

УДК 622.831.32: 550.348.42

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМОАКТИВНОСТЬ КУЗБАССА

Д. В. Яковлев, Т. И. Лазаревич, С. В. Цирель

*ОАО “Научно-исследовательский институт горной геомеханики
и маркшейдерского дела” — Межотраслевой научный центр ВНИМИ,
E-mail: vnimioao@yandex.ru,
22-я линия, 3, корп. 3, лит. В, 199106, г. Санкт-Петербург, Россия*

С помощью анализа графиков повторяемости сейсмических событий, их распределения по времени в течение рабочей недели и расположения эпицентров показано, что сейсмичность Кузбасса начиная с 60-х годов прошлого века носит сложный природно-техногенный характер. С конца 80-х гг. природно-техногенная сейсмичность переходит во вторую стадию, характеризующуюся роевыми потоковыми проявлениями сейсмических событий низкого энергетического класса и мощными неглубокими землетрясениями в районах высокой концентрации горных работ, прежде всего вблизи глубоких карьеров. Самым ярким событием этого типа стало землетрясение 19.06.2013 г. с магнитудой $M_s = 5.2$ около разреза “Бачатский”. Установлено, что природно-техногенная активность в большой мере связана с глубинными разломами, относительно слабо проявленными в верхнем слое земной коры и рельефе местности, что свидетельствует об ускорении их прорастания на поверхность под воздействием техногенных факторов. Предложена программа углубленных исследований природно-техногенной сейсмоактивности Кузбасса и разработки методов раннего выявления активизирующихся зон.

Сейсмические события, землетрясения, разрезы, горные работы, график повторяемости, глубинные разломы, сеть сейсмостанций, продольные и поперечные волны, геодинамический мониторинг

Проблема техногенного влияния на сейсмические процессы — одна из важнейших и одновременно одна из наиболее дискуссионных в геомеханике. К настоящему времени уже нет сомнения в том, что заполнение водохранилищ и в меньшей степени закачка жидкостей в подземные полости могут влиять на сейсмические процессы [1–3]. Также признана возможность мощных ядерных и химических взрывов инициировать уже подготовленные слабые сейсмические события [4, 5]. Гораздо более спорным является характер влияния горных работ на сейсмические процессы (см. различные мнения в работах [4, 6–15]).

Землетрясение в районе Белово магнитудой $M_s = 5.2$, произошедшее 19.06.2013 г., привлекло всеобщее внимание к проблемам как техногенного влияния на сейсмичность, так и сейсмоактивности Кузбасса, где сосредоточено 60% добычи угля в России. Согласно картам сейсмического районирования ОСР-97 [16], Кемеровская область относится к регионам с умеренной сейсмической активностью, в северной части области средний период повторяемости землетрясений с интенсивностью 7 баллов составляет 5000 лет, а в южной — 500–1000 лет.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 14.515.11.0082 по заказу Министерства образования и науки Российской Федерации.

Наиболее мощные землетрясения ($M \approx 6$) на территории Кузбасса (в районе Новокузнецка) отмечены на рубеже XIX и XX вв., а в течение всего инструментального периода с начала 1960-х годов землетрясений с магнитудой более 4.5 не наблюдалось. Тем не менее изменения сейсмической обстановки даже без учета недавнего землетрясения указывают не на снижение, а на рост сейсмической опасности, серьезно недооцениваемой до последнего времени.

Во-первых, в 2003, 2011 и 2012 гг. в Горном Алтае и Тыве произошли сильные землетрясения. Наиболее близко к Кузбассу расположен эпицентр Чуйского землетрясения 2003 г., сильнейшего землетрясения Алтае-Саянского региона последнего времени. Самый мощный толчок имел магнитуду $M_s = 7.3$, за ним последовало еще два мощных толчка с магнитудами $M_s = 6.7$ и $M_s = 7.0$ и длинная серия афтершоков с магнитудами, доходящими до 5–5.5. Интенсивность колебаний в эпицентре (50.14° с. ш., 87.58° в. д.) достигала 9–9.5 баллов; согласно карте ОСР-97-А, период повторяемости таких сотрясений составляет приблизительно 500 лет. Интенсивность колебаний в Таштаголе и Прокопьевске оценивалась 5–6 баллами. Важно отметить, что землетрясение происходило на фоне общего роста сейсмичности Алтае-Саянского региона (рис. 1 — данные Геофизического центра СО РАН [17]).

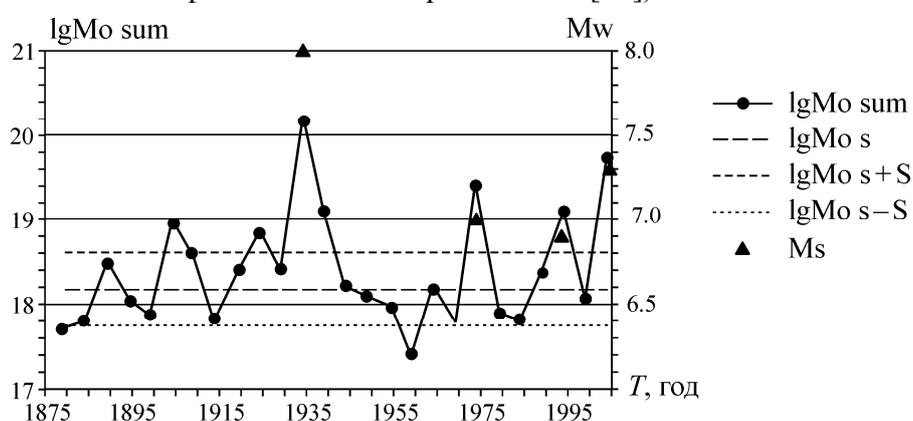


Рис. 1. Вариации сейсмичности по суммарному скалярному сейсмическому моменту (регион 45.0–55.0° с. ш.; 80.0–95.0° в. д.). $Mo\ sum$ — суммарный скалярный момент за 5 лет; $lgMo\ s$ и $lgMo\ s \pm S$ — среднее значение и границы вариации $Mo\ sum$ ($\pm\sigma$); M_s — магнитуды крупнейших землетрясений

