

Изучение наведенной сейсмичности на юге Кузбасса в районе открытых и подземных горных работ

^{1,2}А.А. Еманов, ¹А.Ф. Еманов, ^{1,2}А.В. Фатеев, ¹Е.В. Шевкунова

¹Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск; ²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

Добыча угля в Кузбассе создает сильнейшее техногенное воздействие на земную кору и влечет за собой масштабный процесс развития наведенной сейсмичности в этом регионе [1–3].

Сформированная система мониторинга Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН [4] позволяет обнаруживать возникновение «сейсмических активизаций» (подразумевается увеличение количества сейсмических событий: землетрясений, техногенных землетрясений, горных ударов и др.) и увязывать их с горнодобывающими предприятиями фактически в режиме, близком к реальному времени (с задержкой 1–2 мин, необходимой для обработки). Для более глубокого понимания физики процессов около активизированных горных выработок разворачиваются дополнительные сети временных станций. Примеры таких исследований известны около г. Полысаево в 2007–2009 гг. [2], в районе крупнейшей активизации вблизи открытой выработки в районе Бачатского разреза в 2013–2016 гг. [3] и в других районах Кузбасса [5]. В табл. III.10 представлена информация о временных станциях, установленных в районе Калтанского угольного разреза.

**Таблица III.10. Сведения о сейсмических станциях АСФ ФИЦ ЕГС РАН
в районе Калтанского разреза в 2016–2017 гг.**

Код станции	Координаты и высота над уровнем моря			Период работы
	φ, °N	λ, °E	h, м	
KLT01	53.464	87.447	425	01.12.2016–28.03.2017
KLT02	53.427	87.372	514	с 30.11.2016
KLT03	53.407	87.395	341	01.12.2016–29.03.2017
KLT04	53.401	87.325	295	с 01.12.2016
KLT05	53.372	87.516	429	01.12.2016–29.03.2017
KLT06	53.428	87.404	383	14.02.2017–28.03.2017
KLT07	53.404	87.364	397	14.02.2017–28.03.2017
KLT08	53.393	87.483	531	15.02.2017–29.03.2017
KLT09	53.508	87.412	288	с 28.03.2017
KLT10	53.402	87.359	389	с 28.03.2017
KLT11	53.408	87.303	242	с 29.03.2017

Примечание: оборудование на всех станциях – СК-1П и Байкал АС-75.

Сейсмическая активизация в районе Калтанского угольного разреза в 2016 г.

Большая часть станций Кузбасса установлена совместно с угольными компаниями [6, 7] непосредственно вблизи открытых выработок и шахт (рис. III.24).

В Калтанском угольном разрезе, находящемся на юге Кемеровской области (рис. III.24), добыча угля проводится с 1957 года. В настоящий момент работа идет на двух полях: Осинниковском и Калтанском (рис. III.25). Среднегодовой объем добычи разрезов составляет около 3.5 млн т угля. В этом же районе ведется подземная добыча угля шахтой «Алардинская» со среднегодовым объемом добычи около 3.6 млн т угля.

В последнем квартале 2016 г. система мониторинга наведенной сейсмичности Кузбасса начала фиксировать усиливающуюся сейсмическую активность в районе Калтанского разреза, где произошла серия сейсмических событий, ощущавшихся в городах и поселках Кузбасса.

