

III.2.2. Техногенная сейсмичность в Кузбассе

*А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Е.В. Лескова, А.В. Фатеев,
А.Ю. Сёмин, А.А. Демидова, В.В. Янкайтис*

Повышение сейсмической активности в районах интенсивной разработки полезных ископаемых – явление типичное [Барабанов, 1994; Николаев, 1994; Пономарёв и др., 1994; Опарин и др., 2004; Маловичко и др., 2005; Холуб, 2007]. Термин «наведенная сейсмичность» трактуется как усиление сейсмической активности, вызванное техногенной деятельностью человека. Кузнецкая котловина – район добычи угля подземным и карьерным способом в крупных масштабах. Кузбасс является сейсмически активным районом, и был таким всегда, задолго до начала разработки угля. Наведенная сейсмичность и горные удары в этом регионе стали следствием начала добычи полезных ископаемых [Курленя и др., 1993; Еманов и др., 2007].

Концентрация землетрясений в горном обрамлении впадин и асейсмичность самих впадин характерны для структур Алтае-Саянской горной области [Еманов и др., 2005]. В 2005 г. была исследована сейсмическая активизация, сформировавшаяся в осадках Кузбасса [Еманов и др., 2007]. В районе г. Осинники была развернута локальная сеть из одиннадцати сейсмических станций. Регистрировалось в среднем 5–10 землетрясений в день, максимальное количество – 23 землетрясения в день. Сейсмическая активизация является роем землетрясений с энергетическими классами от первого до седьмого. Было установлено, что данная активизация пространственно не увязана с горными выработками, что очаги землетрясений располагаются в интервале глубин от нуля до пяти км с максимальным количеством землетрясений на глубинах 1÷1.5 км.

Данная работа посвящена исследованию временными сетями сейсмических станций сейсмической активизации в районе г. Полысаево (Кузнецкая впадина). Экспериментальные работы в 2007 г. проведены дважды на одной и той же территории. Первый эксперимент с локальной сетью из двадцати сейсмических станций (табл. III.8) был проведен в период с 13 августа по 11 сентября 2007 г. на площади 10×14 км. Расстановка станций была неравномерной. Наиболее густо (через 1–2 км) станции устанавливались в зоне ощутимых сотрясений.

Таблица III.8. Сведения о станциях локальной сети, установленных в ходе первого эксперимента в районе г. Полысаево

№	Код станции	Координаты		Высота над уровнем моря, м	Период работы	
		φ, °N	λ, °E		начало	конец
1	PL181	54.57382	86.2543	213	13.08.2007	11.09.2007
2	PL182	54.57554	86.25998	216	13.08.2007	11.09.2007
3	PL183	54.57934	86.26264	209	13.08.2007	11.09.2007
4	PL184	54.57511	86.26834	244	13.08.2007	11.09.2007
5	PL185	54.55823	86.31706	243	13.08.2007	11.09.2007
6	PL186	54.59951	86.28371	250	13.08.2007	11.09.2007
7	PL187	54.59537	86.274	265	13.08.2007	11.09.2007
8	PL188	54.59996	86.23793	195	13.08.2007	30.08.2007
9	PL189	54.52724	86.29109	194	14.08.2007	10.09.2007
10	PL190	54.58604	86.31011	230	14.08.2007	11.09.2007
11	PL191	54.54981	86.23392	191	14.08.2007	11.09.2007
12	PL192	54.57384	86.2209	182	14.08.2007	11.09.2007
13	PL194	54.57754	86.25253	193	17.08.2007	11.09.2007

№	Код станции	Координаты		Высота над уровнем моря, м	Период работы	
		φ, °N	λ, °E		начало	конец
14	PL195	54.56851	86.25934	241	17.08.2007	11.09.2007
15	PL197	54.56026	86.15559	213	17.08.2007	11.09.2007
16	PL198	54.59072	86.24925	230	17.08.2007	11.09.2007
17	PL200	54.57655	86.3621	193	17.08.2007	11.09.2007
18	PL201	54.54647	86.28574	241	17.08.2007	11.09.2007
19	PL202	54.56359	86.24436	176	31.08.2007	11.09.2007
20	PL203	54.57842	86.24612	193	31.08.2007	11.09.2007
21	PL204	54.58403	86.2401	191	31.08.2007	11.09.2007

Второй эксперимент проведен с 01.11.2007 г. по 31.01.2008 г. – были выставлены повторно все станции летнего эксперимента и дополнительно еще десять станций (табл. III.9). Третий эксперимент выполнен с 03.06 по 02.07.2008 г. с девятнадцатью сейсмическими станциями.

