

III.2.3. Эпицентральная область Бачатского землетрясения 18.06.2013 г. с $M=5.1$ (Кузбасс) в 2013–2014 гг.

*А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев,
Е.В. Лескова, Е.В. Шевкунова, В.Г. Подкорытова*

Самым сильным и уникальным в 2013 г. землетрясением в Алтае-Саянском регионе стало Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г. в 23:02 (19 июня в 06:02 местного времени) с $M=5.1$ ($ML=6.1$), произошедшее на борту Бачатского угольного разреза в Кузбассе. Углеразрез «Бачатский», заложенный в 1948 г., является одним из крупнейших в Кузбассе: его размеры достигают 10 км в длину, 2.2 км в ширину и 320 м в глубину. Угледобыча составляет более 9 млн т угля в год (по данным на 2008 г.).

По результатам макросейсмического обследования территории (рис. III.24), интенсивность сотрясений в населенных пунктах Кемеровской и соседних областей составила: Бачатский (4 км), Старобачаты (4 км) – 7 баллов; Шестаки (8 км), Щебзавод (10 км), Новобачаты (13 км), Белово (19 км), – 6 баллов; Шанда (6 км), пос. Ильича (14 км), Радужный (10 км), Трудоармейский (21 км), Краснобродский (24 км), дер. Карагайла (29 км), Тихоновка (29 км) – 5–6 баллов; Раздольный (8 км), Гурьевск (13 км), Сосновка (27 км), Грамотеино (30 км), Полысаево (36 км), Ленинск-Кузнецкий (44 км) – 5 баллов; Малосалаирка (ферма), (15 км), Инской (23 км), Чкаловский (46 км), Заринск (103 км) – 4–5 баллов; Степной (21 км), Бурлаки (23 км), Канаш (26 км), Инчеково (29 км), Михайловка (29 км), Чуваш-Пай (30 км), Киселевск (46 км), Торопово (53 км), Прокопьевск (57 км), Первомайский (58 км), Красное (62 км), Новокузнецк (87 км), Куртуково, Малово (100 км), Осинники, Красный калтан (107 км), Новосибирск (198 км) – 4 балла;

Калачево (75 км), село Борисово (79 км), Кемерово (80 км), Славино (86 км), шахта Большевик, Полосухинская (88 км), Журавлево (89 км), Чистогорский (93 км), Зап.-Сиб. мет. комбинат (н.п.) (95 км), село Залесово (97 км), Шушталеп (108 км), Березовая Грива, район Тайжина (110 км), Калтан (112 км), Яшкино (213 км) – 3 балла; Осинное Плесо (90 км), Ильинка (Новая Ильинка) (95 км), Барнаул (102 км), Юрга (192 км), Тайга (201 км) – 2 балла; Тальменка (169 км), Болотное (197 км), Таштагол (201 км), Колывань (245 км), Чулым (341 км), Славгород (507 км), Барбинск (519 км), Карасук (527 км), Усть-Тарка (673 км) – не ощущалось.

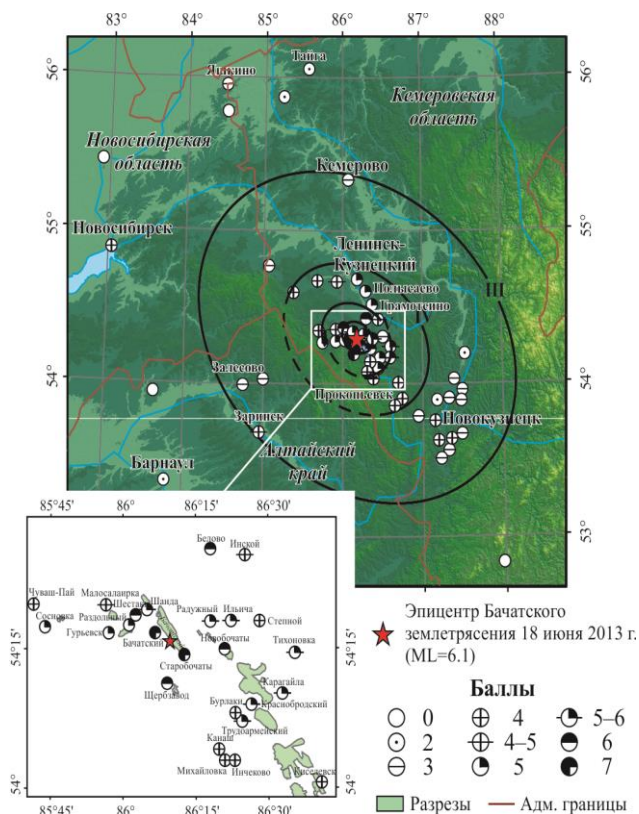


Рис. III.24. Карта изосейст макросейсмического обследования Бачатского землетрясения

