

### III.2.2. Экспериментальные исследования триггерных эффектов в развитии наведенной сейсмичности в Кузбассе

*А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев,  
Е.В. Лескова, Е.В. Шевкунова, О.А. Манушина,  
А.А. Демидова, У.И. Ворона, А.С. Смоглюк*

Эпизодические эксперименты (от одного до нескольких месяцев) с временными сетями сейсмологических станций по изучению наведенной сейсмичности в районе г. Полысаево проводятся ежегодно с 2007 г. [Еманов и др., 2009, 2010]. Предыдущими работами было обнаружено существование наведенной сейсмичности двух типов: наведенная сейсмичность, пространственно существующая отдельно от горных выработок; наведенная сейсмичность под выработками и смещающаяся в пространстве с перемещением забоя лавы.

В 2009 г. на той же территории, что и в предыдущих экспериментах, на дневной поверхности было установлено 22 сейсмические станции «Байкал АС-75» и в угледобывающих шахтах 12 сейсмических станций «Байкал АС-65» [Семибаламут и др., 2003]. Период регистрации – с 29 октября 2009 г. по 12 мая 2010 года.

В задачи исследований 2009 г. входило исследование пространственных изменений в активизированной области со временем и изучение воздействий вибрации и волн от промышленных взрывов на техногенную сейсмичность. В табл. III.10, III.11 и на рис. III.21 представлены данные о сети станций на дневной поверхности и в работающих выработках. За время проведенных экспериментов происходили постоянные изменения в горных работах, что приводило к изменению наведенной сейсмичности.

**Таблица III.10. Регистрирующие станции на дневной поверхности**

№	Код станции	Координаты и высота над уровнем моря			Место установки	Период работы	
		φ, °N	λ, °E	h, м		начало	конец
1	PL181	54.57382	86.2543	213	АБК шахты «Октябрьская»	29.10.2009	12.05.2010
2	PL183	54.57934	86.26264	209	ул. Проходчиков, 55	29.10.2009	01.11.2009
3	PL184	54.57511	86.26834	244	ул. Дежнева, 21	04.11.2009	02.03.2010
4	PL185	54.55823	86.31706	243	ул. Кленовая, 13	10.11.2009	02.03.2010
5	PL187	54.59537	86.274	265	ул. Кольская, 4а	04.11.2009	02.03.2010
6	PL188	54.59996	86.23793	195	ул. Логовая, 19	04.11.2009	11.05.2010
7	PL189	54.52724	86.29109	194	п. Красногорский, ул. Революционная, 46	14.11.2009	30.04.2010
8	PL190	54.58604	86.31011	230	ул. Энтузиастов, 1	10.11.2009	14.04.2010
9	PL194	54.57754	86.25253	193	ул. Третьякова, 2	29.10.2009	09.03.2010
10	PL200	54.57655	86.3621	193	пос. Мохово, ул. Беловская, 11	04.11.2009	02.03.2010
11	PL201	54.54647	86.28574	241	АБК шахты «Сибирская»	10.11.2009	03.05.2010
12	PL202	54.56359	86.24436	176	Очистные сооружения ш. «Октябрьская»	09.11.2009	13.04.2010
13	PL203	54.57842	86.24612	193	ул. Лескова, 1	09.11.2009	08.05.2010
14	PL204	54.58403	86.2401	191	ул. Дальняя, 13	04.11.2009	05.05.2010
15	PL208	54.57428	86.21835	165	Электроподстанция «Заречная»	29.10.2009	12.05.2010
16	PL210	54.58205	86.24195	190	ул. Дальняя, 29	29.10.2009	04.11.2009
17	PL211	54.59405	86.29834	238	ул. Русская, 3а	14.11.2009	17.11.2009
18	PL221	54.59696	86.29202	242	Управление ГО и ЧС	29.10.2009	02.05.2010

№	Код станции	Координаты и высота над уровнем моря			Место установки	Период работы	
		φ, °N	λ, °E	h, м		начало	конец
19	PL222	54.57361	86.26421	232	ул. Междуреченская, 15	29.10.2009	13.04.2010
20	PL223	54.5749	86.26424	231	ул. Демократическая, 2а	29.10.2009	01.11.2009
21	PL224	54.62347	86.19621	208	АБК шахты «7 ноября»	20.11.2009	22.12.2009
22	PL225	54.5957	86.18744	214	юго-западный ствол шахты «7 ноября»	22.12.2009	05.05.2010

Таблица III.11. Регистраторы в действующих угледобывающих шахтах

№	Код станции	Координаты и высота над уровнем моря			Место установки (шахта, пласт)	Период работы	
		φ, °N	λ, °E	h, м		начало	конец
1	PL301	54.57796	86.25865	-243	Польсаевская, Толмачевский	11.11.2009	22.12.2009
2	PL302	54.558	86.26416	-113	Октябрьская, Надбайкаимский	24.11.2009	19.12.2009
3	PL303	54.6347	86.11378	-250	им. С.М. Кирова, Поленовский	12.11.2009	19.12.2009
4	PL304	54.59338	86.2172	-15	им. 7 ноября, Надбайкаимский	12.11.2009	21.12.2009
5	PL305	54.60484	86.17461	-162	Комсомолец, Бреевский	12.11.2009	14.12.2009
6	PL306	54.56806	86.20861	-185	Заречная, Байкаимский	12.11.2009	22.12.2009
7	PL310	54.56446	86.26315	-15	Октябрьская, Надбайкаимский	11.11.2009	21.12.2009
8	PL311	54.5827	86.22143	-282	Польсаевская, Бреевский	11.11.2009	19.12.2009
9	PL312	54.62303	86.19956	-105	Комсомолец, Емельяновский	12.11.2009	19.12.2009
10	PL313	54.56361	86.20861	-109	Заречная, Надбайкаимский	12.11.2009	22.12.2009
11	PL314	54.60576	86.17862	23	им. 7 ноября, Надбайкаимский	12.11.2009	18.12.2009
12	PL315	54.63138	86.12925	-180	им. С.М. Кирова, Болдыревский	12.11.2009	21.12.2009