Во-вторых, с ростом объема извлеченной горной массы и объема ведения взрывных работ в Кузбассе происходит резкий рост техногенной сейсмичности. Увеличение количества техногенных сейсмических событий началось в 60-е годы прошлого века и резко ускорилось после 80-х гг. [18]. Мощность техногенных событий, как правило, была невелика (энергетический класс $K < 8-9$), однако в 1980-е годы стали встречаться уже техногенные сейсмические события 8–9 класса, а количество техногенных сейсмических событий в Кузбассе превысило количество естественных сейсмических событий. В феврале 1988 г. в 3 км от Таштагольского рудника произошло техногенное землетрясение (глубина очага 0.8–1.5 км) с сейсмической энергией 10^9 Дж, вызвавшее сотрясения интенсивностью 5–6 баллов в рабочем поселке Кочура. Позднее последовал ряд более мощных землетрясений ($K = 11-12$) вблизи Прокопьевска и Междуреченска. Вклад техногенной составляющей по единичным мощным событиям оценить достаточно трудно, так как у большей части из них глубина очагов (5–15 км) ближе к естественным сейсмическим событиям региона (10–50 км), чем к техногенным (0.5–3 км), тем не менее близость к местам интенсивного ведения горных работ заставляет предполагать участие техногенных факторов. Другим свидетельством вклада техногенных процессов стали две фазы резкой

сейсмической активизации недр, наблюдавшиеся в городах Осинники и Полысаево на полях одноименных шахт соответственно в 2005 и 2007 гг. Эти явления носили форму роевых (близкорасположенных друг к другу) потоковых (часто чередующихся во времени) сейсмических событий низкого энергетического класса и имели малую глубину гипоцентров. Вследствие малой глубины, эти события даже при небольшой мощности создали ощутимые колебания в эпицентральной области, а многократные воздействия привели к повреждениям жилых строений [19, 20].

Для оценки воздействия техногенных процессов на произошедшее землетрясение рассмотрим подробно ход изменения сейсмической активности в Кемеровской области. В основу нашего анализа положены три каталога: исторический за 1734–1966 гг., каталоги землетрясений Алтае-Саянского региона 1962–1989 и 1999–2005 гг. (см. также более подробные каталоги, составленные ЦОМЭ ГС РАН, за 1963–1995 и 1998–2000 гг.*).

Подробные каталоги прошли “очистку” от промышленных взрывов, сделанную на основании анализа сейсмограмм и данных, полученных от крупных горнодобывающих предприятий. Для оценки влияния взрывных работ были построены распределения сейсмических событий в течение недели и в течение дня с учетом поясного и летнего/зимнего времени. Оба подробных каталога, особенно за 1998–2000 гг., показали весьма неравномерное их распределение по дням недели и времени суток. Выявлено, что основная часть сейсмических событий приходится на то время, когда производятся массовые взрывы на угольных разрезах, или через 1–3 ч после них (рис. 2). Такое распределение указывает, что основная часть сейсмических событий в Кузбассе является техногенными и происходит непосредственно за промышленными взрывами (возможно также некоторое “засорение” выборки промышленными взрывами, не оказывающее существенного влияния на распределение событий во времени). На смешанный характер сейсмичности с преобладанием техногенной составляющей также указывает двухмодальное распределение сейсмических событий по месяцам — с весенним природным пиком и декабрьским техногенным. Еще одним аргументом является вариация количества сейсмических событий по неделям в течение года: слишком малая для природной сейсмичности и слишком большая — для техногенной (коэффициент вариации с исключением января и летних месяцев в разные годы составлял 0.38–0.45).

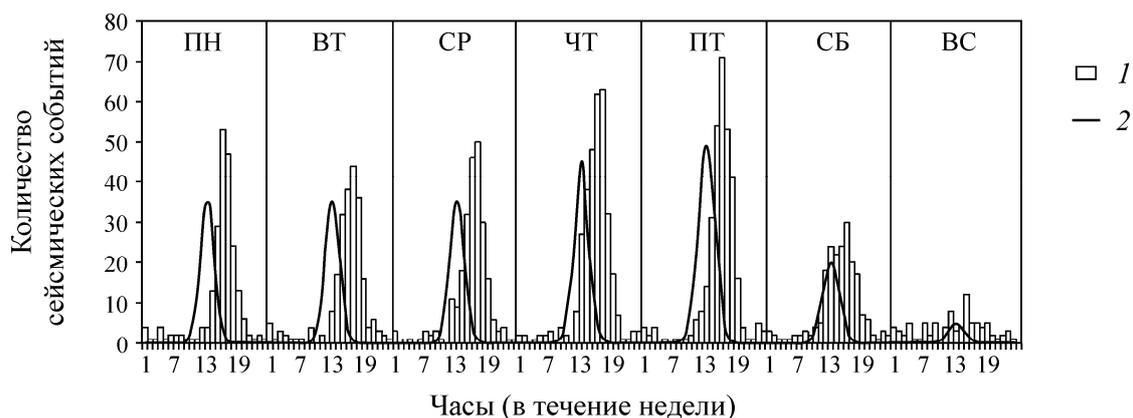


Рис. 2. Распределение сейсмических событий (1) и массовых взрывов (2) на угольных разрезах в течение недели (распределение количества взрывов показано не в масштабе — по усредненным данным за последнее десятилетие)

*См. отчеты Алтае-Саянского филиала ГС СО РАН: “Описание сейсмических явлений на территории Кузбасса” (А. А. Дергачев, В. И. Мучная, А. Г. Филина) 1989 г. с каталогами землетрясений на территории Кузбасса по 1989 г. и “Землетрясения 14 сентября 1995 г. в районе г. Прокопьевска” (А. А. Дергачев, В. И. Мучная, А. Г. Филина). Новосибирск, 1996 г. с каталогами землетрясений на территории Кузбасса до 1994 г., а также каталоги, приведенные на сайтах <http://www.ceme.gsras.ru/>, <http://gs.sbras.ru/>, <http://some.kz/> и http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Quakes/quakes_all.html.

На рис. 3 представлены суммарные количества наиболее крупных сейсмических событий (энергетический класс $K > 8.5$), составленные по каталогам землетрясений Алтае-Саянского региона и очищенным подробным каталогам (1996 и 1997 гг. пропущены из-за отсутствия данных). Наблюдается явная связь между сейсмичностью Кемеровской области и всего Алтае-Саянского региона (см. рис. 1): начиная с 1960-х годов во всем регионе и в Кемеровской области происходит рост сейсмической активности; совпадают многие периоды подъема активности: 1964–1969 гг., 1975–1979 гг., 1993–1995 гг. и 2000–2005 гг. Но есть и существенные различия, касающиеся как расхождений в интенсивности различных подъемов сейсмичности во всем регионе и в Кемеровской области и наличия собственного кузбасского подъема сейсмичности в 1987–1988 гг., так и особого характера последних подъемов сейсмичности. Судя по количеству землетрясений 9–10 классов, самым мощным было повышение сейсмической активности в 2000–2005 гг. — по меньшей мере 20 землетрясений против 5–6 в предыдущие два, но землетрясений 11 класса в этот подъем сейсмичности было всего два (не больше, чем в предыдущие подъемы), а землетрясений 12 класса вообще не отмечалось (в 1966 г. зафиксировано одно землетрясение 12 класса).