Таблица III.9. Сведения о станциях локальной сети, установленных в ходе второго эксперимента в районе г. Полысаево

№	Код станции	Координаты		Высота над уровнем моря, м	Период работы	
		φ, °N	λ, °E		начало	конец
1	PL181	54.57382	86.2543	213	27.10.2007	31.01.2008
2	PL182	54.57554	86.25998	216	27.10.2007	28.12.2007
3	PL183	54.57934	86.26264	209	27.10.2007	31.01.2008
4	PL184	54.57511	86.26834	244	27.10.2007	31.01.2008
5	PL185	54.55823	86.31706	243	28.10.2007	30.01.2008
6	PL186	54.59951	86.28371	250	31.10.2007	29.01.2008
7	PL187	54.59537	86.274	265	28.10.2007	30.01.2008
8	PL188	54.59996	86.23793	195	28.10.2007	30.01.2008
9	PL189	54.52724	86.29109	194	30.10.2007	31.01.2008
10	PL190	54.58604	86.31011	230	27.10.2007	30.01.2008
11	PL192	54.57384	86.2209	182	27.10.2007	03.11.2007
12	PL194	54.57754	86.25253	193	27.10.2007	31.01.2008
13	PL195	54.56851	86.25934	241	28.10.2007	30.01.2008
14	PL197	54.56026	86.15559	213	28.10.2007	30.01.2008
15	PL198	54.59072	86.24925	230	28.10.2007	30.01.2008
16	PL200	54.57655	86.3621	193	28.10.2007	30.01.2008
17	PL201	54.54647	86.28574	241	28.10.2007	30.01.2008
18	PL202	54.56359	86.24436	176	28.10.2007	30.01.2008
19	PL203	54.57842	86.24612	193	09.11.2007	29.01.2008
20	PL204	54.58403	86.2401	191	27.10.2007	31.01.2008
21	PL205	54.6062	86.2685	268	30.10.2007	29.01.2008
22	PL206	54.61054	86.28766	255	30.10.2007	01.12.2007
23	PL207	54.59759	86.29252	245	30.10.2007	02.12.2007
24	PL208	54.57428	86.21835	165	06.11.2007	30.01.2008
25	PL209	54.5764	86.2395	-286	02.11.2007	11.12.2007
26	PL210	54.58205	86.24195	190	16.11.2007	27.01.2008
27	PL211	54.59405	86.29834	238	01.11.2007	27.01.2008
28	PL212	54.57906	86.24708	192	31.10.2007	09.11.2007
29	PL213	54.58272	86.24641	209	31.10.2007	31.01.2008
30	PL214	54.58163	86.25686	208	31.10.2007	30.01.2008
31	PL215	54.65011	86.23796	245	31.10.2007	30.01.2008
32	PL216	54.60617	86.26518	255	03.12.2007	27.01.2008
33	PL217	54.59717	86.26681	290	07.12.2007	27.01.2008
34	PL218	54.59925	86.26969	273	08.12.2007	28.01.2008
35	PL219	54.5764	86.2395	-286	07.11.2007	02.01.2008
36	PL220	54.57247	86.26565	245	16.01.2008	31.01.2008

Экспериментальные работы планировались с целью установления природы сейсмических сотрясений в районе г. Полысаево. События, вызывавшие ощутимые сотрясения в городе, в большинстве своем не фиксировались станциями региональной сети, а те редкие случаи, когда из района Полысаево фиксировались сейсмические события, по характеру записи оказывались похожи на записи промышленных взрывов.

В первом же эксперименте были обнаружены две техногенные сейсмические активизации, приуроченные к лавам шахты «Полысаевская». Во время второго эксперимента одна из лав заканчивала свою работу и ставилась задача установить, что будет происходить с сейсмической активизацией после завершения работ на лаве. Во время второго эксперимента в зоне чувствительности локальной сети было обнаружено четыре сейсмических активизации. Две из них соответствовали прежним лавам, еще одна пространственно привязана к готовящейся лаве, а четвертая возникла на участке, где не велись работы по добыче угля.