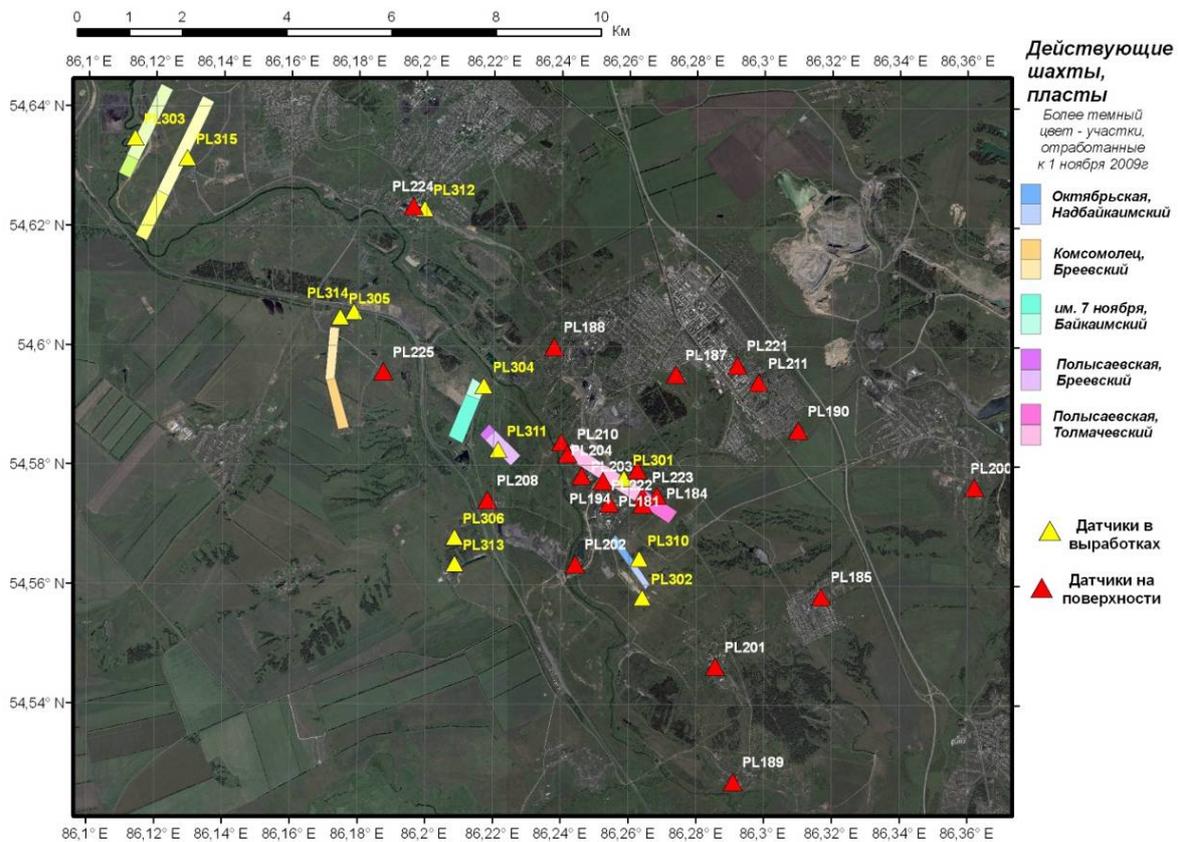
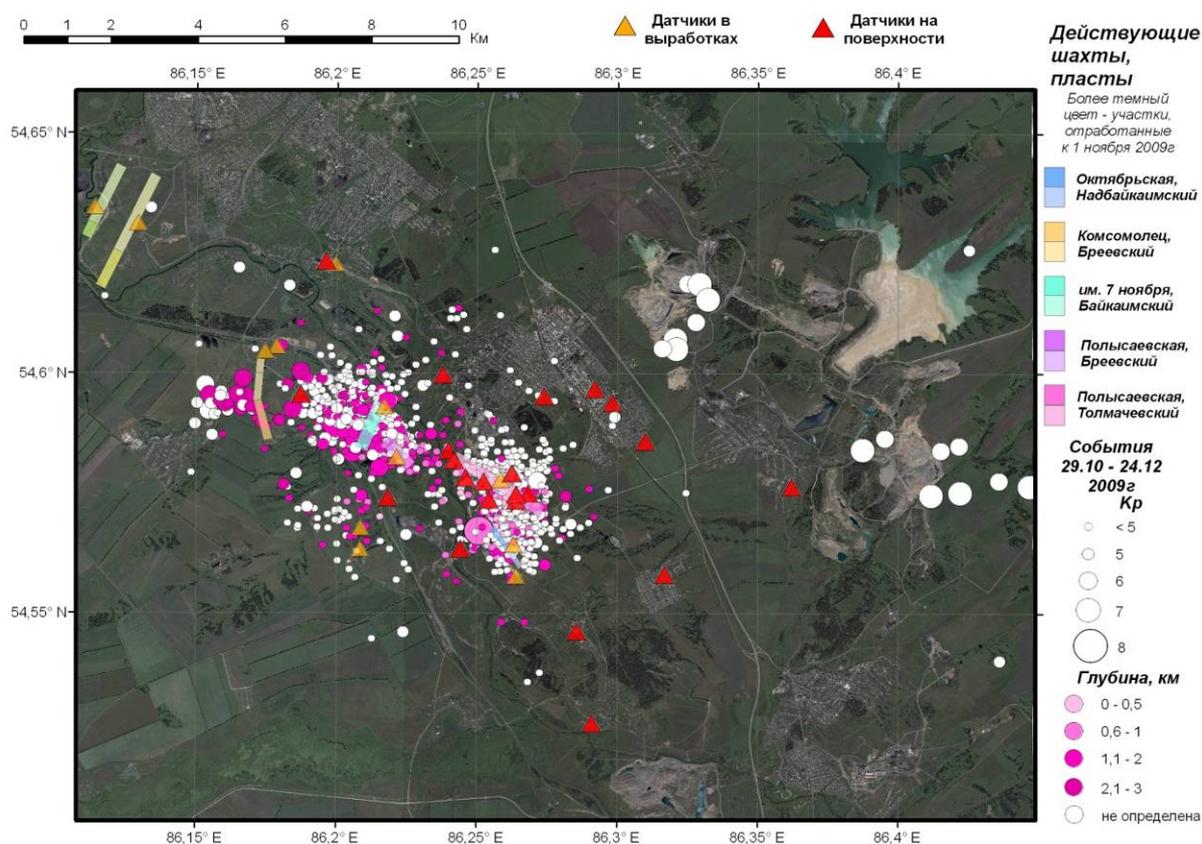


