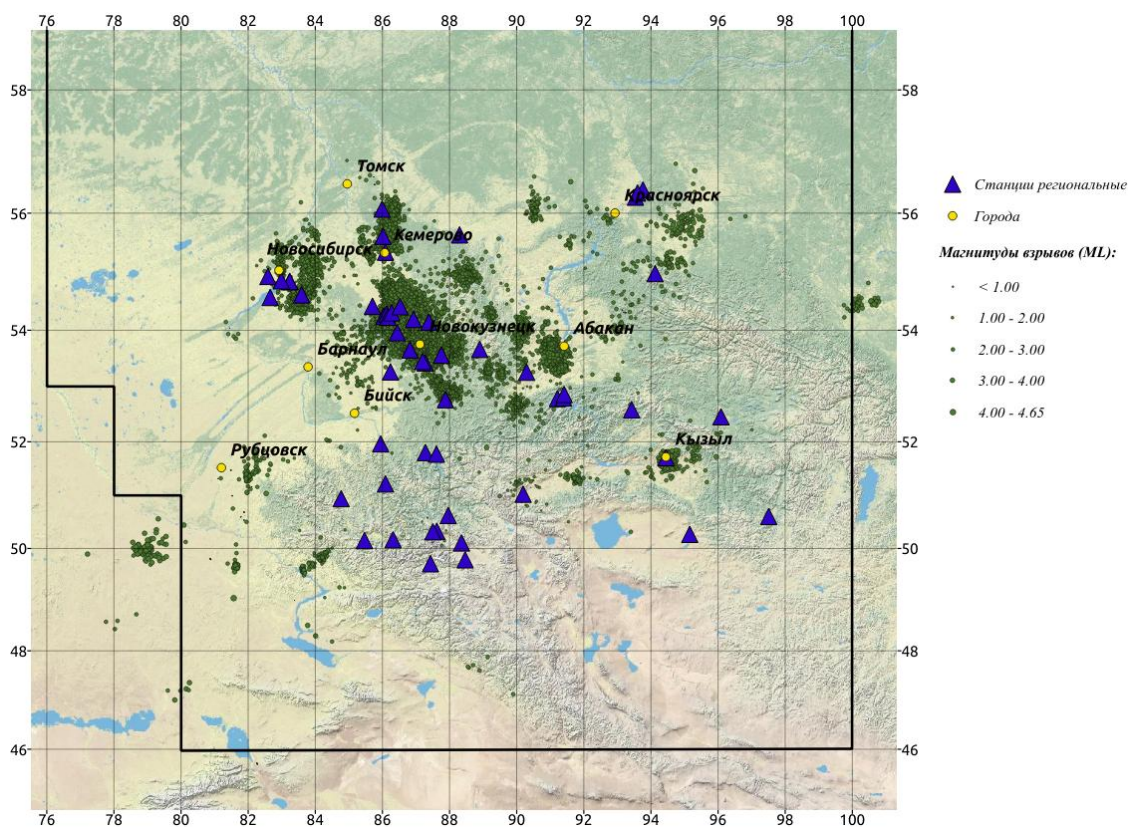
Key words: explosions, coal mining, Western Siberia, short-delay blasting, seismological monitoring.

На сегодняшний день в Алтае-Саянской горной области работает 57 сейсмологических станций, что позволяет осуществлять мониторинг промышленных взрывов на всех горных предприятиях южной части Западной Сибири. Вопрос о сейсмологическом контроле за сейсмическим воздействием на недра рассматривался неоднократно [1, 5, 6, 8]. На рис. 1 представлены карты эпицентров промышленных взрывов в южной части Западной Сибири. Рис. 1, *а* – это взрывы с магнитудами $3 \div 4$, рис. 1, *б* – эпицентры всех зарегистрированных взрывов. Облако промышленных взрывов около г. Новосибирск относится к угольным разрезам и карьерам по добыче негорючих полезных ископаемых. Район г. Рубцовск так же отмечается промышленными взрывами в районе добычи полиметаллических руд. В Республике Тува промышленные взрывы проводятся на угольных месторождениях Шагонара и Усть-Элегеста (около г. Кызыл), а также на месторождениях, добывающих полиметаллы (Тоджинский район). В районе г. Красноярск также отмечаются взрывы с большими магнитудами. Представленные карты дают общее представление о взрывном сейсмическом воздействии на юг Западной Сибири в 2018 году. Учитывая, что количество открытых горных выработок растёт, добыча полезных ископаемых увеличивается, потребление взрывчатых веществ горными предприятиями также увеличивается [1]. Это значит, что мониторинг техногенного воздействия необходимо вести в реальном времени, оценивать степень техногенного сейсмического воздействия на недра и сопоставлять с ответной реакцией недр.