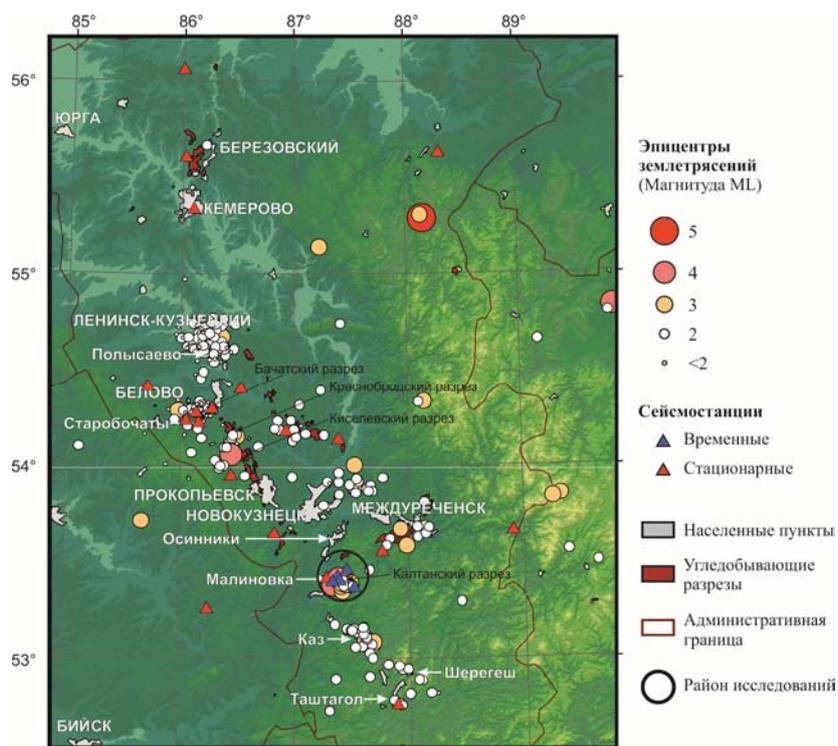


Рис. III.24. Положение сейсмических станций и эпицентров землетрясений в Кемеровской области по данным сети сейсмологического мониторинга Кузбасса в 2016 г.

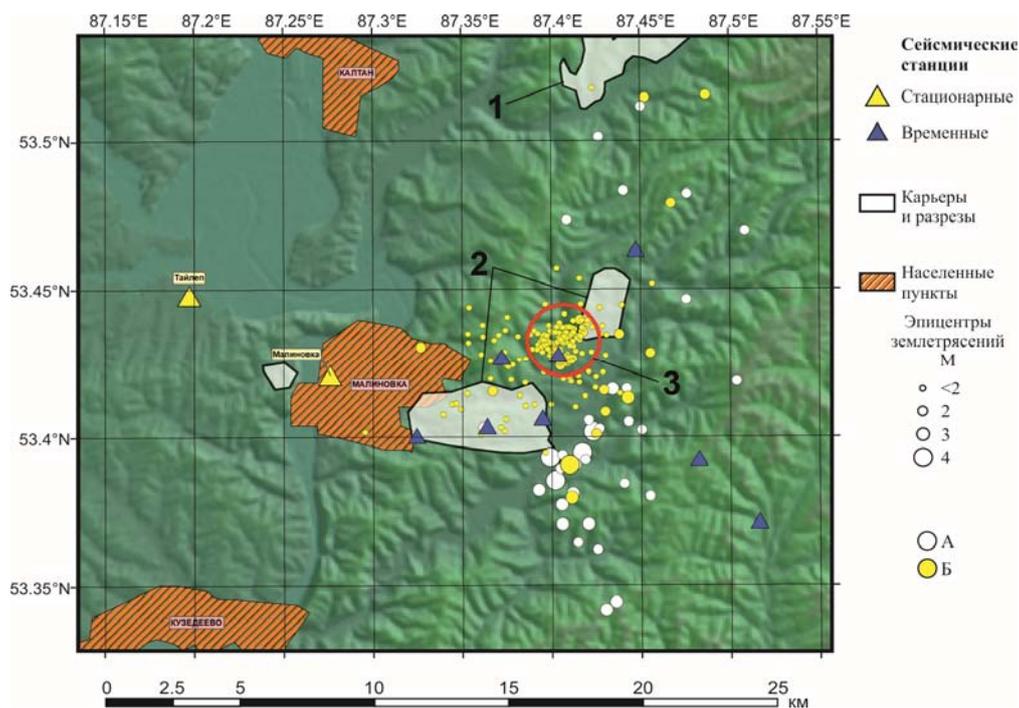


Рис. III.25. Район работ и карта землетрясений.

A – события, зафиксированные до расстановки временной сети; B – события в первые полтора месяца действия временной сети. Цифрами на карте обозначены: 1 – Калтанское поле Калтанского разреза; 2 – Осинниковское поле Калтанского разреза; 3 – район подземной добычи угля шахтой «Алардинская»

К декабрю 2016 г. в районе возникшей сейсмической активизации была выставлена сеть из пяти временных сейсмических станций. В феврале 2017 г. количество станций было увеличено до восьми (рис. III.25). С момента развертывания временной сети начала фиксироваться слабая сейсмичность в районе шахты «Алардинская», которая не была выявлена стационарной сетью. На текущий момент обработаны данные за четыре месяца наблюдений временной сетью с 01.12.2016 г. по 01.04.2017 г. (рис. III.25–III.28).

