

О РОЛИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В РАЗВИТИИ НАВЕДЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ОТ СОВМЕСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТКРЫТЫХ И ПОДЗЕМНЫХ РАБОТ ПО ДОБЫЧЕ УГЛЯ

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

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

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

По результатам мониторинга с временной сетью сейсмологических станций на юге Кузбасса в районе сейсмической активизации техногенной природы, сформировавшейся под одновременным воздействием открытых и подземных работ по добыче угля, детально изучается пространственная структура активизации, развитие её во времени и связь с тектоническими нарушениями. Сейсмическая активизация около подземных выработок отличается локальностью по площади, большим количеством землетрясений с магнитудами $M_I \leq 2$. Для трёх близко расположенных угольных разрезов наблюдается общая сейсмическая активизация, внутри которой, как локальная зона, находится активизация подземных выработок, характеризующаяся сильнейшими землетрясениями с M_I в интервале $3 \div 4$. Глубины очагов имеют двухмодальное распределение с максимумами в интервале $1 \div 1,5$ км и в интервале $2 \div 3$ км. Как в районе шахт, так и в районе открытых горных выработок сейсмически активизированы недра значительно более глубокие, чем выработки. Сейсмический процесс во времени не стационарный и пульсирующий.

Ключевые слова: землетрясение, наведённая сейсмичность, Кузбасс, сейсмический режим.

ABOUT THE ROLE OF TECTONIC DISORDERS IN THE DEVELOPMENT OF INSPECTED SEISMICITY FROM JOINT EXPOSURE TO OPEN AND UNDERGROUND WORKS ON THE PRODUCTION OF COAL

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

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

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

According to the results of monitoring with a temporary network of seismological stations in the south of Kuzbass in the area of seismic activation of technogenic nature, formed under the simultaneous influence of open and underground coal mining, the spatial structure of activation, its development in time and connection with tectonic disturbances are studied in detail. Seismic activation near underground workings is distinguished by locality in area, a large number of earthquakes with magnitudes $M_I \leq 2$. For three closely spaced coal mines, there is a general seismic activation, inside of which, as a local zone, there is the activation of underground workings, characterized by the strongest earthquakes with M_I in the range of $3 \div 4$. Depths of foci have a two-modal distribution with maxima in the range of $1 \div 1,5$ km and in the range of $2 \div 3$ km. Both in the area of mines and in the area of open mine workings, the subsoil is significantly deeper than the mine workings seismically activated. The seismic process in time is not stationary and pulsating.

Key words: earthquake, induced seismicity, Kuzbass, seismic regime.

В самой южной части Кузнецкого угольного бассейна в районе поселков Калтан и Малиновка в последнем квартале 2016 года проявила себя новая сейсмическая активизация [5, 6]. С конца октября до конца 2016 года произошло 6 землетрясений с магнитудой от 3,5 до 4. Эти сейсмические события ощущались в окружающих поселках.

Начальный этап исследований описан в работах [5, 6], а в этой статье представлено продолжение исследований с временной сетью станций, которая завершила свою работу только в конце 2018 года, когда в данном районе были созданы три стационарные станции, а весь 2017 год осуществлялся непрерывный мониторинг активизированной зоны. Нужно отметить, что существующая сейсмическая сеть позволяла к началу данной сейсмической активизации надежно фиксировать и лоцировать сейсмические события в этой зоне, начиная с магнитуды 2.

Непосредственно в районе активизации 1 декабря 2016 года началась установка временной сейсмической сети из 5 чувствительных велосиметрических станций. На станциях использовались датчики СК-1П с собственным периодом 1 секунда, предварительные усилители и регистраторы Байкал АС-75. Такая конфигурация оборудования имеет собственные шумы ниже модели низких собственных шумов Земли NLNM в полосе от 0,14 Гц до 10 Гц, что позволяет гарантированно регистрировать все сейсмические события, которые могут быть выделены на микросейсмическом фоне. В зимний период станции устанавлива-

лись на грунт под снег, после схода снежного покрова оборудование было перестановлено в грунт, полностью закопано. Все пункты наблюдения показаны на рис. 1.