Представление о сейсмическом взрыве на территории южной части Западной Сибири даёт таблица. Количество взрывов почти втрое превышает число землетрясений в регионе. Магнитуда взрывов редко превышает 4. Суммарная энергия землетрясений, безусловно, больше, но количество существенно меньше. Около 90% взрывов относится к Кузбассу. Очень большое различие взрывов по магнитудам заставляет задуматься над вопросом об эффективности короткозамедленного взрывания на предприятиях, которое нацелено на снижение сейсмического эффекта взрывов [2-4]. Теоретически взрывы должны иметь сейсмический эффект, соответствующий заряду ступени и не зависящий от массы общего заряда взрыва. Короткозамедленное взрывание растягивает во времени воздействие на среду, оставляя его на уровне взрыва ступени (серии). Часто это одна или несколько скважин с зарядом $\sim 1 \div 2$ тонны взрывчатых веществ (ВВ). Общая масса ВВ взрыва может достигать десятки и сотни тонн. Для одного и того же разреза при равных грунтовых условиях магнитуды взрывов должны быть близкими, независимо от общей массы заряда.



а)



б)

Рис. 1. Карты промышленных взрывов на территории южной части Западной Сибири за январь - август 2018 года: а) локальная магнитуда ≥ 3 ; б) все взрывы

Количество сейсмических событий в зависимости
от их магнитуды и типа источника (2018 год)

ML	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	Всего
Землетрясения	18	182	419	951	894	687	453	165	75	28	8	9	3889
Взрывы	0	1	10	75	1274	4577	3303	361	85	13	0	0	9699
Итого	18	183	429	1026	2168	5264	3756	526	160	41	8	9	13588

Эксперименты по изучению зависимости магнитуда-общая масса заряда уже проводились [6, 7]. При создании системы мониторинга промышленных взрывов ставится задача охватить все предприятия по добыче полезных ископаемых с использованием взрывов в совместную работу по анализу сейсмического воздействия на недра и по его снижению за счёт исключения ошибок при выполнении короткозамедленного взрывания.

На рис. 2 представлены зависимости магнитуда-общий заряд для взрывов для некоторых разрезов Кузбасса в 2018 году. Для Кедровского разреза фиксируется очень большая дисперсия точек для реальных взрывов. Осредняющая прямая имеет небольшое повышение в сторону увеличения общей массы заряда. Отличительной особенностью для данного разреза является максимальная магнитуда 2,8, которая наблюдается во всём диапазоне общих зарядов от 30 до 350 тонн ВВ. Даже для 350 тонн магнитуда 2,8 великовата, а для меньших зарядов тем более. Полученный график свидетельствует о низкой культуре короткозамедленного взрывания в 2018 году на разрезе Кедровский.

Для разреза Краснобродский в 2018 году картина иная – только один взрыв имеет магнитуду более трёх, и он явно выскакивает из общей закономерности. Вероятно, за год допущена одна ошибка в схеме инициирования короткозамедленного взрыва.

Удивительные результаты получены для Талдинского разреза. Целая серия взрывов с общим зарядом менее 50 тонн возбудили колебания, по магнитуде превышающие все взрывы с зарядами 50÷200 тонн. В данном случае наиболее вероятным является более легкомысленный подход к схемам инициирования взрывов с малыми общими зарядами.

20 февраля 2019 года две компании, выполняющие массовые взрывы по инициативе Сибирского РОТЕХНАДЗОРА, осуществили по одному показательному короткозамедленному взрыву для демонстрации возможностей короткозамедленного взрывания по снижению сейсмического эффекта (рис. 3). При правильных схемах взрывания магнитуда взрывов должна быть близкой при этих взрывах.