На рис. III.18 представлена характерная запись сейсмического события. Удаление станции от эпицентра – 3.1 км. Сеть сейсмических станций уверенно регистрировала ежедневно в среднем полтора десятка сейсмических толчков. Далеко не все сейсмические толчки ощутимы на поверхности, но весьма уверенно регистрируются сетью станций. Приведенная сейсмическая запись является типичной для изучаемой активизации. Отчетливо выделяются вступления продольных и поперечных волн и, самое главное, на записи видна интенсивная поверхностная волна. Подобного вида записи регистрируются от промышленных взрывов в Кузбассе. Землетрясения обычно не возбуждают столь интенсивных поверхностных волн. При изучении сейсмической активизации в окрестности г. Осинники [Еманов и др., 2007] на записях не фиксировались столь интенсивные поверхностные волны, хотя глубины очагов составляли всего лишь первые километры.

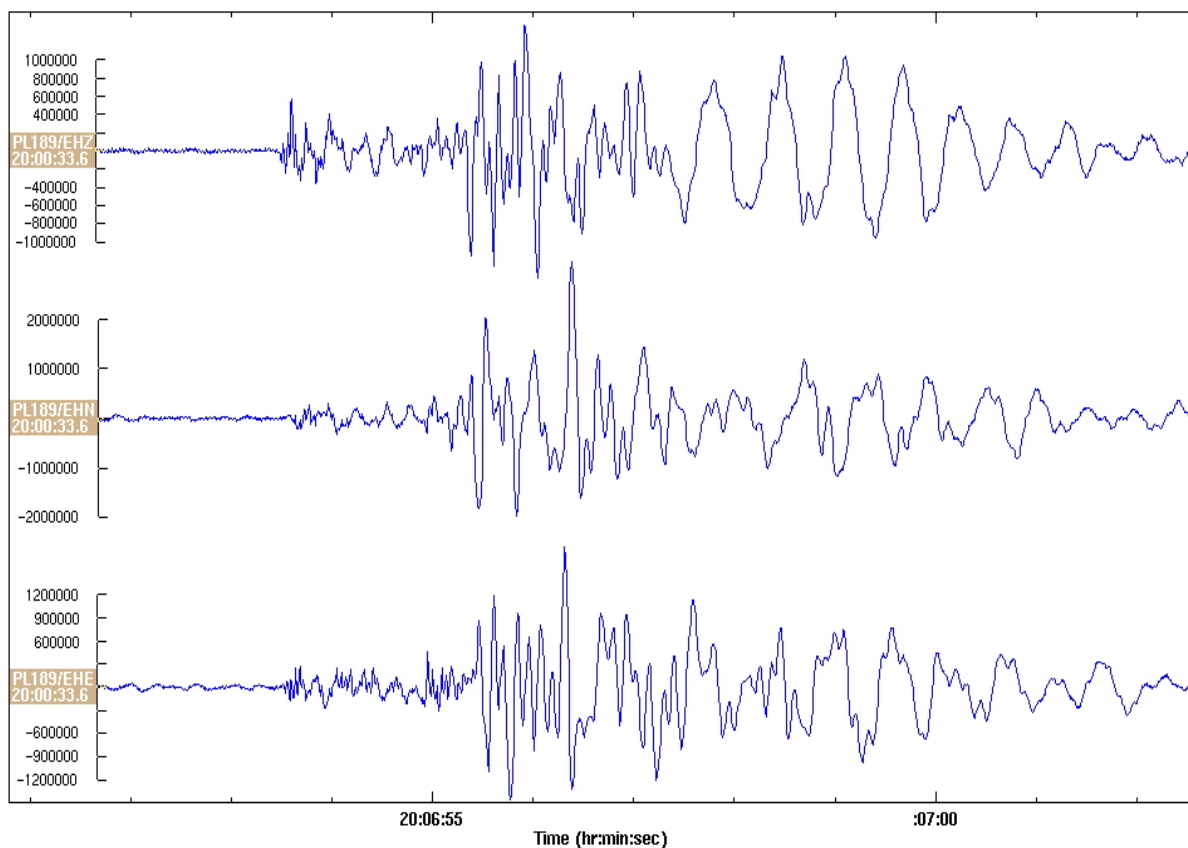


Рис. III.18. Трехкомпонентная запись события 31 августа в 20^h06^m51.97^s с $K_p=5.6$ станцией PL189 ($\Delta=5.8$ км)

На рис. III.19 представлена карта расположения эпицентров событий, зарегистрированных в период двух первых экспериментов. На карте различным цветом кружков показано время происхождения событий. Эпицентры синего цвета зарегистрированы при первых работах и приурочены только к Бреевской и Толмачевской лавам. Видно, что в последующие месяцы для этих двух лав наблюдается смещение облака событий вдоль выработок. Сейсмический процесс смещается в пространстве вместе с забоем. Сейсмические события в районе готовящейся к выработке Надбайкаимской лавы зафиксированы только в ноябре–декабре 2007 года. Северо-западная активизация была обнаружена во время второго эксперимента, и с тех пор она стабильна по активности.