Каталог параметров зарегистрированных сейсмических событий приведен в [8, 9]. На рис. III.25 представлена карта эпицентров техногенных землетрясений. Землетрясения охватывают два участка Осинниковского поля Калтанского разреза и район находящейся между ними шахты «Алардинская». Сейсмический процесс протекает на площади с одновременным воздействием на недра как открытых горных выработок по добыче угля, так и шахт.

Взрывы подтверждены данными, полученными непосредственно от производителей горных работ. На рис. III.26 представлена информация о сейсмических событиях в районе экспериментальных работ с временной сетью станций.

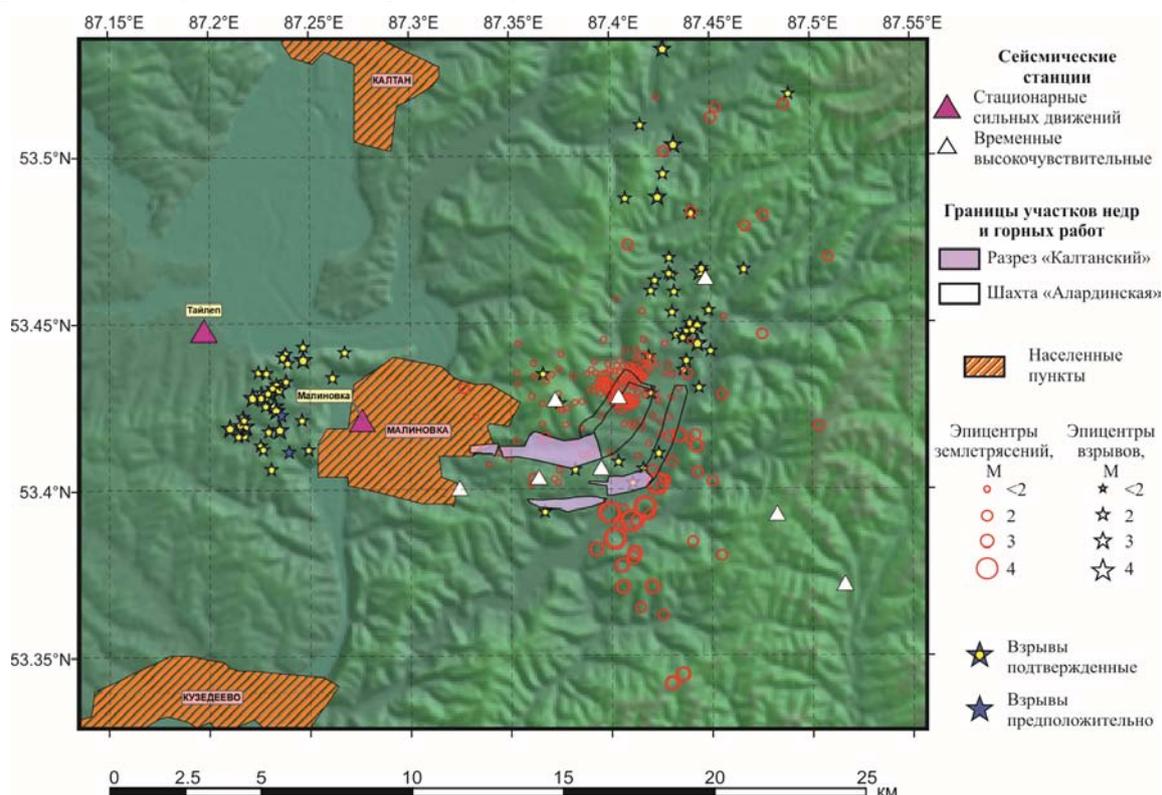


Рис. III.26. Карта эпицентров сейсмических событий с 01.01.2016 г. по 20.02.2017 г. в районе Калтанского разреза

В районе исследований на недра Кузнецкой впадины оказывают воздействие следующие факторы: шахта с механической добычей угля; изменение рельефа открытыми горными выработками, в т.ч. сами разрезы в виде углублений в рельефе и отвалы в виде искусственно насыпанных холмов; сейсмические воздействия от промвзрывов.