Сравнивая карты, можно видеть, что разрезы практически примыкают друг к другу. Условия близкие и сейсмический эффект должен определяться правильностью схемы короткозамедленного взрывания. Разница магнитуд взрывов даёт более порядка в различии сейсмической энергии взрывов.

Положительным является наличие в районе разрезов стационарной сейсмологической станции.

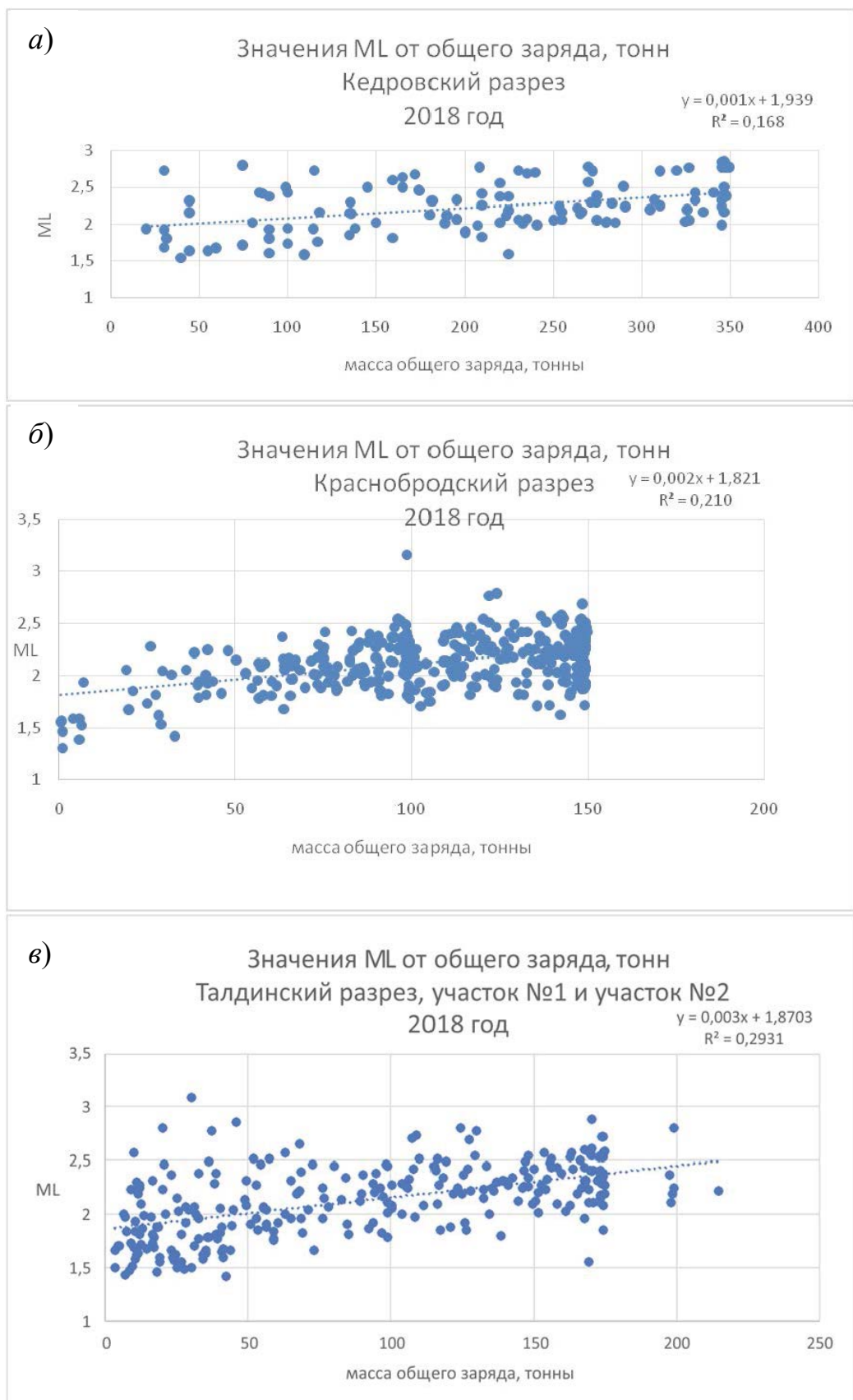
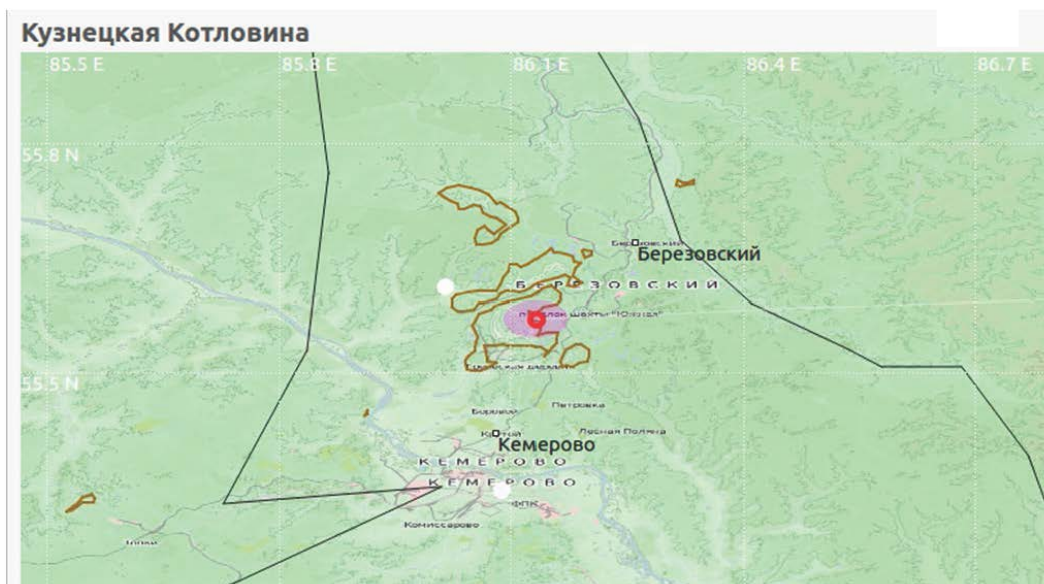
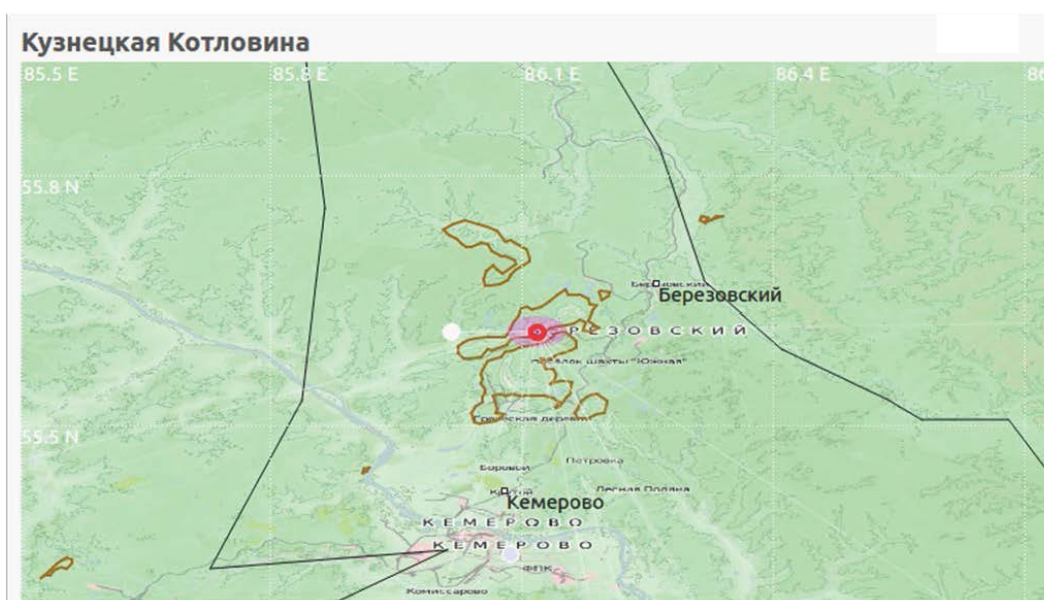


Рис. 2. Зависимость локальной магнитуды от общей массы заряда короткозамедленного взрыва для разрезов:
а) Кедровский; б) Краснобродский; в) Талдинский