Рис. III.21. Сейсмическая сеть и выработки с действующими лавами

На рис. III.22 представлена карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных в рассмотренном эксперименте. Крупные события в правой части карты – это промышленные взрывы за рассматриваемый период. В каталог внесены параметры 1586 землетрясений с  $M \geq -1.6$  за ноябрь–декабрь 2009 г. (см. раздел V на CD-ROM), в т.ч. в печатном варианте каталога – 90 землетрясений с  $M \geq 0.5$  (см. раздел V.17).



**Рис. III.22. Карта эпицентров техногенных событий в районе г. Польшаево с 29 октября по 31 декабря 2009 г.**

В сравнении с экспериментами предыдущих лет [Еманов и др., 2009, 2010], видны изменения в активизированных областях. В 2009 г. основное внимание было уделено исследованиям природы формирования техногенной сейсмичности при добыче угля в Кузбассе, и прежде всего триггерным эффектам в ее инициировании.

Выделяются сейсмически активизированные структуры, рядом с которыми расположены карьеры, где проводятся массовые взрывы с зарядами в десятки и сотни тонн взрывчатых веществ. Здесь же работают мощные лавы по добыче угля с сильным вибрационным воздействием на среду. Использование наведенной сейсмичности как объекта для воздействия на активизированную область со стороны обосновано и рассмотрено в работе [Мирзоев и др., 2009], а также было изучено инициирование сейсмичности при воздействии на среду в виде закачивания воды [Соболев и др., 2010]. Данную работу можно рассматривать как развитие упомянутых исследований.

Материалы по изучению техногенной сейсмичности в Кузбассе данного и других экспериментов рассматриваются для нахождения ответов на следующие вопросы:

- 1) какими общими чертами и различиями обладают техногенные активизации, изученные в некоторых районах Кузбасса?
- 2) какие техногенные процессы вызывают активизацию геологической среды?
- 3) можно ли воздействовать на активизированную область со стороны с целью изменения ее сейсмического режима?

В ответ на первый вопрос можно сказать следующее.

1). В осадочном бассейне Кузнецкой впадины обнаружены и изучены два типа наведенной сейсмичности – техногенные активизации, связанные напрямую с добычей угля лавами, и наведенная сейсмичность, пространственно не увязанная с работающими горными выработками.

2). Наведенная сейсмичность, не имеющая прямой связи с горными выработками, зафиксирована трижды – около городов Осинники, Ленинск-Кузнецкий и в районе шахты «Распадская». В последнем случае регистрация проводилась после аварии, когда не велась добыча угля. Мы регистрируем роевую сейсмичность, приуроченную по площади к участку размерами в диаметре в первые километры. Сейсмические события происходят на глубинах 1–5 км. В активизированных зонах происходит от единиц до десятков землетрясений в день. Периодические мониторинговые наблюдения показали, что роевая сейсмичность со временем меняет свое пространственное положение.

3). Обнаружен и исследован целый ряд техногенных активизаций, приуроченных к лавам около Полысаево (Толмачёвская, Полысаевская, Надбайкаимская, Байкаимская и др.), а также около Кемерово (шахта «Березовская»). Установлено, что сейсмический процесс смещается в пространстве вместе с выработкой. Основная масса событий происходит под выработкой, достигая глубин на 1–1.5 км ниже выработки. Механизмы очагов сейсмических событий – преимущественно взбросы. Максимальная интенсивность процесса – до двух с половиной десятков землетрясений в день около выработки.

По второму вопросу можно заключить, что земные недра в районах добычи угля находятся под следующими видами воздействия: выкачивание флюидов из горных выработок; работа комбайнов в лавах (вибрация); сейсмические волны от промышленных взрывов.

Горные выработки при добыче угля имеют размеры существенно меньше сейсмически активизированных областей снизу от них. Весьма вероятно, что в изменении напряженного состояния горных пород вокруг выработок на удаления в километр и более достигается именно из-за выкачивания флюида, но только выкачивания флюида недостаточно для формирования сейсмической активизации. Об этом свидетельствуют эксперименты на шахтах около г. Анжеро-Судженск и на шахте «Первомайская». Здесь есть воздействие на недра в виде откачивания флюида, но нет добычи угля лавами, и мы не обнаруживаем сейсмических активизаций.