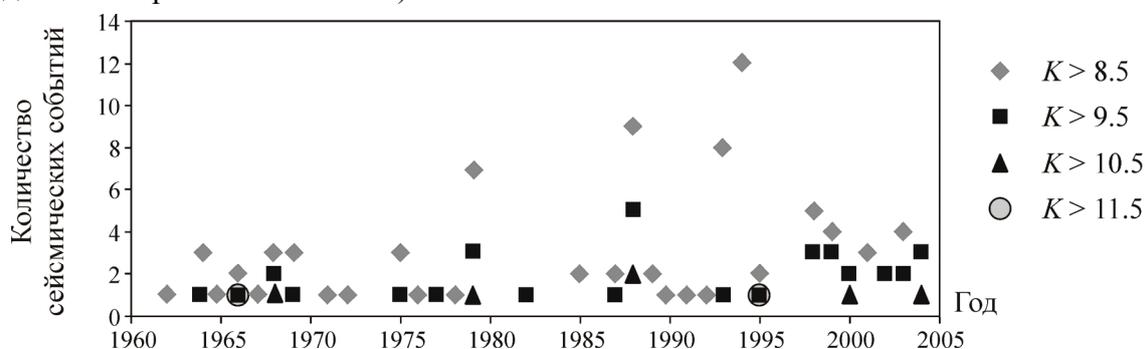


Рис. 3. Ежегодные количества сильных сейсмических событий в 1962–2005 гг.

Изменения характера сейсмической активности носили сложный характер, поэтому для выявления более детальной картины построим дальнейший анализ следующим образом. Сперва рассмотрим, как техногенные факторы меняют характер сейсмической опасности, прежде всего графики повторяемости, а затем попытаемся оценить, как выявленные закономерности проявляются в сейсмической активности Кузбасса в целом и окрестности Бачатского разреза в частности.

Отметим различия в повторяемости природной и техногенной сейсмической активности. На рис. 4 представлены кумулятивные графики повторяемости сейсмических событий на Норильском месторождении, на шахте “Кальинская” Северо-Уральского бокситового месторождения (где наблюдается следующая стадия развития техногенной сейсмичности), в Кузбассе и естественной сейсмичности Алтае-Саянского региона. Сопоставление показывает, что угол наклона кривой повторяемости при техногенной сейсмичности существенно круче, чем при естественной. Весьма наглядным проявлением такой закономерности служат графики повторяемости сейсмических событий [10, 11], зарегистрированных Геофизической службой СО РАН при проведении мониторинга в городах Польшаево и Осинники, углы наклона которых почти вдвое превосходят угол наклона графика повторяемости общей совокупности сейсмических событий в Кузбассе.

Однако в процессе развития техногенной сейсмичности угол наклона снижается, причем данный процесс сопровождается разделением “нормальной” техногенной сейсмичности и мощных событий, типологически сходных с землетрясениями. Особенно ярко эта двухмодальность распределения проявляется на рудниках Северо-Уральского бокситового месторождения (СУБРа) [21].

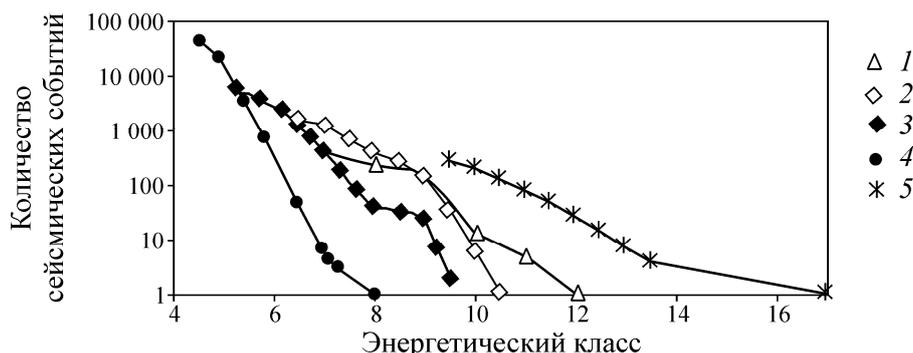


Рис. 4. Кумулятивные графики повторяемости при естественной, техногенной и смешанной сейсмической активности: 1 — Кузбасс 1981–1995 гг. (исходный каталог); 2 — Кузбасс 1998–2000 гг. (исходный каталог); 3 — шахта “Кальинская” (СУБР) 1987–2004 гг.; 4 — Норильск 2000–2005 гг. (техногенная сейсмичность); 5 — Алтае-Саянский каталог 1999–2005 гг.

Сопоставим повторяемость сейсмических событий Кузбасса различных времен. На рис. 5 показаны графики повторяемости “дотехногенного” периода сейсмической активности в Кузбассе (1962–1980 гг.) и “раннетехногенного” периода. Если исключить увеличение полноты регистрации слабых сейсмических событий, то основным различием будет некоторое повышение дробности (тангенса угла наклона графика повторяемости в логарифмических координатах), сопровождающееся также ростом отклонения графика от прямой (степенной функции в нелогарифмической системе координат), т. е. обратное движение по сравнению с развитием техногенной сейсмичности на шахтах и рудниках.

Здесь можно провести аналогию с влиянием заполнения водохранилищ на сейсмичность. В этих случаях наблюдается возрастание доли и количества слабых землетрясений и снижение количества самых крупных землетрясений при почти неизменном потоке сейсмической энергии [1, 6]. Данная аналогия особенно существенна, если учитывать массовую ликвидацию выработанных и нерентабельных шахт Кузбасса путем затопления (более 20 шахт). Вид графика повторяемости смешанной серии событий можно рассматривать как сумму графиков повторяемости естественной и техногенной сейсмичности (рис. 6).

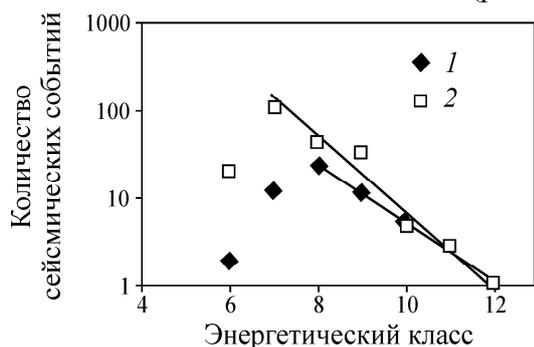


Рис. 5. Изменение наклона графика повторяемости: 1 — 1963–1960 гг.; 2 — 1981–1995 гг.