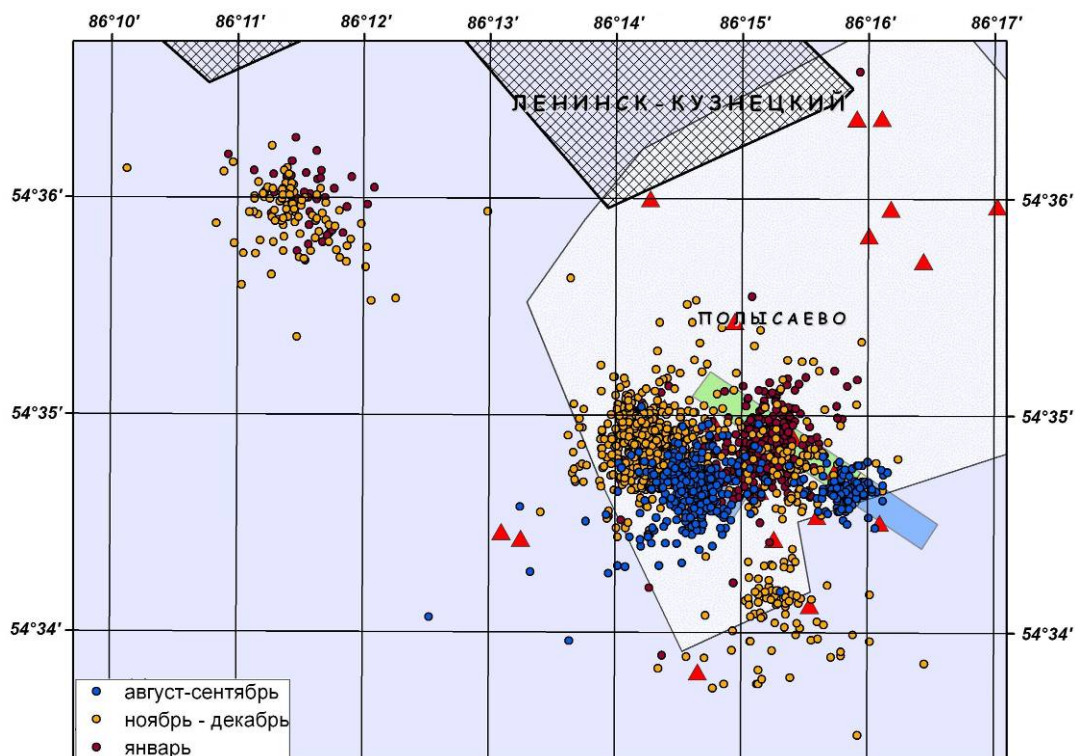


Рис. III.19. Карта эпицентров сейсмических событий в районе г. Полысаево

На рис. III.20 для второго эксперимента приведены данные об изменениях интенсивности сейсмического процесса в каждой из четырех активизированных зон. Вертикальная ось – число землетрясений в день, горизонтальная – дни календаря. В этом эксперименте особый интерес представляла Бреевская эпицентрально-зона в связи с завершением в конце декабря работ на одноименной лаве. Именно в этой зоне процесс наиболее интенсивен в ноябре 2007 г. (20÷30 событий в день), ослабевает в декабре (около 10 событий в день) и становится существенно ослабленным в январе 2008 г. (не каждый день одно-два события). Завершение работ на лаве привело к значительному ослаблению сейсмической активизации около нее.

Толмачевская эпицентрально-зона отличалась стабильной интенсивностью процесса (от 1 до 5 событий в день). В январе 2008 г. наблюдалось значительное увеличение числа событий, приуроченных к этой лаве (до 10 событий в день, максимально – 24 события в день). По-видимому, завершение работ в Бреевской лаве оказало влияние и на сейсмический процесс, приуроченный к Толмачевской лаве, но противоположным образом – приведя скорее к активизации, нежели к затишью.