Исследование роли вибрации и сейсмических воздействий от промышленных взрывов на наведенную сейсмичность выполнено в экспериментальных работах около Полысаево в 2009 году. На рис. III.23 представлены данные о техногенных землетрясениях, зарегистрированных локальной сетью около Полысаево в период с 4 ноября по 4 декабря 2009 года. По горизонтальной оси отложено время в днях, по вертикальной оси – энергетический класс событий. С 13 по 18 ноября работа всех лав в рассматриваемом районе была приостановлена. Фактор мощного вибрационного воздействия на недра отсутствовал.

На рис. III.23 отчетливо виден интервал, когда не работали лавы. Сейсмический режим активизированного района изменился значительно. Количество сейсмических событий уменьшилось в разы. Карьер «Моховский» находится на удалении около 6 км от активизированной зоны. Промышленные взрывы оказывают кратковременное интенсивное воздействие на область наведенной сейсмичности. В данный период производились взрывы с энергетическим классом 4÷5. Заметного изменения сейсмического режима активизированной области под действием промышленных взрывов мы не наблюдаем.

Для ответа на третий вопрос проведен анализ сейсмичности отдельных активизаций (рис. III.24). В зоне 2 работали две лавы, а в остальных – по одной, причем в зоне 2 забои двух лав так близко расположены, что сейсмически активизированная область сливается в одну.