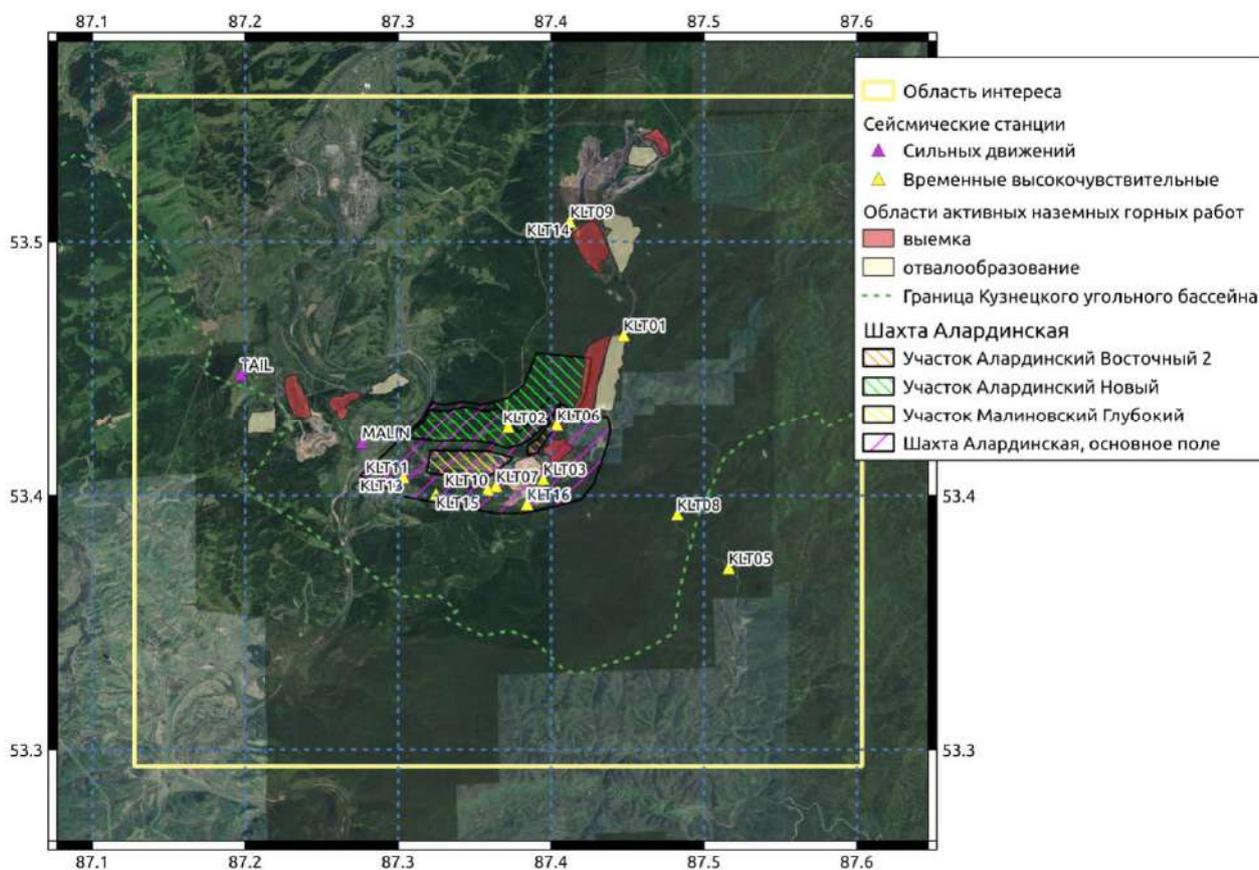


Рис. 1. Сейсмическая сеть в зоне активизации. Показаны районы активного ведения горных работ наземным способом и проекции на поверхность лицензионных участков шахты Алардинская

Обработка данных сейсмической сети выполнялась в пакете *seiscomp3* [9]. Для определения координат сейсмических событий использовался пакет *НУРО71* [10, 11]. При локации использовалась слоистая скоростная модель, полученная из скорости продольных волн с коэффициентом 1,73. Модель была составлена по данным ГСЗ в Кузнецкой котловине [7, 8]. Скорости в данной модели выше, чем в модели, используемой нами для обработки центральной части Кузнецкой котловины, это больше соответствует действительности для южной части.