а)



б)

Рис. 3. Эпицентры опытных взрывов по данным сети сейсмологических станций:

а) взрыв в Кедровском угольном разрезе, координаты: $55,57^\circ$ с.ш., $86,13^\circ$ в.д. Общий заряд ВВ 312 тонн, $M_L = 1,86$; б) взрыв в Черниговском угольном разрезе, координаты: $55,61^\circ$ с.ш., $86,12^\circ$ в.д. Общий заряд ВВ 470 тонн, $M_L = 2,5$

Для взрыва в Черниговском разрезе (рис. 4) представленные монтажи вертикальной компоненты до удалений 257,9 км уверенно фиксируют колебания от взрыва и, более того, имеются сейсмограммы с хорошим соотношением сигнал/шум на удалениях более тысячи км. Взрыв произведён со значительным сейсмическим эффектом.

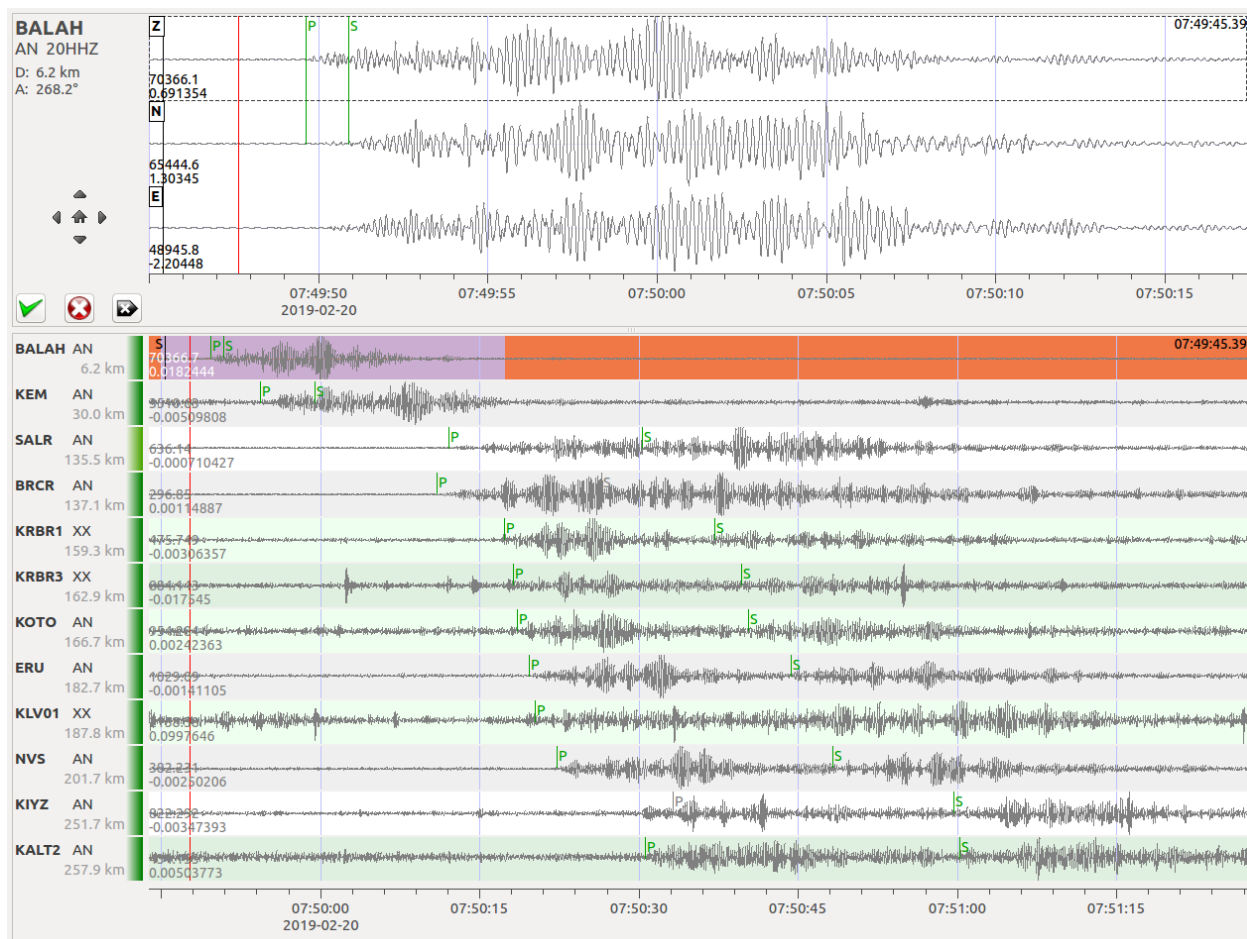


Рис. 4. Записи сейсмических станций взрыва на Черниговском угольном разрезе. Общий заряд ВВ 470 тонн, $M_L = 2,5$.
 Вверху трёх компонентная сейсмограмма на удалении 6,2 км от эпицентра.
 Нижняя – монтаж вертикальных компонент на удалениях 6,2 ÷ 257,9 км

По монтажах сейсмограмм видно, что для взрыва в Кедровском разрезе дальше 136,3 км сейсмические колебания от взрыва ниже фона микросейсм. Взрыв произведён с малым сейсмическим эффектом (рис. 5).

На рис. 6 опытные взрывы размещены в зависимости для рядовых взрывов на разрезе Черниговский. Взрыв 312 тонн дал аномально низкий сейсмический эффект в сравнении с рядовыми взрывами, а взрыв 470 тонн расположился по магнитуде среди рядовых взрывов данного предприятия.