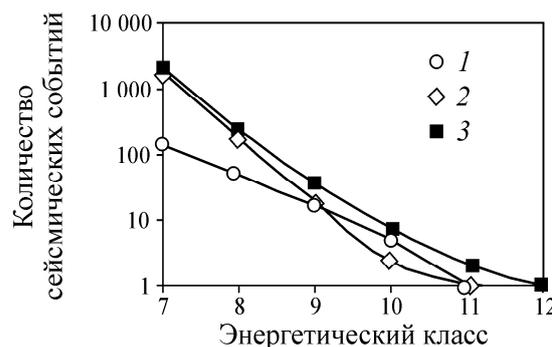


Рис. 6. Формирование графика повторяемости естественной (1), техногенной (2) и смешанной (3) сейсмичности

Например, подобное распределение имеют сейсмические события, зафиксированные Геофизической службой СО РАН [21] в районе Польшаево зимой 2007/08 г. (рис. 7). Среди сейсмических событий, относящихся к первой моде, резко преобладают события на горизонтах ведения подземных горных работ (0.6–1.0 км), вторая мода включает наиболее мощные события, произошедшие на глубинах как до 1 км, так и на 1.2–2.5 км.

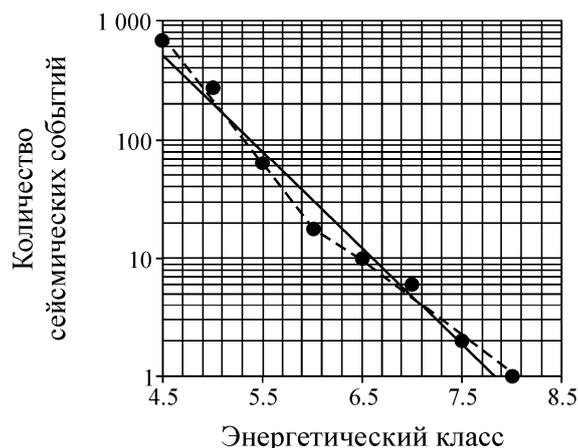


Рис. 7. Кумулятивный график повторяемости сейсмических событий в Полысаево зимой 2007/08 г.

При этом в районе ведения подземных горных работ распределение сейсмических событий во времени противоположно общему распределению в Кузбассе — наименьшее количество приходилось на дневные смены (с 8 до 14 ч по местному времени), когда велись ремонтно-профилактические работы и не было отбойки угля. По мнению авторов [11, 15, 22], в остальное время инициирующим фактором была вибрация, создаваемая комбайном в работающей лаве. На наш взгляд, не меньшую роль могли играть перераспределение напряжений, вызываемое подвиганием забоя лавы, и другие процессы в шахте. Важно отметить, что в отличие от однократных ядерных и крупномасштабных химических взрывов [4, 5], длительное техногенное воздействие может инициировать сейсмические события, существенно превосходящие его по суммарной энергии и даже по энергии единичного события.

Судя по Таштагольскому и, возможно, Прокопьевскому и Междуреченскому (1998 г.) землетрясениям, для Кузбасса и всего района горных работ Кемеровской области этап перехода к крупным событиям начался приблизительно на рубеже 90-х годов прошлого века. Опыт СУБРа показывает, что при дальнейшем развитии техногенной сейсмичности распределение становится двухмодальным, а дробность снижается, хотя и не достигает величин, характерных для естественной сейсмичности. Вторую моду образуют подвижки по разломам (мощные горно-тектонические удары), вызванные ведением горных работ в одном из крыльев разлома. Как мы полагаем, вторую моду в Кузбассе образуют неглубокие землетрясения ($H = 1.5 - 15$ км), тяготеющие к районам ведения горных работ. Аналогия этих землетрясений с горно-тектоническими ударами на СУБРе подтверждается тем обстоятельством, что Кытмановский разлом, с которым предположительно связаны Прокопьевское и Междуреченское землетрясения, в восточной части был существенно подработан шахтами объединений “Прокопьевскуголь” и “Киселевскуголь”.

Пространственное распределение эпицентров крупных землетрясений показано на рис. 8. Как видно, построение линий линеаментов на основании расположения эпицентров крупных событий заставляет предполагать существование крупного разлома практически меридионального простирания и приблизительно вертикального падения. Предполагаемый разлом проходит через Киселевск и Прокопьевск и через Ленинск-Кузнецкий район на расстоянии от 1–2 до 10–15 км к западу от Полысаево. По-видимому, этот разлом был весьма активен на рубеже XIX и XX вв., затем его активность упала и стала проявляться снова с возрастающей интенсивностью.

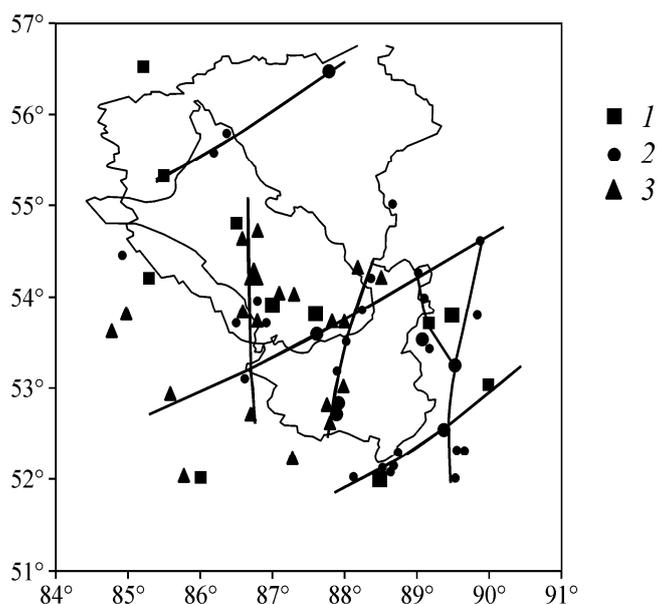


Рис. 8. Эпицентры крупнейших землетрясений и предположительные положения разломов, с которыми они связаны: 1 — исторические землетрясения, 2 — землетрясения 1962–1989 гг., 3 — землетрясения 1999–2005 гг. (размер фигуры указывает на энергетический класс землетрясений)

Эпицентры сейсмических событий последних лет [19] предоставляют дополнительные аргументы в пользу существования разлома (или даже двух разломов) приблизительно меридионального простирания (рис. 9). Группировка событий в кластеры показывает, что в последние годы резко усилилось стягивание зон концентраций сейсмособытий к местам ведения горных работ, прежде всего к угольным разрезам [19, 20].