Можно видеть, что сейсмически активизированы площади, не совпадающие с местами ведения взрывных работ. В районе Калтанского угольного разреза выделяются две активизации техногенных землетрясений разного энергетического уровня. Одна сейсмическая активизация связана с открытыми горными работами. Активизирована площадь, охватывающая Осинниковское поле Калтанского угольного разреза (рис. III.26). Именно эти землетрясения вызвали ощутимые сотрясения на значительной площади. Самые сильные события происходили в одной локальной зоне отвалообразования южной части Осинниковского поля. Крупнейшие землетрясения происходят к югу от отвалов, где насыпные массивы высоки. Фактически мы имеем дело с последствием реакции недр на техногенное воздействие в виде перемещения горных масс.

Вторая сейсмическая активизация состоит из землетрясений с магнитудами (ML) менее двух. Все землетрясения данной активизации сосредоточены на локальном участке, соответствующем подземной добыче угля шахтой «Алардинская» (рис. III.25).

На рис. III.27 представлено развитие сейсмического процесса во времени. Как видно из рисунка, энергия промышленных взрывов составляет $1.5 < ML < 3.0$. Магнитуды ML техногенных землетрясений – от менее 0 до более 4. Слабые землетрясения с $ML < 1.5$ без привлечения дополнительных станций не регистрируются (рис. III.27). На рисунке хорошо видны периоды обработки данных стационарной системы мониторинга (01.10.2016 г. – 30.11.2016 г.), дополненные данными временных станций (с 01.12.2016 г.).

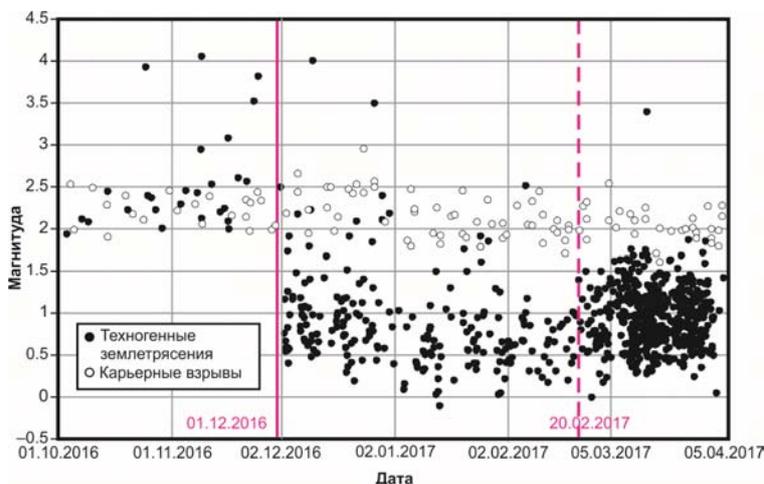


Рис. III.27. Развитие сейсмического процесса во времени.

Сплошная красная линия – момент начала работы временной сети станций; пунктирная красная линия – момент разделения данных для карт на рис. III.26 и рис. III.28

Большая часть относительно сильных землетрясений (с $ML \geq 3-4$) произошла в период с середины октября до конца декабря 2016 года. Региональной сетью сеймостанций зафиксировано шесть сейсмических событий с магнитудой $ML \geq 3.5$, три из которых – с $ML \sim 4$ (рис. III.25, III.26). Начиная с января 2017 г., наблюдается снижение сейсмической активности в районе Калтанского угольного разреза: за первые полгода 2017 г. стационарной сетью зафиксировано только одно землетрясение с $ML > 3$ (рис. III.27).

Следует отметить, что около подземных выработок не фиксируются землетрясения с $ML > 2$. Начиная с 20.02.2017 г., резко возросло число землетрясений малых энергий. На рис. III.28 представлена карта землетрясений для данного периода наблюдений.