Чтобы выяснить причины столь значительных различий в сейсмическом эффекте двух взрывов обратимся к сейсмограммам ближайшей станции. На рис. 5 мы видим сейсмограмму с довольно ровным амплитудным рисунком. Длительность взрыва существенно превышает длительность сейсмограммы одиночного взрыва на удалении 8,6 км от источника. Короткозамедленное взрывание растянуло воздействие на среду без усиления колебаний за счёт интерференции от ступеней взрыва. На рис. 4 сейсмограмма на удалении 6,2 км от взрыва иного вида. Первые 8 секунд фиксируется пониженный уровень ампли-

туд, а затем значительное усиление до конца взрыва. Начало взрыва не вызывало резонансного усиления колебаний за счёт взрывов других ступеней. После восьми секунд наблюдается увеличение амплитуд возбуждаемых колебаний. Регистрация возбуждаемых в среде колебаний около разреза даёт возможность анализировать развитие воздействия взрыва на среду во времени.

К возможным причинам ошибок в инициировании массовых взрывов можно отнести:

1. При схемах, сочетающих замедления между скважинами в ряду и между рядами, совпадения моментов взрывов в разных рядах, что для низких частот приведёт к усилению амплитуд возбуждаемых колебаний.

2. Неверный подбор интервалов замедления, что может обеспечить практическую значимость побочного экстремума, усиливающего колебания в узкой полосе частот.

3. Не учёт площадного эффекта взрыва, когда время пробега волн от одной скважины до другой сопоставимо с интервалами замедлений и по отдельным направлениям может обеспечить синфазное суммирование возбуждаемых колебаний.