При этом в большинстве случаев положения эпицентров, сконцентрированных около разрезов, не дают отчетливой картины, с какими тектоническими структурам связана сейсмическая активность. В наибольшей степени выделяется направление WSW–ENE, субпараллельное границам Кузбасса. Также можно заметить приуроченность рассеянных землетрясений субширотным разломам направления SSW–NNE, в том числе Пеньковскому, Барнаульско-Сорочинскому, Кытмановскому, Ташелгино-Темирскому (некоторые из них показаны линиями на рис. 8). Концентрация землетрясений отмечается на отрезках субмеридиональных разломов — южной части Мартайгинского разлома и его ответвлений (приблизительно 88°), южной части Кузнецкого Алатау (приблизительно 89°–89°30′) и описанного выше безымянного разлома около 87°. Дуговые структуры по рисунку расположения эпицентров выделить затруднительно, по-видимому, землетрясения связаны с ними лишь на тех участках, где они совпадают с генеральным направлением.

Рассмотрим более детально предположительно выделенный разлом меридионального направления. Следы этого разлома можно заметить на мелкомасштабных космоснимках, хотя более отчетливо видны линеаменты направлений WSW–ENE и SSW–NNE. Отдельные участки разлома просматриваются и в особенностях речной сети. Резкий изгиб р. Томь и течение ряда рек, в том числе Чумыш и Кара-Чумыш южнее Прокопьевска, а также Мереть 2-я в Ленинск-Кузнецком районе указывают на возможное существование разлома практически меридионального направления.

Сопоставим предположительно выделенный разлом с данными карты глубинных разломов Кемеровской области (рис. 10), составленной специалистами ВСЕГЕИ [23, 24].

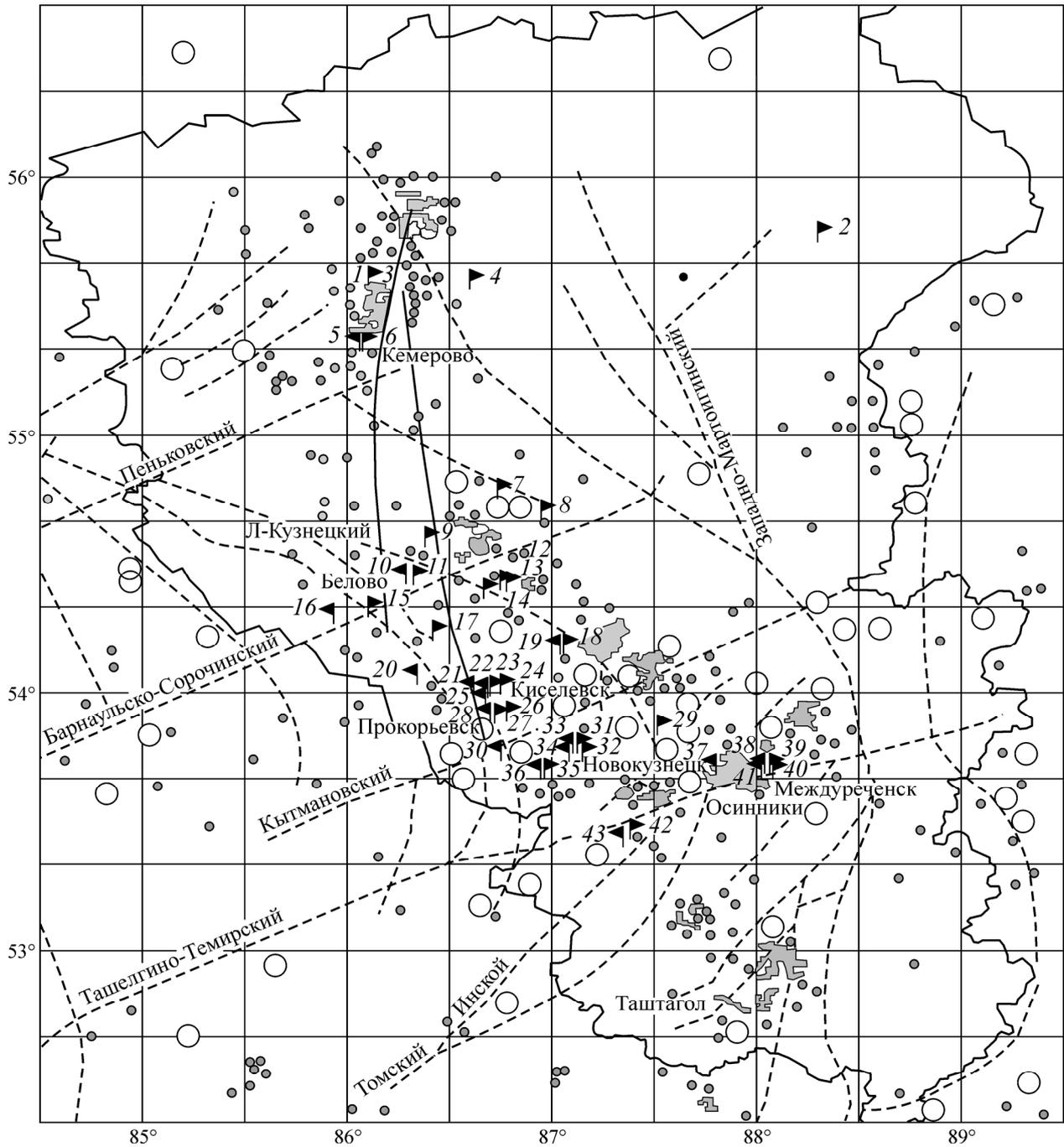


Рис. 9. Эпицентры сейсмособытий последних лет (кружками отмечены наиболее крупные события): — граница Кемеровской области; ---- разрывные нарушения; ○ — эпицентры сейсмических событий. Разрез: 1 — Кедровский; 2 — Кайчакский; 3 — Черниговский; 4 — Сартакинский; 5 — Северный Кузбасс; 6 — Судженский; 7 — Рождественский; 8 — Камышанский; 9 — Моховский; 10 — Задубровский; 11 — Новосергиевский; 12 — Караканский; 13 — Губернский; 14 — Виноградовский; 15 — Бачатский; 16 — Шестаки; 17 — Красный брод; 18 — Таежный; 19 — Майский; 20 — Пермьяковский; 21 — Вахрушевский; 22 — Киселевский; 23 — Заречный; 24 — Октябринский; 25 — Тайбец; 26 — Восточный; 27 — Прокопьевский; 28 — Новоказанский; 29 — Степановский; 30 — Рождественский; 31 — Талдинский; 32 — Южный; 33 — Ерунаковский; 34 — Корчаковский; 35 — Бунгурский; 36 — Тагарышский; 37 — Сибиргинский; 38 — Красногорский; 39 — Томусинский; 40 — Междуреченский; 41 — Ольжерасский; 42 — Осиниковский; 43 — Калтанский