Сейсмический процесс в окрестности Надбайкаимской лавы нестабильный. Фактически зона активизировалась дважды: в начале ноября – на неделю и в начале декабря – почти на две недели. По-видимому, в районе этой лавы нет работ, вызывающих стабильную во времени сейсмическую активизацию.

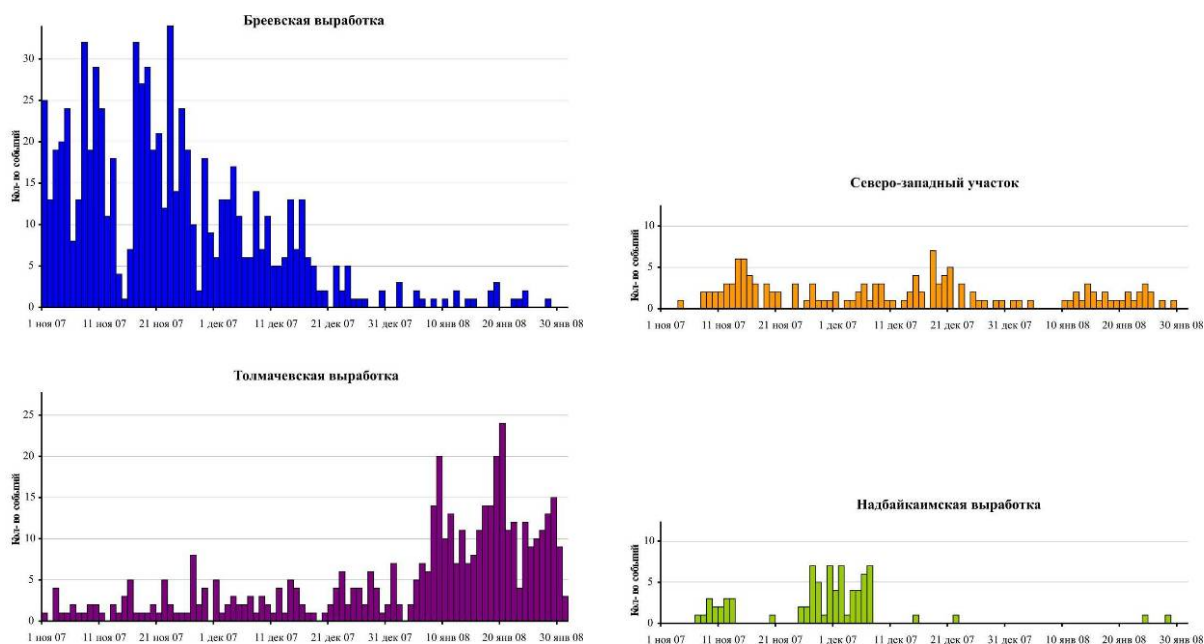


Рис. III.20. Изменение интенсивности сейсмических процессов во времени

Северо-западная активизация достаточно стабильна во времени по интенсивности. В ней происходит 2÷5 событий в день. Она находится в стороне от техногенных активизаций и составлена более крупными по энергии (на 1–2 класса) событиями, чем техногенные активизации.

Важным вопросом в исследовании активизаций в районе Полысаево было определение глубин событий. Вопрос точности определения глубин с использованием сети станций на поверхности был достаточно важным. Прежде всего интересовало расположение активизаций относительно выработок (выше лавы, в окрестности лавы или под лавой). Понятно, что чем меньше глубина событий, тем ниже будет относительная точность определения глубин. Для более точного определения глубин землетрясений использовались следующие приемы: увеличение числа регистраторов в эпицентральной зоне; использование скоростной модели среды, полученной другими методами; использование метода двойных разностей для определения глубин землетрясений; использование итерационного алгоритма, корректирующего одновременно и скоростную модель, и координаты гипоцентра.

По материалам регистрации промышленных взрывов сетью станций было установлено, что скорость сейсмических волн близка к значениям: продольные волны – 3.7 км/с; поперечные волны – 1.9 км/с. Такие же результаты дают исследования с ударной установкой методом преломленных волн. Уже к глубине 10 м скорости выходят на указанные значения, и далее до расстояний в десятки километров мы имеем прямолинейные годографы, что позволяет применять для нахождения координат источников модель с постоянной скоростью. Такие представления не противоречат скоростной модели на продольных волнах по материалам ГСЗ для Кузнецкой впадины [Крылов, 2006].