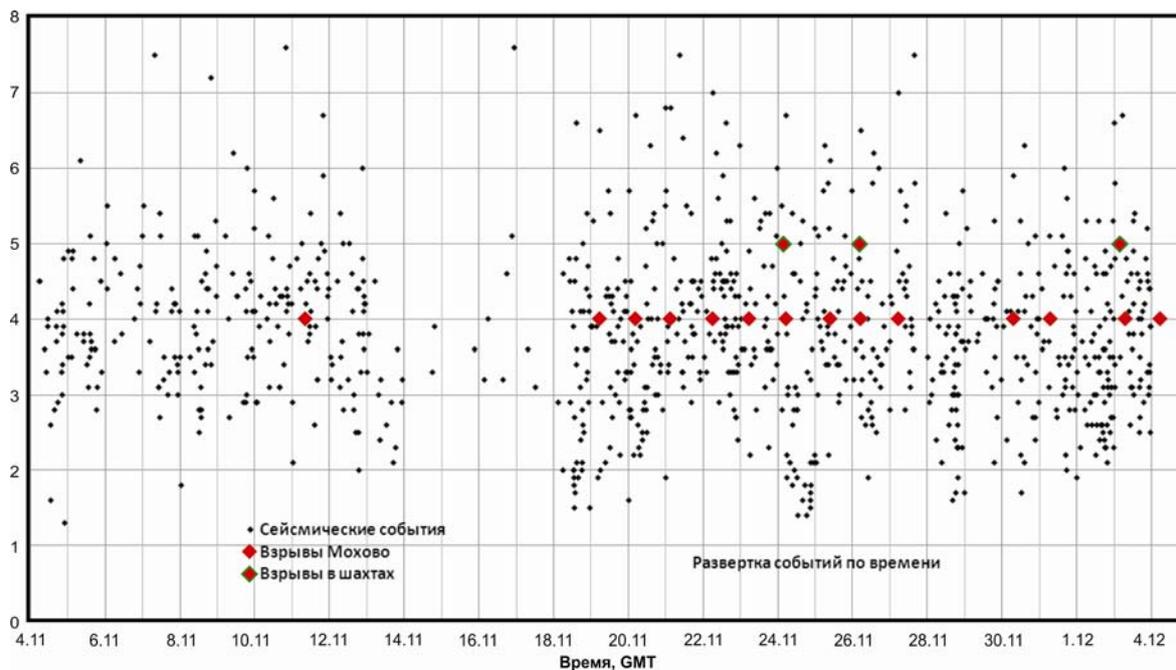


Рис. III.23. Развитие наведенной сейсмичности во времени около Полысаево

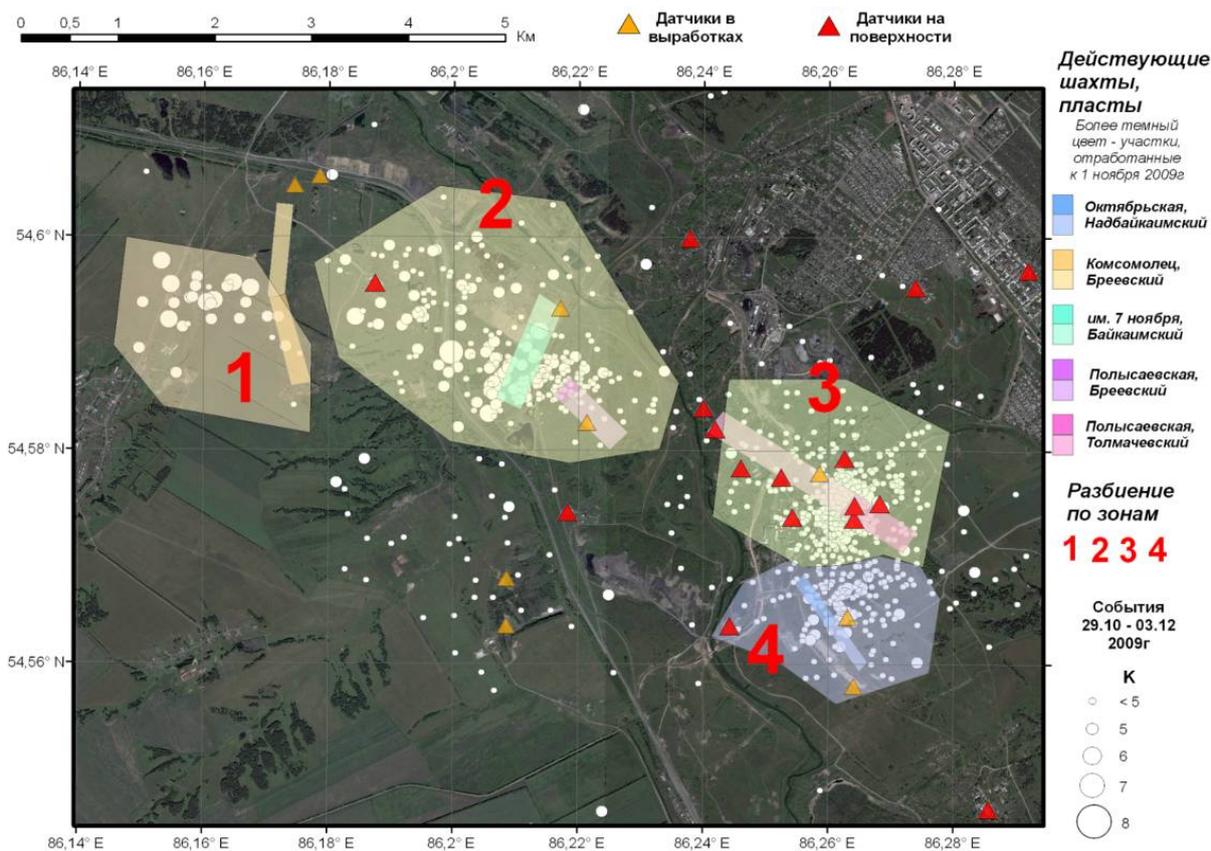


Рис. III.24. Разделение активизированного района на зоны

На рис. III.25 представлено развитие во времени сейсмического режима каждой выделенной зоны. Остановка работы лав проявилась в изменении сейсмического режима каждой из выделенных зон без исключения.

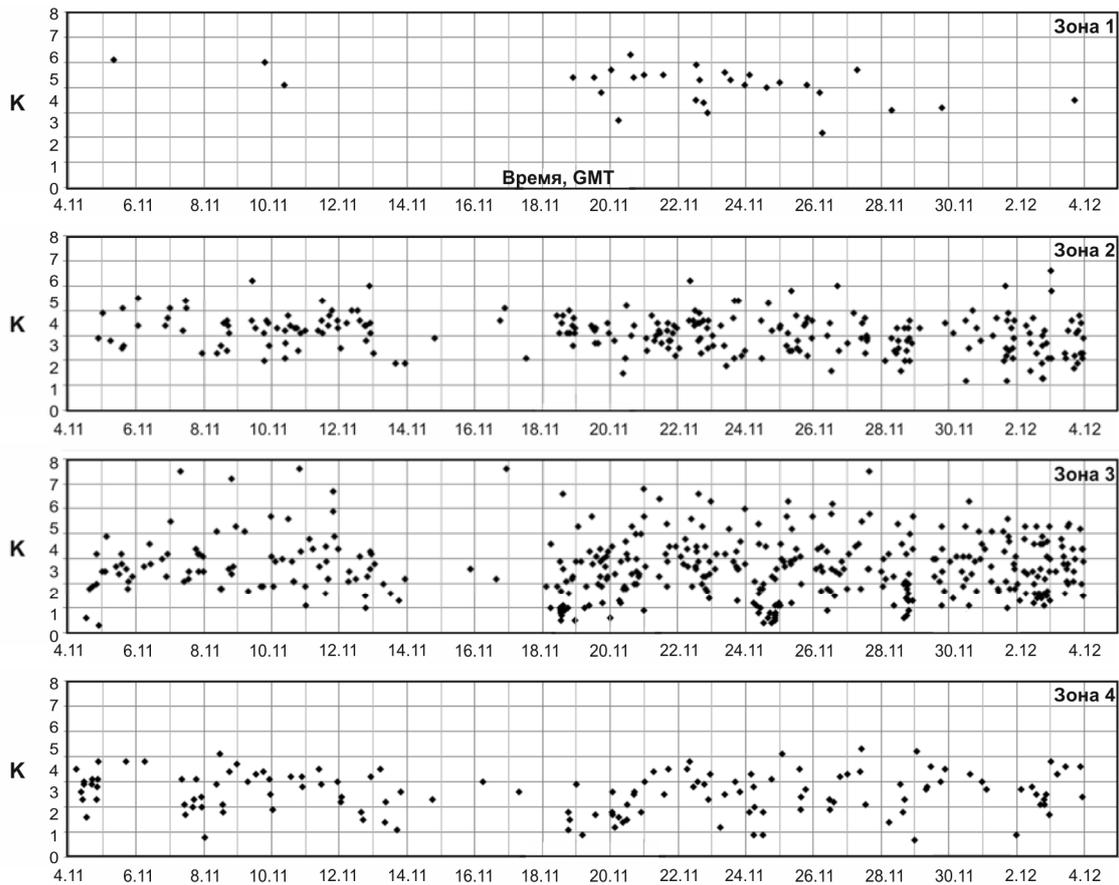


Рис. III.25. Развитие во времени наведенной сейсмичности по зонам (на рис. III.24)

Обращает на себя внимание, что выключение вибрации практически мгновенно изменяет режим развития наведенной сейсмичности и также быстро он восстанавливается при возобновлении добычи угля лавами.

Данный эксперимент единственный. Большая удача, когда работающая локальная сеть станций фиксирует активизацию и по инициативе властей временно приостанавливается работа всех добывающих предприятий.