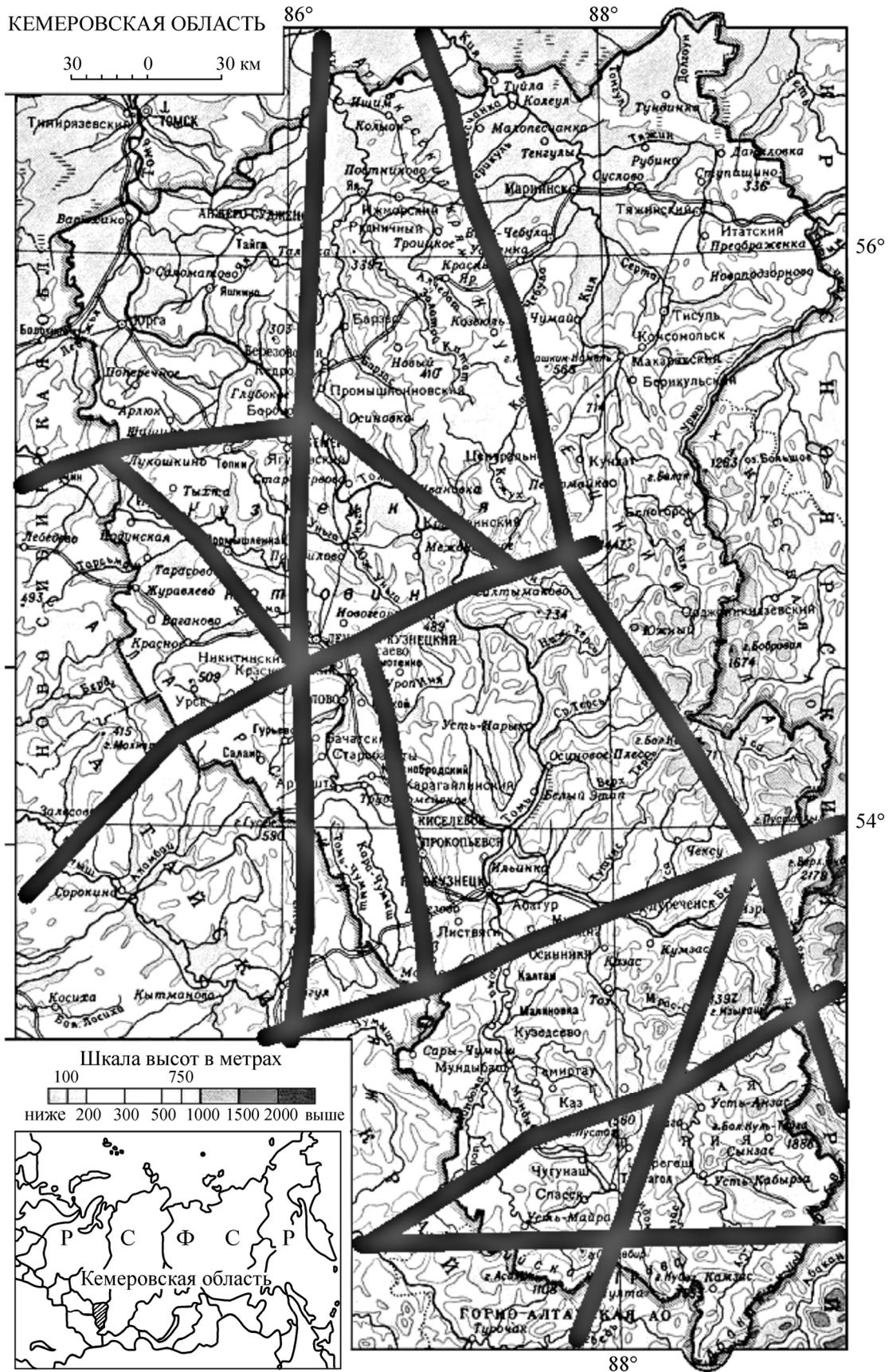


Рис. 10. Фрагмент карты глубинных разломов (Кузбасс)

На этой карте нанесены разломы, построенные по различным совокупностям данных, имеющих различную степень достоверности. Отметим, что карта предполагает существование даже не одного, а двух разломов меридионального направления — магистрального к западу от Белова, с которым, по-видимому, связано произошедшее землетрясение, и более короткого разлома к востоку от Белова, с которым могут быть связаны рои сейсмических событий в Польшаево, а также землетрясение в районе Краснобродского разреза (14.03.2000 г., энергетический класс $K=10.5-11$). При этом магистральный разлом меридионального направления относится к числу наиболее надежно установленных глубинных разломов. К северу от Ленинск-Кузнецкого он выделен по магнитометрическим данным, южнее Ленинск-Кузнецкого — по комплексу геолого-геофизических данных, по нему установлены четкие изменения мощности, состава и/или структуры земной коры в целом и гранитно-метаморфического комплекса в частности.

По разлому, проходящему южнее Новокузнецка приблизительно в широтном направлении, выявленному по магнитометрическим данным, также установлены четкие изменения мощности, состава и/или структуры земной коры и гранитно-метаморфического комплекса. С этим разломом могут быть связаны сейсмические события в Абагурской сейсмоактивной зоне, включая рои сейсмических событий в Осинниках.

Таким образом, мощные землетрясения последнего времени, рои сейсмических событий и трещины на поверхности связаны как с основными региональными разломами с зафиксированными в поверхностных слоях вертикальными амплитудами, так и с глубинными разломами, выявленными по комплексу геолого-геофизических данных. Более того, глубинные разломы, как показывает проведенный анализ, сильнее влияют на проявления сейсмоактивности и расположение тектонически ослабленных зон, чем известные региональные разломы. На первый взгляд, активизация региональных и особенно глубинных структур, слабо проявленных в верхних слоях породного массива, в результате сугубо поверхностных техногенных воздействий представляется парадоксальной. Однако следует учесть, что малопроявленные в верхних слоях глубинные и региональные разломы — это одновременно и важнейшие прорастающие разломы, формирующие зоны повышенной геодинамической активности в верхней части земной коры, и любые воздействия на горный массив, в том числе техногенные, активизируют в первую очередь именно эти зоны. Важно отметить, что такие глубинные разломы не только выделяются по геологическим и геофизическим данным, но и в некоторой степени проявляются на поверхности через рисунок речной сети.