На рис. III.21 представлены гистограммы глубин землетрясений для каждой из четырех активизаций. Все землетрясения Северо-западной активизации имеют глубины 2–3 км. Отсутствие приуроченности событий этой эпицентральной зоны к горным выработкам и значительная глубина событий говорит о природном генезисе напряженности в осадках впадины. Сейсмические события трех других эпицентральных зон имеют глубины от первых сотен метров до полутора километров. Вне сомнения, их природа техногенная. Почти все события происходят под лавами. Наиболее интенсивен сейсмический процесс на глубинах 700–900 м. Глубина лав немного превышает 400 м.

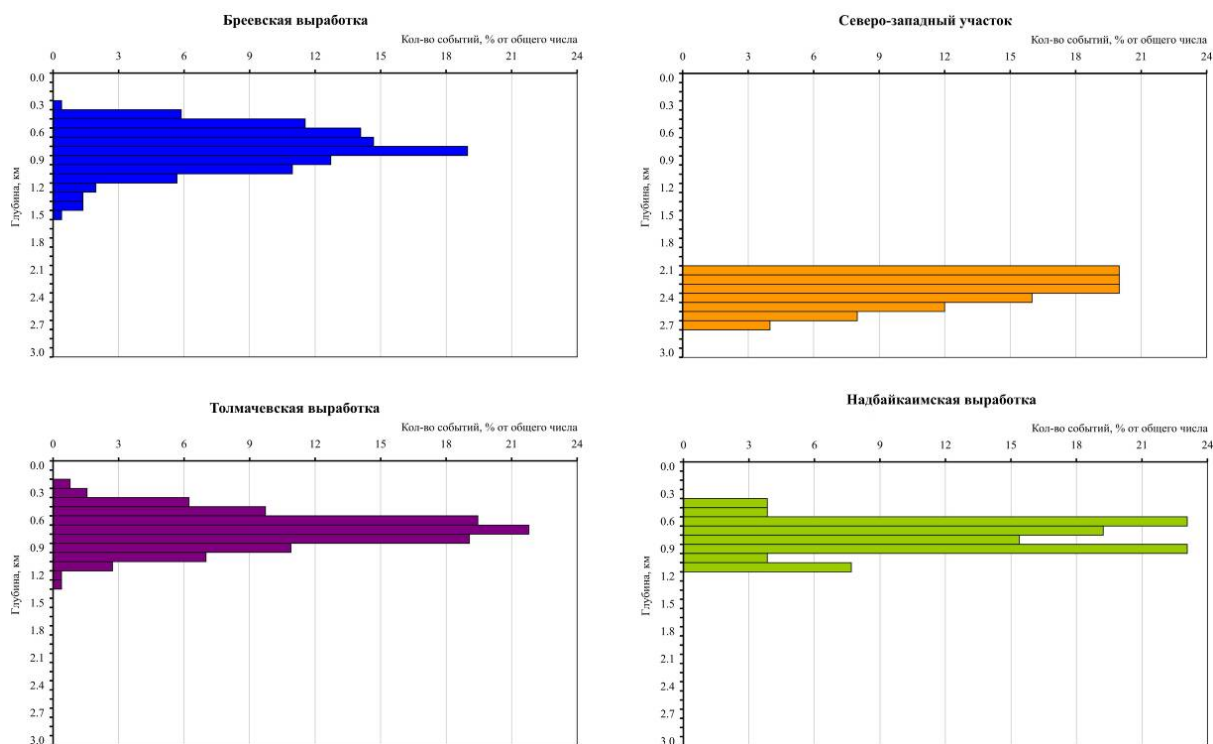


Рис. III.21. Гистограммы глубин землетрясений для эпицентральных зон в районе Полысаево

Для части техногенных событий построены механизмы очагов. На карте (рис. III.22 а) представлены результаты для Бревеской и Толмачевской лав и в разрезе (рис. III.22 б) – для Толмачевской лавы.