Описанный эксперимент повторить непросто, но есть возможность проверить обнаруженный эффект влияния вибрации на развитие техногенной сейсмичности. В режиме добычи угля существуют ежедневные технологические смены для профилактического обслуживания оборудования. Ежедневно с 8 до 14 часов добыча угля лавами не ведется. В этот период мы имеем перерыв в вибрационном воздействии на недра. Поскольку остановка и запуск добычи в рассмотренном ранее эксперименте довольно быстро изменяла сейсмический режим, то присутствие технологической смены тоже должно проявляться в развитии техногенной сейсмичности. Для доказательства влияния вибрации на техногенную сейсмичность применим интегральный подход. Поскольку технологическая смена работает в одни и те же часы каждый день, то оценим распределение техногенных землетрясений по времени суток.

На рис. III.26 представлены гистограммы распределения числа событий по времени суток для двух экспериментов в районе Польшаево, проведенных с разницей в год. В обоих случаях во время технологической смены количество событий резко уменьшено. Гистограммы рассчитаны за месячный период, что дает вполне представительное усреднение результата.

На рис. III.27 представлена гистограмма, аналогичная рассмотренным ранее, но для добычи угля в совсем ином районе на севере Кузбасса (шахта «Берёзовская»). Пониженное число событий фиксируется вновь во время технологической смены.

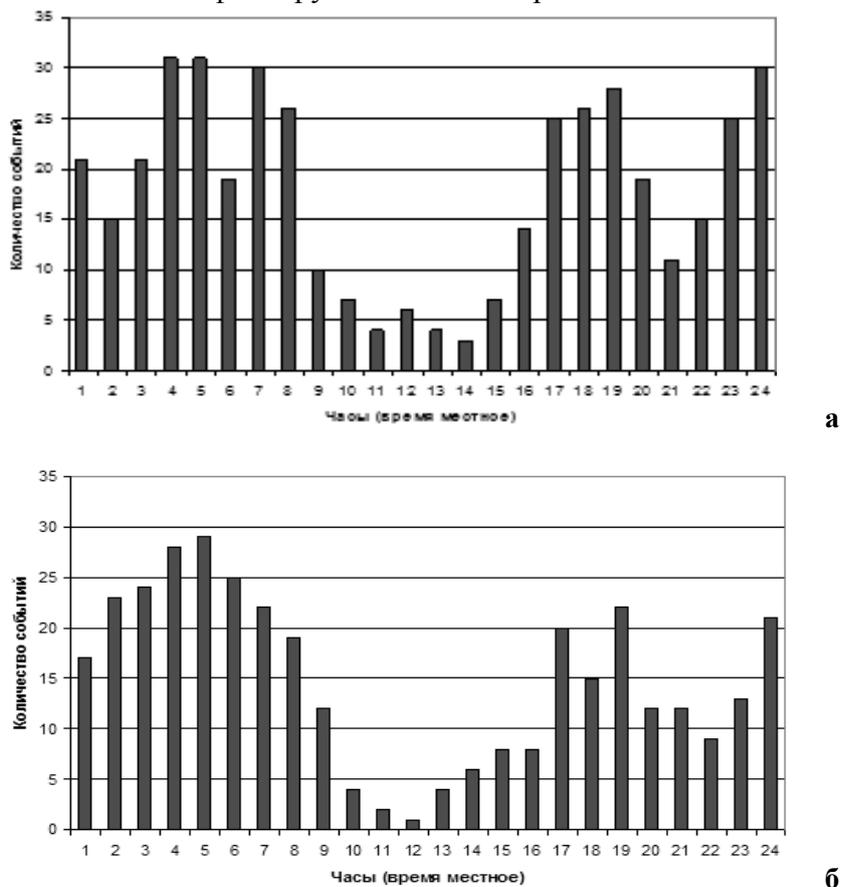


Рис. III.26. Гистограммы распределения числа событий по времени суток для двух экспериментов в районе Полысаево: а – июнь 2007 г.; б – июнь 2008 г.

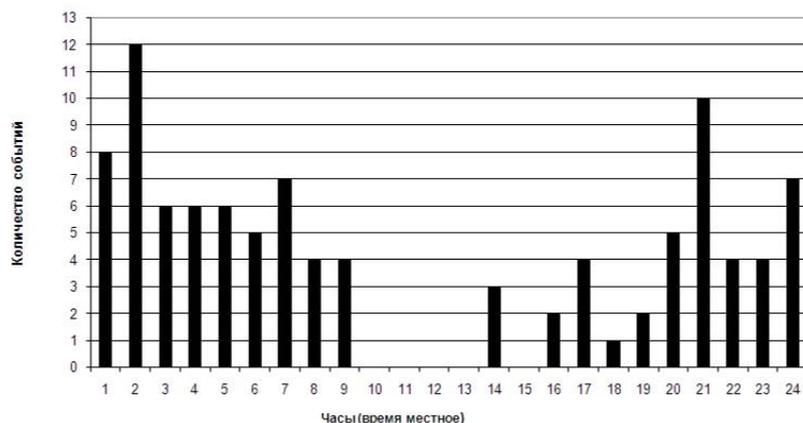


Рис. III.27. Распределение событий по времени суток для шахты «Берёзовская»

На гистограмме для шахты «Распадская» (рис. III.28) наблюдается активизированная область в зоне аварии, где добычи в настоящий момент не ведется вообще. Гистограмма не имеет характерного провала на время технологической смены. Такой смены в этой зоне просто нет. В зоне 3 так же нет характерного провала, так как в ней не ведется добыча угля. В зоне 2 есть небольшое ослабление техногенной сейсмично-

сти с 9 до 13 часов. В этой зоне имеются горные выработки, информации о работе лав около которых нет. Судя по гистограмме, добыча угля в зоне 2 ведется.