Механизмы проявления активизации глубинных разломов в результате техногенных воздействий, по-видимому, заключаются в росте трещин и формировании тектонически напряженных зон около их замыканий и, наоборот, зон ослабления (дробления), а также в просачивании флюидов через эти зоны. В первую очередь речь идет об эманациях метана и радона, а также о поступлениях поверхностных и грунтовых вод в горные выработки. Подобные механизмы ведут к появлению зон, не только тектонически напряженных (ТНЗ), но и тектонически разгруженных (ТРЗ), существенно влияющих на безопасность ведения горных работ, а также особо подвижных или особо чувствительных блоков, способных к резонансной раскачке при сейсмических воздействиях и формированию роев мелких землетрясений [19, 25]. Ведение горных работ в таких зонах связано с повышенными геодинамическими рисками и должно сопровождаться геодинамическим мониторингом.

В силу указанных причин при переходе от естественной к смешанной природно-техногенной сейсмичности связь сейсмического процесса в Кемеровской области с сейсмическими процессами Алтае-Саянского региона не ослабла, а в некотором смысле даже усилилась.

Три самых крупных землетрясения, произошедших вблизи Бачатского разреза, получили большой общественный резонанс и широкое обсуждение в прессе и социальных сетях. Серьезная тревога и обеспокоенность населения прилегающих городов Салаир, Гурьевск, поселков Бачатский, Старобачаты отчасти объяснялись тем, что официально эти явления квалифицировались как несанкционированные промышленные взрывы, хотя ни одно из проводившихся комиссионных расследований не подтверждало фактов проведения взрывов в моменты землетрясений.

Исследования Кемеровского Представительства ВНИМИ позволили квалифицировать эти события как природные землетрясения, спровоцированные горными работами, или, иначе, как техногенные землетрясения с малой глубиной гипоцентров. Основания для данного вывода включали:

- наличие афтершоков после основного толчка и последующих более слабых землетрясений, происходивших в течение 2012–2013 гг., что указывает на сейсмическую активность зоны эпицентра;
- вступление продольной волны в фазе растяжения, что не характерно для промышленных взрывов на расстояниях до 40 км;
- четко выраженные фазы вступления поперечной и поверхностной волн, что характерно для мелкофокусных землетрясений, но не характерно для промышленных взрывов (рис. 12);
- очень высокий энергетический класс сейсмических событий, значительно превышающий сейсмическую энергию промышленных взрывов (энергетический эквивалент самого мощного толчка по массе ВВ составлял приблизительно 600 т);
- отсутствие источника промышленного взрыва по данным экспертизы Ростехнадзора.

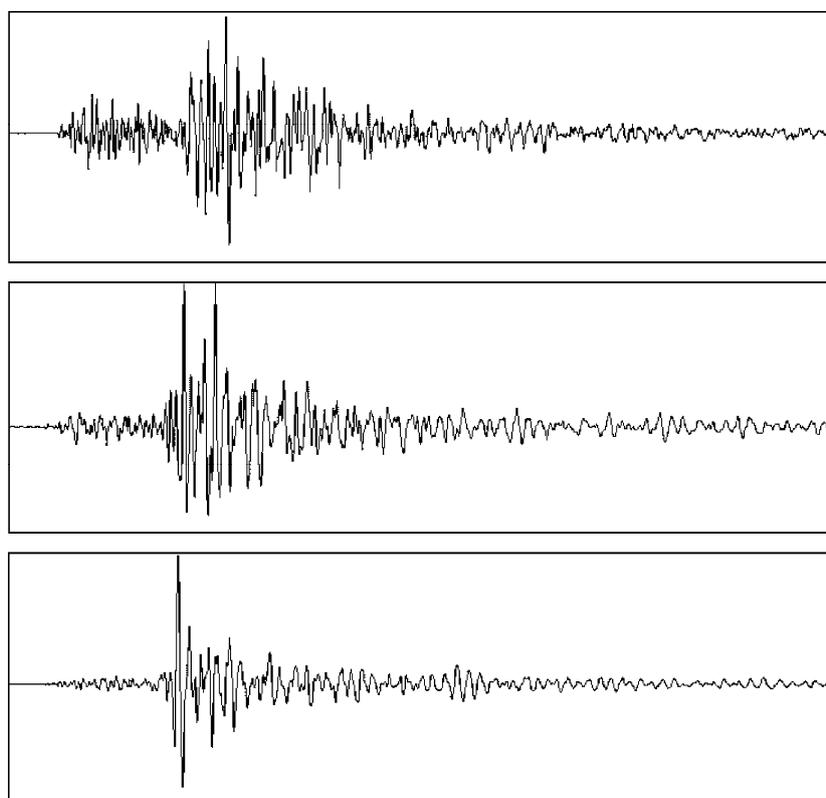


Рис. 12. Сейсмограммы землетрясения, произошедшего 09.02.2012 г. в 20:24:03 (время местное). Координаты события: 54.3029° с. ш., 86.0756° в. д. Магнитуда $M = 3.8$. Энергетический класс события $K = 11.0$. Сейсмостанция Полысаево (ВНИМИ)

Важно подчеркнуть, что активизация вблизи Бачатского разреза — это далеко не единственное проявление связи сейсмических активизаций и мощных сейсмических событий с горными работами. Кроме Таштагольского, Прокопьевского и Междуреченского землетрясений достаточно мощное землетрясение произошло в непосредственной близости Краснобродского разреза. По данным сейсмологических наблюдений ВНИМИ, на протяжении последних двух лет нарастает сейсмическая активность в районе разрезов “Моховский” и “Сартаки” (за указанный период здесь зарегистрировано более 50 сейсмических событий 6–8 энергетического класса). Однако в силу удаленности от жилых районов сейсмический эффект от их проявления в ближайших населенных пунктах не ощущается.

Таким образом, существуют убедительные причины считать, что природно-техногенная сейсмичность Кузбасса достигла второй стадии развития. Кроме природных глубоких землетрясений и мелкофокусных техногенных сейсмических событий, вблизи карьеров все чаще наблюдается третий тип сейсмоактивности — рои сейсмических событий и мощные относительно неглубокие землетрясения в районах ведения горных работ, в основном приуроченные к глубинным прорастающим разломам — аналоги горно-тектонических ударов на СУБРе. Основным источником энергии землетрясений служит накопленная тектоническая энергия, но время и место сброса энергии существенно зависят от техногенных событий. При этом зависимость от ведения горных работ носит двоякий характер:

— системное воздействие, охватывающее либо весь Кузбасс, либо его значительную часть, проявляющееся в изменениях характера графиков повторяемости, чередовании проявлений активности различных сейсмоактивных зон и глубоких разломов;

— локальное воздействие зон концентрации горных работ, прежде всего крупных карьеров, где проводятся массовые взрывы, на близко расположенные участки разломов, приближающие сброс сейсмической энергии именно в этих зонах.