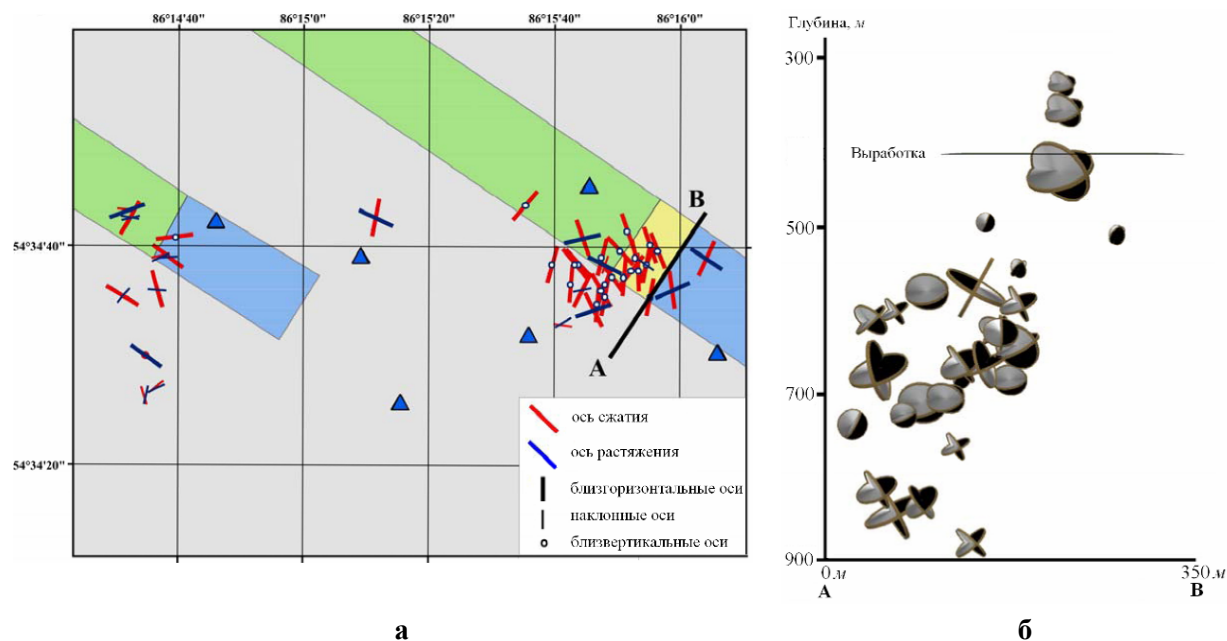


Рис. III.22. Механизмы очагов техногенных событий:

а – ориентация осей главных напряжений (сжатия и растяжения) в очагах событий активизации; б – проекция на вертикальную плоскость по линии А–В нодальных плоскостей событий

По небольшому количеству фокальных механизмов Бревеской выработки можно отметить, что одна из нодальных плоскостей события преимущественно близвертикальна. Механизмы группы событий в районе Толмачевской выработки главным образом представлены взбросами (рис. III.22 а), причем явно наблюдается смещенная

относительно выработки линия событий. Для большинства событий в этой линии механизмы схожи по виду, что может свидетельствовать не о локальных, отдельных подвижках, а об общих для этого участка изменениях в процессе разрушения. На вертикальной проекции нодальных плоскостей (рис. III.22 б) видно, что эта линия событий представляет собой некоторую наклонную плоскость схожих по виду механизмов, причем на глубине около 800 м она изменяет свое направление. Интересным является то, что оси сжатия группы событий Толмачевской выработки преимущественно близгоризонтальные и направлены главным образом «север–юг» (рис. III.22 а), что совпадает с общерегиональным направлением сейсмотектонических деформаций. Такое субмеридиональное направление укорочения характерно для всего Алтая, в том числе очень четко выделяется при сейсмотектонических деформациях Чуйского землетрясения 27 сентября 2003 г. ($M_S=7.3$). Этот факт свидетельствует о том, что характер деформаций в районе выработок может определяться региональными напряжениями укорочения «север–юг», а не только теми напряжениями, которые возникают в результате проведения горных работ.

Итерационные алгоритмы определения координат гипоцентров и уточнения скоростного строения среды (double-difference tomography) [Zhang and Thurber, 2003] позволили уточнить скоростное строение района исследований. На рис. III.23 представлена карта скорости продольных сейсмических волн на глубине 700 м. Фиксируется блочное строение среды, выделяются блоки с пониженной скоростью продольных волн, для которых характерна скорость в интервале 3.6–3.7 км/с, и блоки с повышенной скоростью – 3.75–3.9 км/с. Нанесение на карту эпицентров зарегистрированных событий показало, что все сейсмические активизации размещаются вблизи границ блоков с разной скоростью. Следует отметить, что блоки, выделенные по скоростям продольных волн, имеют наклонные границы, и аномалии скорости на срезах по разной глубине смещаются.