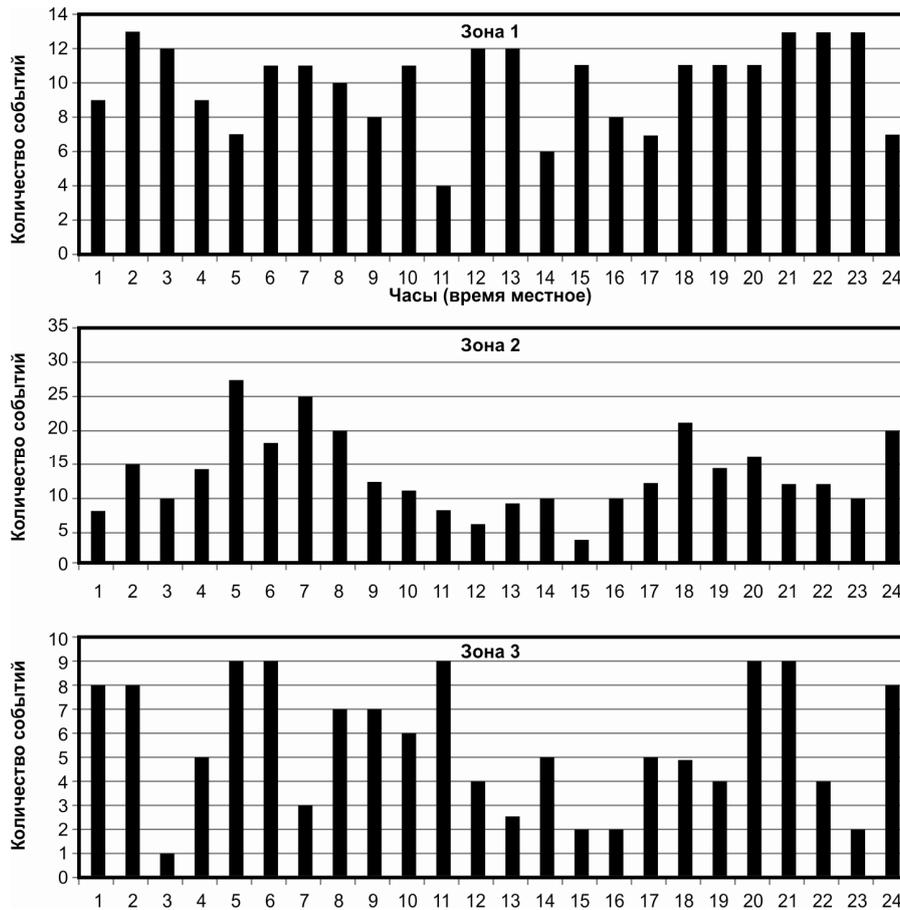
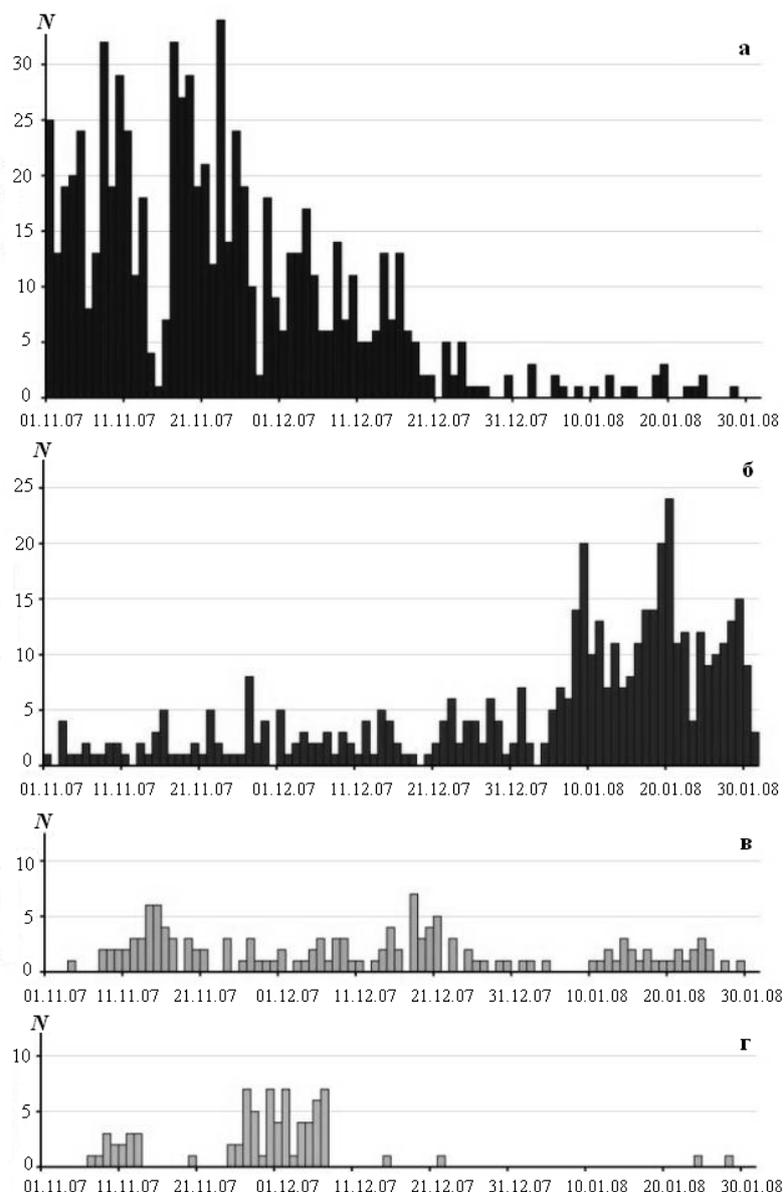


Рис. III.28. Распределение событий по времени суток для шахты «Распадская»

Мы привели два варианта доказательства влияния сильной вибрации на режим развития техногенной сейсмичности и в обоих случаях получили, что вибрационное воздействие значимо изменяет сейсмический режим активизированной зоны.