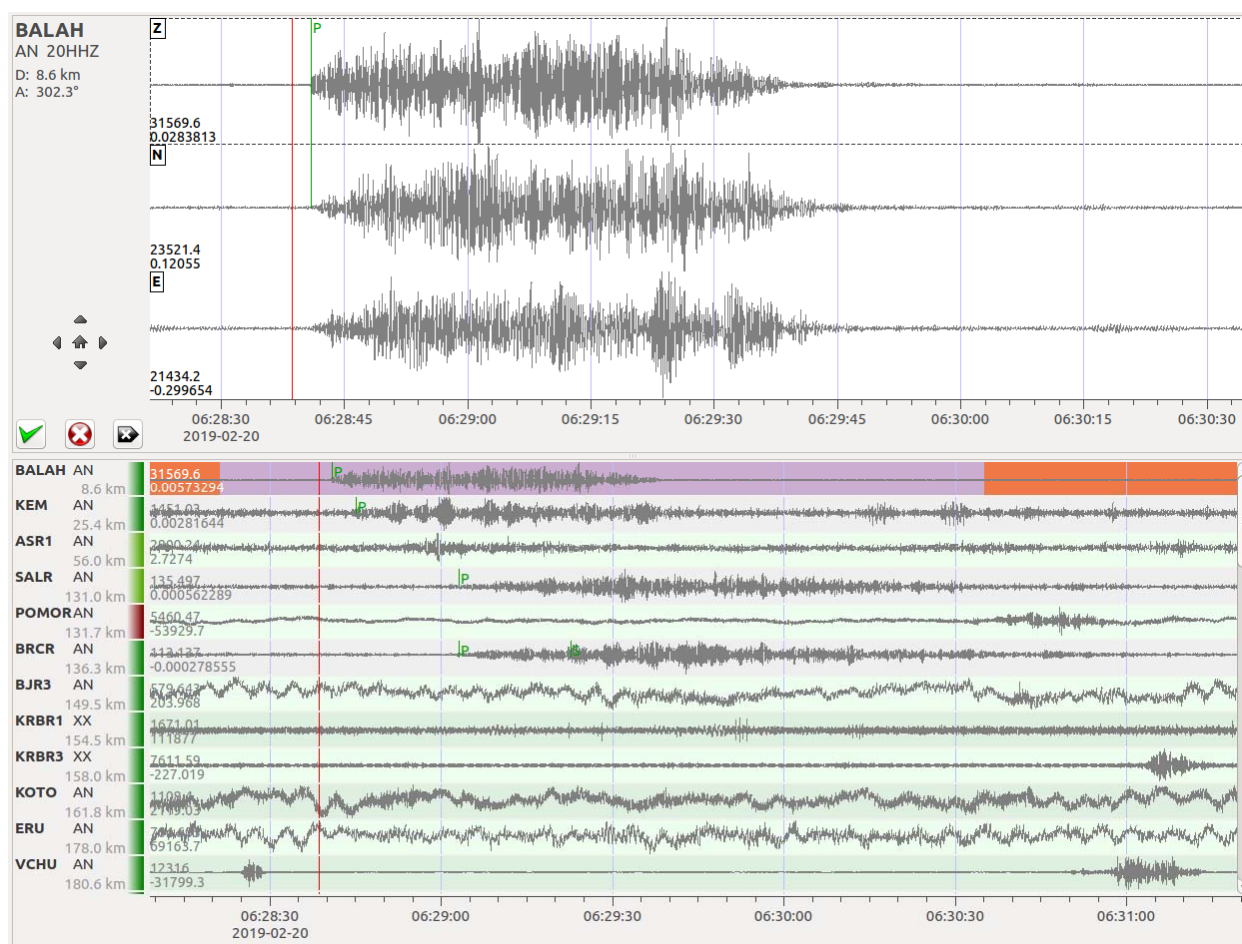


Рис. 5. Записи сейсмических станций взрыва на Кедровском угольном разрезе.

Общий заряд ВВ 312 тонн, $ML = 1,86$. Вверху трёх компонентная сейсмограмма на удалении 8,6 км от эпицентра. Нижняя – монтаж вертикальных компонент на удалениях $8,6 \div 180,6$ км