Карта эпицентров сейсмических событий показана на рис. 2. Все сейсмические события были разделены на взрывы и землетрясения. Взрывы были разделены на достоверно известные и предполагаемые. В достоверно известные взрывы попали взрывы, информация о которых поступила от горнодобываю-

щих компаний и взрывы, от которых на временных сейсмических станциях наблюдалась инфразвуковая волна после сейсмического события. Каталог сейсмических событий, показанный на рис. 2, включает 899 карьерных взрывов и 1388 землетрясений за период с 2016-09-01 по 2018-09-01.

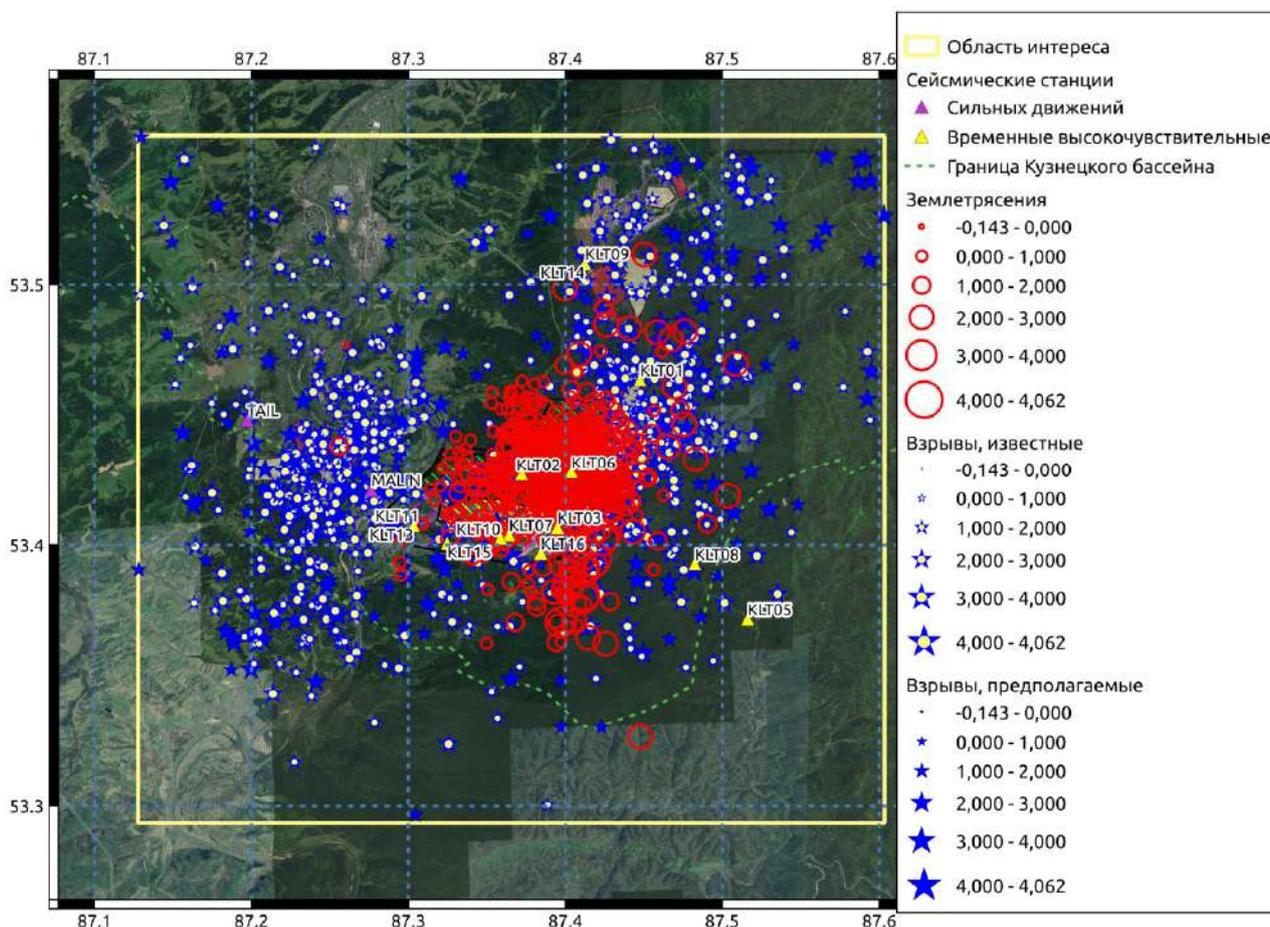


Рис. 2. Карта эпицентров сейсмических событий за период с 2016-09-01 по 2018-09-01