Сейсмические активизации вблизи шахт явно связаны с многими опасными явлениями. Возможность управлять сейсмической активностью таких зон – это новый уровень безопасности добычи угля. Сложность такого вопроса не вызывает сомнения. В данной работе мы поставим более простой вопрос: можно ли со стороны оказать воздействие на сейсмический процесс около лавы?

На рис. III.29 представлены графики, где значениями  $N$  являются число техногенных сейсмических событий в день. Интерес к этим данным в том, что Бреевская и Толмачёвская лавы параллельны друг другу и отстоят друг от друга примерно на 500 м. Более подробное описание данного эксперимента можно найти в работе [Еманов и др., 2009]. Бреевская выработка закончила свою работу к концу декабря 2007 года. Прекращение работы лавы вызвало значительное ослабление техногенной сейсмичности около нее, но в то же время произошло существенное усиление сейсмической активности около Толмачёвской лавы [Еманов и др., 2009]. Толмачёвская лава как работала в ноябре – декабре, так и продолжала работу в январе, но сейсмический процесс в январе существенно усилился. Выходит, что работы на Бреевской лаве снижали сейсмичность около Толмачёвской лавы. Фактически с удаления около 500 м оказывается воздействие на техногенную сейсмичность около работающей лавы. Рассмотренный эксперимент доказывает существование возможности создания воздействия со стороны на активизированную зону с целью ослабления техногенной сейсмичности.



**Рис. III.29. Развитие сейсмического процесса во времени для Полысаево с 1 ноября 2007 г. по 31 января 2008 г.:**  
 а – Бреевская выработка; б – Толмачевская выработка;  
 в – Северо-западный участок; г – Южный участок

### Обсуждение результатов

Существование столь сильно выраженных сейсмических активизаций в осадочном бассейне Кузнецкой впадины факт новый. Мы знаем, что разработка угля во многих случаях происходит без возникновения сейсмических активизаций. Факт существования техногенных активизаций ставит вопрос об условиях возникновения активизаций. Экспериментальные работы выполнены в четырех достаточно удаленных районах Кузбасса, и во всех районах обнаружена наведенная сейсмичность. Существование в осадочном бассейне активизаций, не имеющих прямой связи с горными выработками, – факт неординарный. Подобных активизаций в других впадинах Алтае-Саянской горной области на сегодняшний день не зафиксировано. Возможно, напряженное состояние осадков Кузнецкой впадины отличается от всех других впадин и немалую роль играет факт многократной подработки с целью добычи угля в прошлые годы. Осадки Кузнецкой впадины в значительной степени деформированы [Дудушкин и др., 1974], и фактически техногенное воздействие при добыче осуществляется в условиях напряженной среды.

Наведенная сейсмичность, существующая отдельно от горных выработок, в работе [Пономарёв, 2008] объяснена как сейсмичность, зародившаяся около выработки и пространственно сместившаяся от нее. Возможно, это и так, но пока однозначного экспериментального доказательства этой гипотезы не получено. Эксперименты по непрерывному мониторингу зон техногенных активизаций могли бы дать ответ на данный вопрос.

Техногенные активизации при разработке угля лавами возникали и в других регионах мира. В нашем случае удалось получить детальную информацию о нескольких техногенных активизациях в Кузбассе. Тот факт, что активизирована область под выработкой, и на глубину до одного километра глубже выработки позволяет высказать некоторые мысли о механизмах активизаций. Маленькая выработка активизирует довольно большую область. Такая ситуация может возникнуть, когда в среде, находящейся и без того в напряженном состоянии, изменяются свойства среды. Весьма вероятным является изменение флюидного наполнения горных пород в значительной области. В такой ситуации маленькая выработка вполне может создать условия для техногенной активизации большого объема горных пород.

Полученные сведения о блочном строении осадочной толщи по данным сейсмической томографии также дают информацию для формирования модели, описывающей возникновение активизаций. Приуроченность сейсмических активизаций к границам блоков может играть важную роль в процессе возникновения активизаций при разработке угля. Имеющихся фактов мало, чтобы делать однозначные выводы о роли блочной структуры Кузнецкой впадины в процессе возникновения сейсмических активизаций, но полученные данные дают основание контролировать в экспериментах связь блочной структуры с сейсмическими активизациями в других активизированных структурах Кузбасса.

Экспериментами доказана значительная роль вибрационного воздействия от мощного работающего оборудования лав в развитии техногенного сейсмического процесса. Изменение флюидного режима без вибрации недостаточно, чтобы сформировался интенсивный сейсмический процесс. Подтверждение тому эксперименты около Анжеро-Судженска и на шахте «Первомайская», где не было работы мощного вибрирующего оборудования и не зафиксировано сейсмических активизаций. Во всех случаях, когда разворачивались сети станций около выработок с работающими лавами, мы фиксировали сопровождающие процесс добычи сейсмические активизации. Достаточно обоснованным будет утверждение, что высокопроизводительное по добыче угля оборудование лав является одновременно мощным вибрационным воздействием на недра, формирующим ярко выраженную наведенную сейсмичность около выработок.

Вибрация, безусловно, является мощным триггером в развитии наведенной сейсмичности. Ее появление или исчезновение практически сразу сказывается на сейсмическом режиме активизированной области. Воздействие на активизированную область промышленных взрывов с удалениями более 6.0 км напротив не оказывают заметного воздействия.