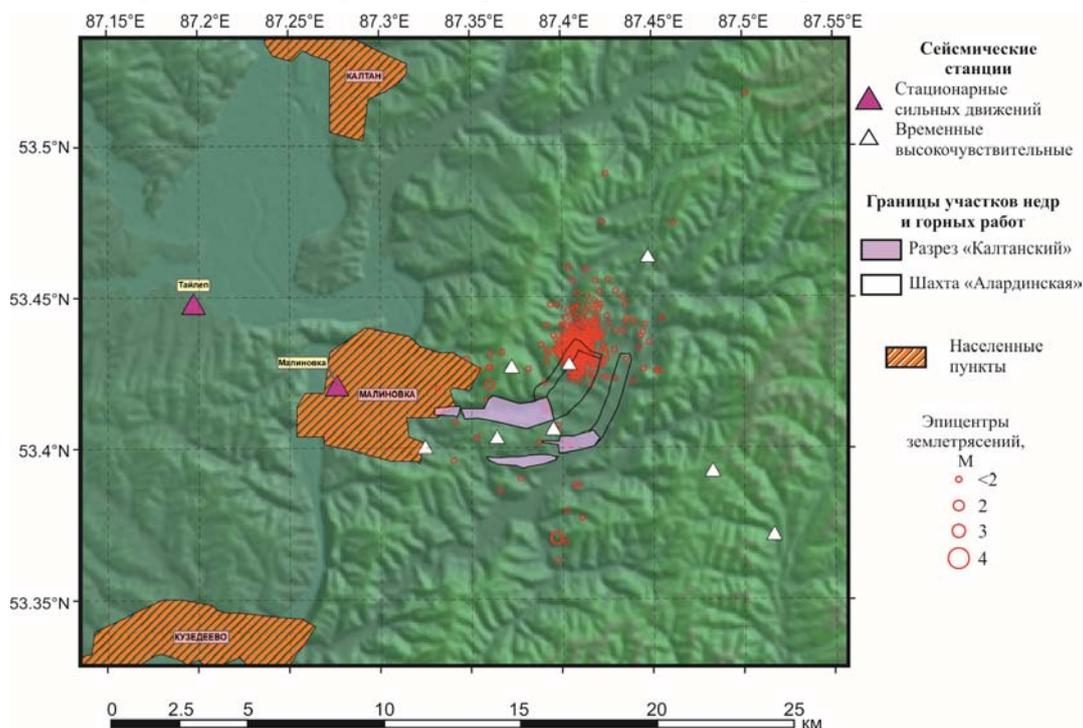


Рис. III.28. Карта эпицентров техногенных землетрясений в районе Калтанского угольного разреза с 20.02.2017 г. по 01.04.2017 г.

В рассматриваемый период времени сейсмическая активизация, связанная с открытыми горными выработками, в значительной мере ослабла, а техногенная сейсмическая активность около шахты «Алардинская» существенно усилилась.

Для наведенной сейсмичности шахт характерным является наличие суточной вариации числа событий. В часы профилактики оборудования техногенные землетрясения практически не происходят [5, 10]. На рис. III.29 можно видеть отсутствие четкой периодичности по часам суток в распределении землетрясений.

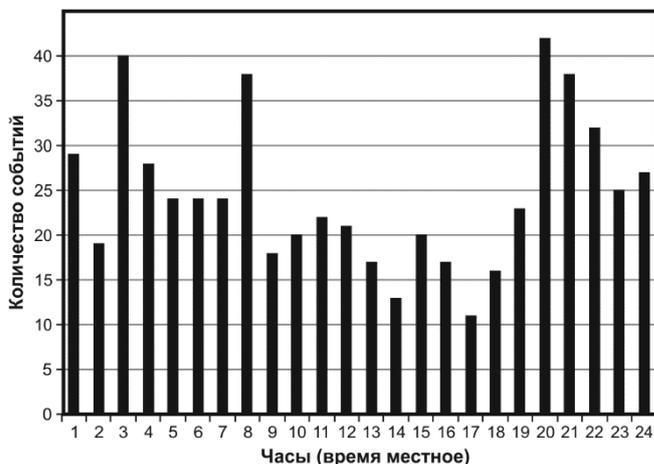


Рис. III.29. Распределение по времени суток техногенных землетрясений в районе шахты «Алардинская»

Попытки увязать данную сейсмическую активизацию с блоковой структурой и отдельными разломами не приводят к успеху. На сегодняшний день детальные эксперименты с временными сетями указывают на доминирование техногенной природы в формировании сейсмичности.