ВЫВОДЫ

Считаем необходимым постановку и организацию специальной программы детальных исследований природы сейсмических процессов в недрах Кузбасса и выявления признаков нарастания природно-техногенной сейсмической активности. Как показывают примеры других природных и техногенных рисков, в противном случае начатые Геофизической службой СО РАН работы по развитию сети сейсмических наблюдений в Кузбассе могут быть оставлены в связи с каким-то новым стихийным бедствием. Данная программа должна предусматривать использование широкого спектра методов исследований, носить долгосрочный характер и включать:

— создание комплекса геодинамических полигонов (Бачатского, Польшаевского, Осинниковского, Междуреченского, Новокузнецкого), оснащенных системами планового и высотного деформационного мониторинга на основе базовых сетей GPS-трилатерации, маркшейдерских профильных линий и геофизических профилей, охватывающих наиболее проблемные участки территории сейсмических проявлений;

— организацию на территории области стационарных пунктов GPS-контроля движений земной коры (Анжеро-Судженск, Кемерово, Белово, Калтан, Междуреченск) с перспективой включения их в общероссийскую и международную сеть глобальных GPS-наблюдений;

— создание постов наблюдений для контроля активности геофизических полей (акустических, электромагнитных, геомагнитных, атмосферных состояний) на проблемных участках недр для выявления прогностических признаков нарастающей сейсмической опасности. Построение системы геофизических траверсов вкrest простирания сети Тырганско-Киселевского, Кильчигизского, Журинского, Виноградовского надвигов и предполагаемых глубинных разломов на участках с различной сейсмической активностью для уточнения характера геодинамической эволюции этих структур;

— организацию на сейсмоопасных территориях гидрогеологического мониторинга гидродинамических режимов закрытых подземных водоносных горизонтов, а также проведение радоновой и атмогеохимической съемки, включая анализ влияния землетрясений и взрывных работ на интенсивность эманаций радона и других газов;

— создание сейсмических локальных сетей вокруг наиболее сейсмоопасных территорий угольных разрезов (Бачатский, Краснобродский, Моховский) и привлечение информационных ресурсов систем горного сейсмического мониторинга, скомплектованных из групп шахтовых сейсмостанций (Полысаево, Аларда);

— детальное обследование территорий сейсмических проявлений для выявления образовавшихся сейсмодислокаций и сопутствующих им дискретных форм развития деформационных процессов как в эпицентральных зонах землетрясений, так и на территориях горных отводов близко расположенных горных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. — М.: Мир, 1979.
2. Шейдеггер А. Основы геодинамики. — М.: Недра, 1987.
3. Николаев А. В. Проблемы наведенной сейсмичности / Наведенная сейсмичность. — М.: Наука, 1994.
4. Earthquakes induced by Underground Nuclear Explosions: Environmental and Ecological Problems. Edited by R. Console, A. Nikolaev, NATO ASI Series, Springer, 1995.
5. Адушкин В. В., Турунтаев С. Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности катастрофы). — М.: ИНЭК, 2005.
6. Адушкин В. В. Техногенная сейсмичность: основные источники, причины возникновения и их классификация / Горная геомеханика и маркшейдерия в тысячелетии. — СПб.: ВНИМИ, 2004.
7. Сейсмичность при горных работах / под ред. Н. Н. Мельникова. — Апатиты: КНЦ РАН, 2002.
8. Пернацкий С. И., Шершневич В. А. Сильнейшее техногенное землетрясение на руднике “Умбозеро”: горнотехнические аспекты // Горн. журн. — 2002. — № 1.
9. Сырников Н. М., Тряпицын В. М. О механизме техногенного землетрясения в Хибинах // Докл. АН СССР. — 1990. — Т. 134. — № 4.
10. Брыксин А. А., Селезнев В. С. Влияние техногенных факторов на сейсмичность районов Кузбасса и озера Байкал // Геология и геофизика. — 2012. — Т. 53. — № 3.
11. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Лескова Е. В. и др. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физ. мезомеханика. — 2009. — № 1.
12. Климанова В. Г., Батугии А. С. О влиянии техногенной сейсмичности на окружающую среду и техносферу // Неделя горняка. — 2003. — № 7.

13. Холуб К. Наведенная сейсмичность при добыче угля лавами на шахтах Чехии // ФТПРПИ. — 2007. — № 1.
14. Кондратьев О. К., Люкэ Е. И. Наведенная сейсмичность. Реалии и мифы // Физика Земли. — 2007. — № 9.
15. Опарин В. Н., Еманов А. Ф., Востриков В. И., Цибизов Л. В. О кинетических особенностях развития сейсмоэмиссионных процессов при отработке угольных месторождений Кузбасса // ФТПРПИ. — 2013. — № 4.
16. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. — М.: Госстрой России, 2011.
17. Лутиков А. И., Донцова Г. Ю., Юнга С. Л. Сейсмологические аспекты землетрясения на Горном Алтае 27.09.2003, Ms = 7.3 (результаты предварительного анализа) // Вестн. отд-ния наук о Земле РАН: электронный науч.-информ. журн. — 2003. — № 1 (21).
18. Яковлев Д. В., Лазаревич Т. И. Техногенная сейсмичность Кузбасса / Горная геомеханика и маркшейдерское дело. — СПб.: ВНИМИ, 1999.
19. Лазаревич Т. И., Поляков А. Н. Горный мониторинг сейсмической и геодинамической безопасности Кузбасса / Горная геомеханика и маркшейдерское дело. — СПб.: ВНИМИ, 2009.
20. Екимов А. И., Цирель С. В. Особенности проявлений тектонической и сейсмической активности в Кузбассе // Зап. Горного института. — СПб., 2010. — Т. 188.
21. Цирель С. В., Беляева Л. И. Форма и наклон графиков повторяемости динамических событий как характеристики уровня опасности и соотношения естественной и техногенной составляющих геодинамического процесса // ГИАБ. — 2009. — № 11.
22. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Лескова Е. В. др. Наведенная сейсмичность в районе г. Полысаево (Кузбасс) / Землетрясения России в 2008 году. — Обнинск: ГС РАН, 2010.
23. Геологическая карта Кузнецкого бассейна и его горных обрамлений / масштаб 1:500000; ред. В. И. Яворский. — Л.: ВСЕГЕИ, 1961.
24. Геолого-промышленная карта Кузнецкого бассейна / масштаб 1:100000. — Новосибирск: СНИИГГиМС, 2000.
25. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Лескова Е. В. и др. Сейсмический мониторинг района г. Осинники (Кемеровская область) // Землетрясения в России в 2005 году. — Обнинск: ГС РАН, 2007.

Поступила в редакцию 23/IX 2013