Точность локации взрывов хуже, чем точность локации землетрясений по нескольким причинам:

1. Взрывы проводятся на борту карьера, поэтому сейсмическая волна от взрыва к станциям, которые находятся с противоположной стороны, идет не напрямую, а огибает выработку, что приводит к задержкам на части станций.

2. Взрывы короткозамедленные, на далеких станциях не всегда виден взрыв первой ступени, тогда как на близких он виден.

Как следует из рис. 2, большинство взрывов подтверждено сообщениями горных предприятий. По количеству взрывы значительно превосходят землетрясения.

Для всех сейсмических событий, попадающих в указанную на рис. 2 область, построена временная развертка в зависимости от магнитуды события. Результирующий график показан на рис. 3.

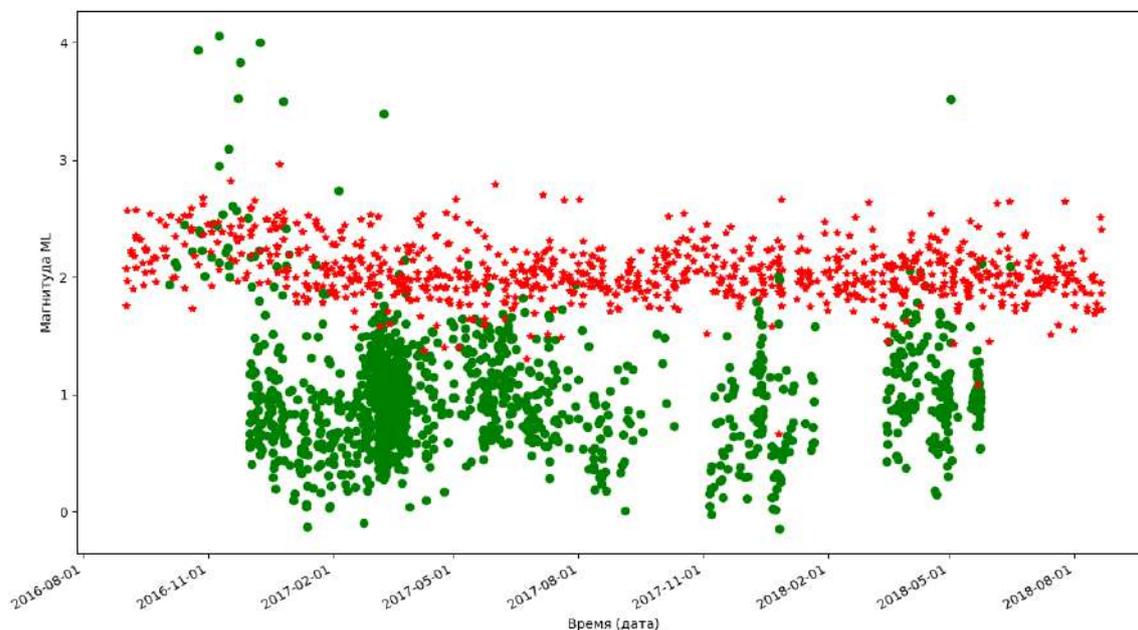


Рис. 3. Временная развертка сейсмического процесса в зоне активизации.

Красными точками показаны промышленные взрывы на карьерах, зелеными точками – землетрясения

Начало активизации с целым рядом землетрясений с магнитудой около 4. Сильные события с магнитудой в диапазоне 3-4 видны только в начале данной активизации, с ноября 2016 года по январь 2017 года, и затем два события с магнитудой больше 3 на протяжении всего периода наблюдений.