В целом в Алтае-Саянской горной области сейсмичность преимущественно приурочена к горным обрамлениям впадин [5]. Мощность осадков до 11 км [11] делает Кузнецкую котловину более прочным элементом земной коры при сжатии, чем раздробленные структуры Салаира и Кузнецкого Алатау. Формирование наведенной сейсмичности осуществляется в пределах осадочного слоя впадины и приурочено к горным выработкам. Еще один критерий – глубина техногенных землетрясений. На рис. III.30 представлены распределения по глубине для событий в районе шахты «Алардинская» и для событий около отвалов. И в том, и в другом случае землетрясения происходят на малых глубинах. Для шахты выделяются две преимущественные глубины – 1 и 2.5 км. Процесс наведенной сейсмичности в Кузбассе для шахт всегда характеризовался техногенными землетрясениями под выработками, но на глубинах в первые километры и в осадочной толще. В данном случае эта закономерность сохраняется.

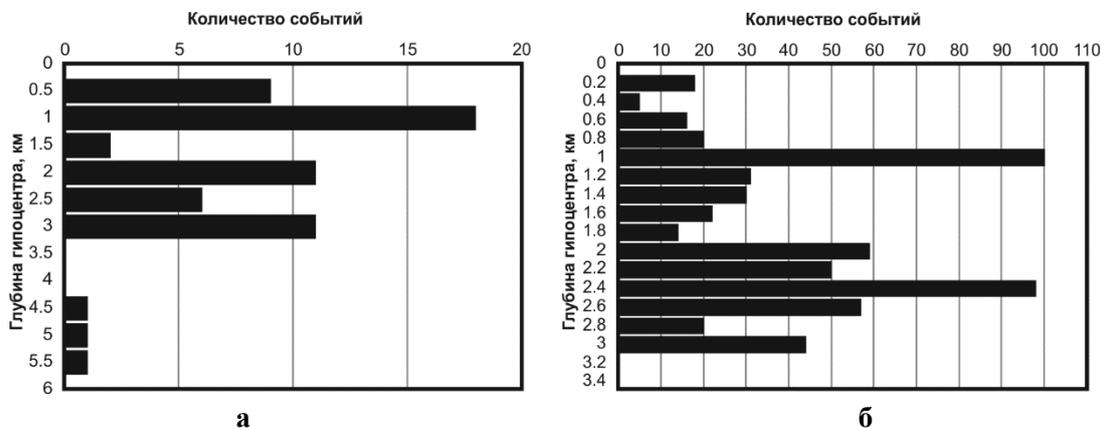


Рис. III.30. Диаграмма глубин гипоцентров в районе отвалов (а) и в районе шахты «Алардинская» (б)

Литература

1. Адушкин В.В. Триггерная сейсмичность Кузбасса // Триггерные эффекты в геосистемах. – М.: ГЕОС, 2015. – С. 8–28.
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Семин А.Ю. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12, № 1. – С. 37–43.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В. Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 г. в Кузбассе – сильнейшее в мире при добыче твердых полезных ископаемых // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – Т. 43, № 4. – С. 34–60.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г., Корабельщиков Д.Г., Чурашев С.А. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Алтай и Саяны // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 32–38.
5. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В. Экспериментальное исследование наведенной сейсмичности в Кузбассе // Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в области сильного техногенного воздействия / Отв. ред. Н.Н. Мельников. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – С. 426–459.
6. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Корабельщиков Д.Г., Дураченко А.В. Система мониторинга наведенной сейсмичности Кузбасса и триггерные эффекты в развитии сейсмического процесса // Триггерные эффекты в геосистемах. – М.: ГЕОС, 2015. – С. 190–199.
7. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Ситников В.В., Лескова Е.В., Корабельщиков Д.Г., Дураченко А.В. Основы системы сейсмологического мониторинга Кузбасса // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 249–254.
8. Part_IV-2016. 17_Kuzbass_2016.xls // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD-ROM.
9. Денисенко Г.А., Лескова Е.В., Манушина О.А., Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А., Шаталова А.О., Шевелева С.С., Шевкунова Е.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Район Калтанского угольного разреза, Кузбасс // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 182.
10. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. – М.: ИДГ РАН, 2015. – 364 с.
11. Крылов С.В., Мишенькин Б.П., Крупская Г.В., Петрик Г.В. Глубинные сейсмические исследования в районе Салаирского кряжа // Геология и геофизика. – 1971. – № 7. – С. 79–83.