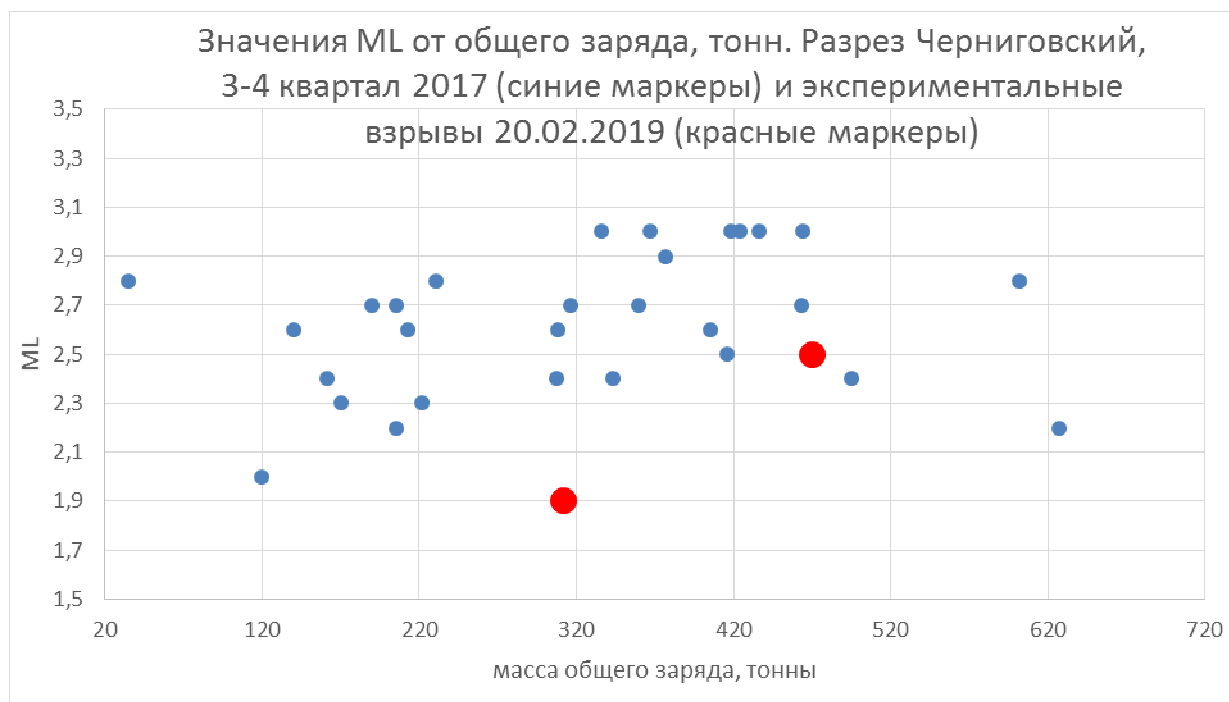


Рис. 6. Зависимость локальной магнитуды взрыва от массы заряда

Выводы

Количество промышленных взрывов в Западной Сибири почти втрое превышает число землетрясений, и воздействие на земную кору, и населённые пункты возрастает от года к году.

Сейсмологический мониторинг промышленных взрывов на основе анализа магнитуд и зарядов позволяет обнаруживать ошибки в выполнении короткозамедленного взрывания и принимать меры по обеспечению снижения сейсмического воздействия горных работ на территорию Западной Сибири.

Опытные работы с короткозамедленным взрыванием продемонстрировали существование резервов в снижении сейсмического эффекта взрывов за счет тщательного подбора параметров взрывания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адушкин В.В. Развитие техногенно-тектонической сейсмичности в Кузбассе // Геология и геофизика. – 2018. – № 5. – Т. 59. – С. 709-724.
2. Друкованый М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах. – М.: Недра, 1973. – 402 с.
3. Еманов А.Ф. Корреляционный метод сжатия сигналов для обработки сейсмограмм промышленных взрывов // Геология и геофизика. – 1980. – № 4. – С. 77-86.
4. Еманов А.Ф. Влияние короткозамедленного взрывания на сейсмограммы промышленных взрывов // Геология и геофизика. – 1982. – № 9. – С. 81-89.
5. Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействия на объекты недропользования: монография. Отв. ред. М.Д. Новопащин. – Новосибирск: СО РАН, 2008. – 449 с.

6. Сейсмический эффект промышленных взрывов и основные закономерности формирования и развития сейсмичности около шахт и разрезов Кузбасса / А. Ф. Еманов, А. А. Еманов, А. В. Фатеев, Е. В. Шевкунова, У. Ю. Ворона, Н. А. Серёжников // Вестник ВостНИИ. – 2018. – № 3. – С. 57-72.

7. Сейсмический эффект промышленных взрывов в Западной Сибири и наведённая сейсмичность / А. Ф. Еманов, А. А. Еманов, А. В. Фатеев, Е. В. Шевкунова, У. Ю. Ворона, Н. А. Серёжников // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2018. – № 4. – Т. 45. – С. 5-24.

8. Khalturin V.I., Rautian T.G., Richards P.G. The Seismic signal strength of Chemical Explosion // BSSA. – 1998. – Vol. 20. – № 14. – P. 1511-1524.

© А. Ф. Еманов, А. А. Еманов, Н. А. Серёжников, А. В. Фатеев,
У. Ю. Ворона, Е. В. Шевкунова, 2019