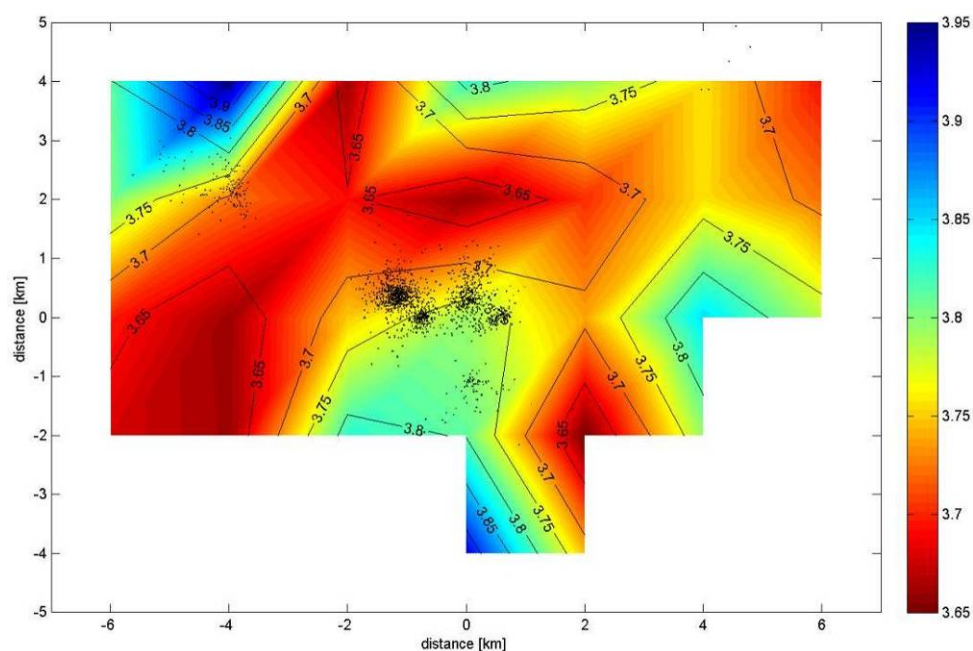


Рис. III.23. Карта скоростей продольных волн на глубине 700 м. Точками показаны эпицентры событий

Обсуждение результатов

Существование 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 на части горных выработок ставит вопрос об условиях возникновения активизаций. 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. Осадки Кузнецкой впадины в значительной степени деформированы [Дудушкина и Бобров, 1974]. Мы изучили две локальные зоны активизаций в разных концах впадины и на сегодняшний день не знаем, сколько таких активизаций в Кузбассе возникло, и какие площади охвачены такими активизациями.

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, уже находящейся в напряженном состоянии, изменяются свойства. 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 недостаточно для того, чтобы сделать 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.

Выводы

В осадочном бассейне Кузнецкой впадины обнаружены два типа сейсмических активизаций: техногенные активизации, связанные напрямую с добычей угля лавами, и активизации природного генезиса, не увязанные с шахтами.

Активизации природного генезиса зафиксированы в Кузбассе дважды (Осинники и Северо-западная активизация около Ленинск-Кузнецкого). Они представляют собой роевую сейсмичность, приуроченную по площади к участку диаметром первые единицы километров. Сейсмические события происходят на глубинах 1–5 км. В активизированных зонах происходит от нескольких единиц до нескольких десятков землетрясений в день.

Обнаружены и исследованы три техногенные активизации, приуроченные к Толмачевской, Полысаевской и Надбайкаимской лавам. Установлено, что сейсмический процесс перемещается в пространстве вместе с выработкой, основная масса событий происходит под выработкой, достигая глубин на километр ниже выработки. События – преимущественно взбросы. Прекращение работ в лаве ведет к ослаблению сейсмического процесса, а их возобновление – к усилению сейсмического процесса. Максимальная интенсивность процесса – до двух с половиной десятков землетрясений в день около выработки.

По данным сейсмической томографии установлено блочное строение осадков в районе сейсмических активизаций. Сейсмические активизации, как природного, так и техногенного генезиса приурочены в этом районе к границам блоков.