С начала работы временной сети появилась возможность регистрации сейсмических событий малых энергий, что очень четко видно на рис. 3. Хорошо выделяется большая группа событий малых энергий (магнитуда 0-2) в марте 2017 года, сейсмическая активизация, которую мы связываем с шахтой Алардинская. Можно отметить, что и в дальнейшем периодически возникают небольшие активизации, когда за небольшой промежуток времени происходит большое количество событий малых энергий, основное количество которых приурочено к шахте Алардинская.

Сейсмические активизации при одновременном воздействии на недра подземных и открытых горных выработок представляют особый интерес, как малоизученная тема. Мы зарегистрировали большое количество землетрясений в данной активизации, но следует отметить, что точность определения координат и, особенно глубин событий, не одинакова.

Нужно понимать, что для разных землетрясений число станций с хорошим соотношением сигнал/шум не одинаково, точность зависит от положения очага

относительно станций сети. Разобьем каталог землетрясений на два класса точности. Класс А. В этот класс попадут все события, которые удовлетворяют каждому из следующих условий: глубина сейсмического события не была фиксирована оператором, а вычислялась итерационно. Количество использованных фаз вступлений сейсмических волн не менее 12. Среднеквадратичная невязка RMS не более 0,5 секунды. Класс В. В этот класс попадают все землетрясения, не попавшие в класс А.

На рис. 4 показано распределение землетрясений по глубине для событий класса А. Видно двухмодальное распределение с первой модой менее 2 км глубины, и второй – более 2 и менее 3 км. Только отдельные единичные события имеют глубину более 3 км.

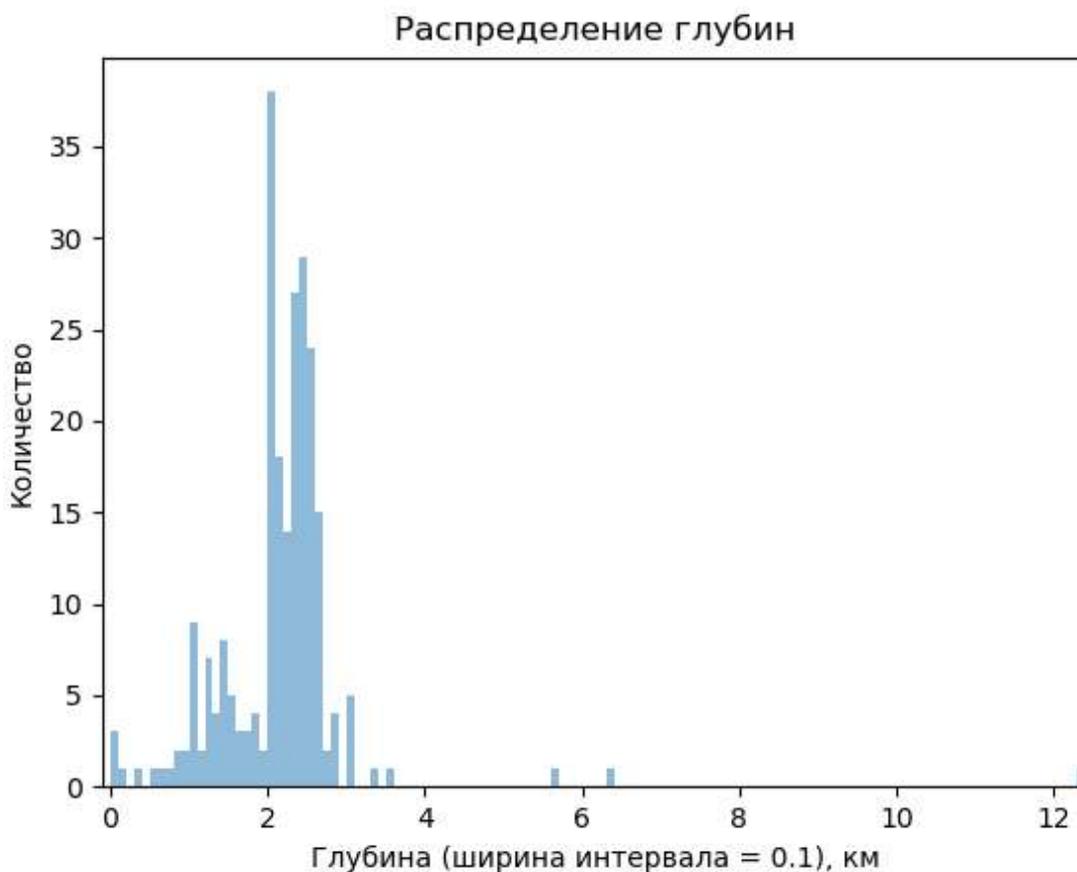


Рис. 4. Распределение землетрясений по глубине для событий класса А

Введенные классы точности также меняют и пространственную картину активизации на картах (рис. 5). Можно выделить несколько активизированных областей:

1. Активизация открытых горных выработок. К ней приурочены большинство землетрясений с магнитудой более 2. Нужно отметить, что область этой активизации вытянута и простирается с юга на север.

2. Активизация в районе шахты Алардинская. Здесь произошло большое количество слабых сейсмических событий.

3. В западной части активизации в землетрясениях с классом точности А выделяется две группы землетрясений: с восточной и западной границ участка Малиновский Глубокий шахты Алардинская. Этой активизации также соответствует землетрясения с магнитудами меньше 2.

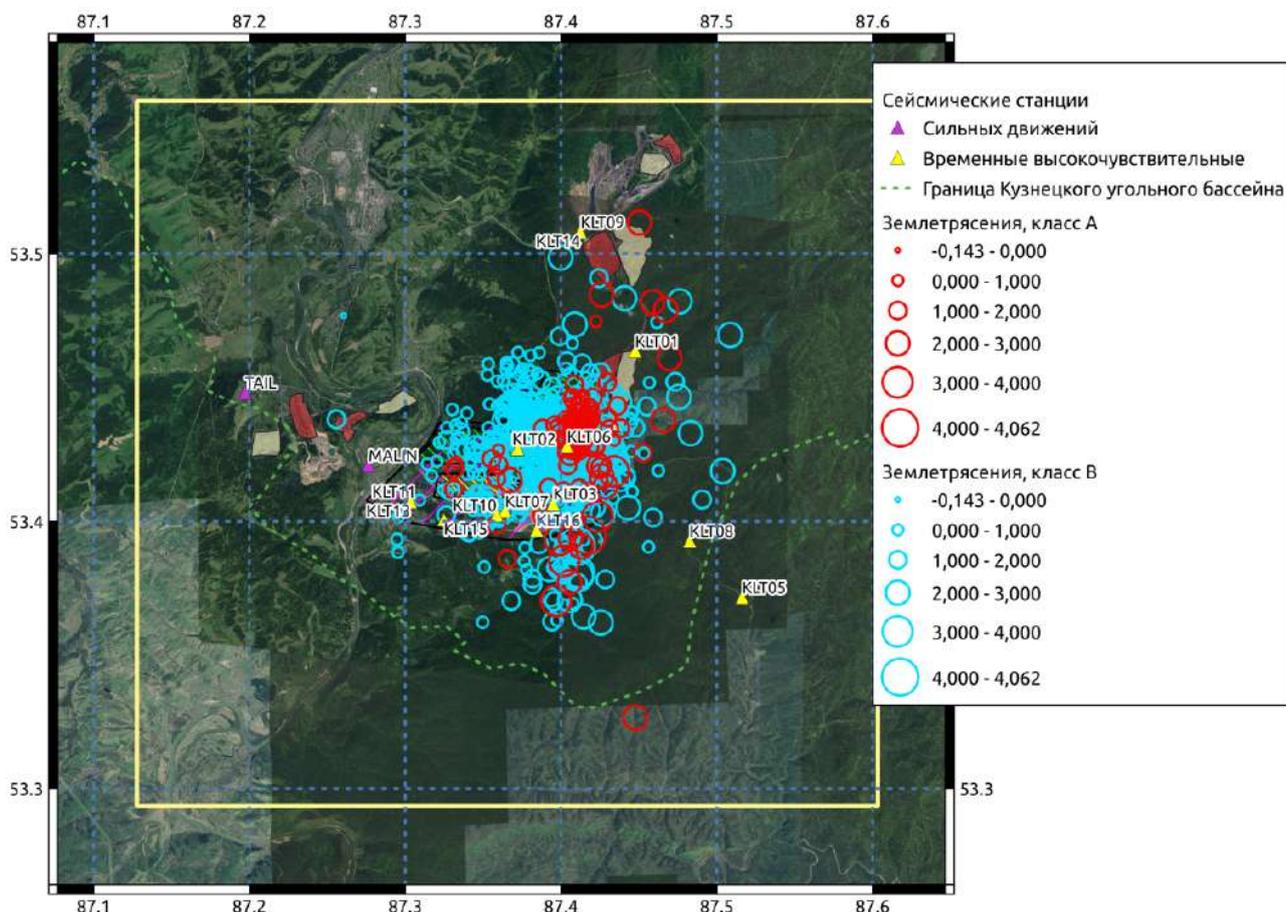


Рис. 5. Карта землетрясений, разделённых по классам точности.

Размер кружка показывает магнитуду, цвет — класс точности: красный — класс А, синий — класс В

Сейсмическим активизациям около шахт характерно проявлять себя в виде землетрясений, не превышающим магнитуду два [3], в то время как крупнейшие землетрясения около разрезов имеют магнитуды в интервале 4÷6 [4].

На рис. 6 нанесены сейсмические события, разбитые по классам точности, определения координат, вынесены зоны тектонического контакта, оцифрованные с двух листов Геологической карты СССР [1, 2]. Можно отметить, что сейсмические активизации как шахты Алардинская, так и открытых горных выработок находятся на продолжении линий достоверного тектонического контакта. Можно предположить, что в этих местах идет процесс распространения

движения по локальным разломным зонам, активизированный интенсивными горными работами на разрезах и шахтах.

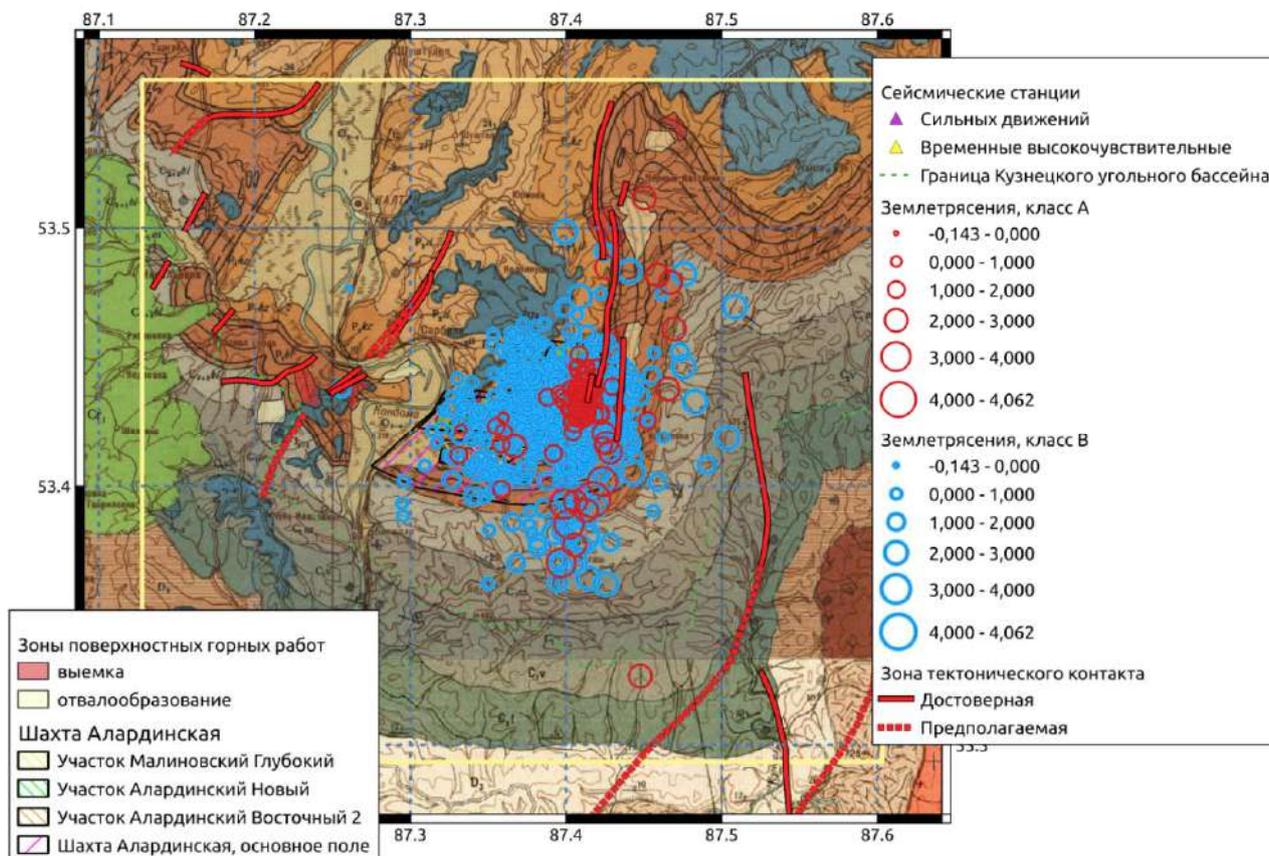


Рис. 6. Сопоставление карты эпицентров землетрясений с геологической картой (использована в качестве подложки) с известными линиями тектонического контакта

Заключение

Совместное техногенное воздействие открытых горных и подземных работ вызвало два вида сейсмических активизаций: активизация подземных выработок вложена в большую по пространству активизацию от разрезов. Сейсмический процесс является не стационарным и пульсирующим. Землетрясения с магнитудами выше 2 являются результатом воздействия открытых горных работ.

Глубины очагов имеют двухмодальное распределение с максимумами в интервале 1÷1,5 км и в интервале 2÷3 км. Как в районе шахт, так и в районе открытых горных выработок сейсмически активизированы недра значительно более глубокие, чем выработки.

Сейсмические активизации как шахт, так и открытых горных работ могут интерпретироваться, как реакция разломных зон на техногенное воздействие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геологическая карта СССР. Масштаб: 1:200 000. Серия Кузбасская. Лист N-45-XXII / Редактор П.Н. Васюхичев, составитель И.П. Максимов / Министерство геологии и охраны недр СССР. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1963.
2. Геологическая карта СССР. Масштаб: 1:200 000. Серия Кузбасская. Лист N-45-XXVIII / Редактор А.С. Мухин, составители: К.В. Радугин, А.И. Скоморохов, Б.А. Блюман / Министерство геологии СССР. – М.: Недра, 1966.
3. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Е.В. Лескова, А.В. Фатеев, А.Ю. Семин // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12. – № 1. – С. 37-43.
4. Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 г. в Кузбассе – сильнейшее в мире при добыче твердых полезных ископаемых / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – Т. 43. – № 4. – С. 34-60.
5. Одновременное воздействие открытых и подземных горных работ на недра и наведённая сейсмичность / А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2017. – Т.44. – №4. – С.51-62.
6. Изучение наведённой сейсмичности на юге Кузбасса в районе открытых и подземных горных работ/ А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Шевкунова // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 117-122.
7. Глубинные сейсмические исследования в Кузбассе с применением промышленных взрывов и аппаратуры «Тайга» / С.В. Крылов, Г.В. Егоров, Л.В. Дубовик, А.И. Бочанов // Глубинные сейсмические исследования в Западной Сибири. М. Наука. – 1970. – С. 114-123.
8. Глубинные сейсмические исследования в районе Салаирского кряжа / С.В. Крылов, Б.П. Мишенькин, Г.В. Крупская, Г.В. Петрик // Геология и геофизика. – 1971. – № 7. – С. 114-123.
9. Real-time earthquake monitoring for tsunami warning in the Indian Ocean and beyond / W. Hanka, J. Saul, B. Weber, J. Becker, P. Harjadi, Fauzi, GITEWS Seismology Group // Natural Hazards Earth System Science – 2010. – Sci. 10. – S. 2611 – 2622.
10. Lee W.H.K., Lahr J.C. HYPO71 (revised): a computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes // USGS Open File Report. – 1975. – Ser. 75-311. – S. 1-116.
11. Lee W.H.K., Lahr J.C., Valdes C.M. The HYPO71 Earthquake Location Program // International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology. – 2003. – Vol. 81. – P. 1641–1642.

© А. А. Еманов, А. Ф. Еманов, А. В. Фатеев, 2019