В ближайших к эпицентру поселках (Бачатский, Старобачаты, Шестаки, Новобачаты, Белово и др.) наблюдались разрушение печей, падение дымовых труб, осыпание штукатурки и образование трещин в стенах панельных и кирпичных зданий (рис. III.25). Очевидцы отмечали, что в момент землетрясения слышали хлопок и видели «что-то похожее на дым со стороны карьера».



Рис. III.25. Разрушения при Бачатском землетрясении 2013 г. (пос. Бачатский, 4 км от эпицентра)

По историческим данным, на территории Кемеровской области известны два сильных землетрясения, по силе сопоставимые с Бачатским – Кузнецкие землетрясения 19 июля 1898 г. ($\varphi=53.8^{\circ}\text{N}\pm 0.5^{\circ}$, $\lambda=87.6^{\circ}\text{E}\pm 0.5^{\circ}$, $M=5.7\pm 0.7$) и 12 марта 1903 г. ($\varphi=53.0^{\circ}\text{N}\pm 0.2^{\circ}$, $\lambda=87.0^{\circ}\text{E}\pm 0.2^{\circ}$, $M=6.1\pm 0.2$), произошедшие вблизи Новокузнецка [Новый каталог, 1977].

За год до Бачатского землетрясения, в 2012 г., в районе Бачатского разреза Алтае-Саянским филиалом ГС СО РАН проведены работы с временной сетью сейсмостанций с целью исследования существования наведенной сейсмичности вблизи карьера. Основанием для исследования послужило сейсмическое событие, произошедшее 9 февраля 2012 г. в 13:24 (в 20:24 местного времени) с $ML=4.3$ с координатами эпицентра, попадающими на борт карьера. Данное событие вызвало ощутимые колебания в большинстве городов Кемеровской области. По результатам обработки данных, зарегистрированных временной сетью, была обнаружена наведенная сейсмичность в окрестности карьеров «Бачатский» и «Шестаки» с максимальной магнитудой $ML=3.9$, глубинами до трех км и интенсивностью до десяти событий в неделю [Еманов А.Ф. и др., 2014а].

Бачатское землетрясение 2013 г. сопровождалось мощным афтершоковым процессом, для его регистрации вблизи карьера была выставлена сеть из десяти временных станций. Первые сейсмостанции были установлены уже через несколько часов после главного толчка, полностью запуск сети был завершён к 21 июня. В связи с погодными условиями конфигурация сети претерпевала изменения: в летний период (конец мая – начало октября) сейсмостанции выставляются автономно с закапыванием их в грунт, в зимний период (с октября по май) – переносятся в подвалы отапливаемых помещений. В табл. III.6 приведены сведения о положении станций в летний и зимний периоды.

Таблица III.6. Сведения о сейсмических станциях временной локальной сети в районе Бачатского разреза в 2013–2014 гг.

Код станции	Координаты и высота над уровнем моря			Период работы		
	φ, °N	λ, °E	h, м	1 сезон	2 сезон	3 сезон
BJRT	54.288	86.123	304	24.06.2013–05.06.2014		
BJRT1	54.288	86.128	305		с 06.06.2014	
BJ567	54.312	86.116	240		09.10.2013–20.05.2014	
BJ570	54.241	86.199	221		08.10.2013–20.05.2014	
BJ572	54.307	86.231	212		08.10.2013–20.05.2014	
BJ574	54.236	86.032	349		09.10.2013–20.05.2014	
BJ576	54.314	86.079	210		09.10.2013–20.05.2014	
BJ579	54.236	86.181	250		18.03–14.05.2014	
BJ591	54.293	86.170	279	19.06–09.10.2013		25.05–29.10.2014
BJ592	54.307	86.151	274	19.06–09.10.2013		25.05–29.10.2014
BJ593	54.259	86.195	259	19.06–08.10.2013		25.05–29.10.2014
BJ594	54.283	86.140	296	20.06–09.10.2013		25.05–30.10.2014
BJ595	54.294	86.124	260	20.06–10.08.2013		
BJ596	54.304	86.123	220	20.06–09.10.2013		25.05–29.10.2014
BJ597	54.317	86.174	310	20.06–09.10.2013		25.05–29.10.2014
BJ598	54.268	86.191	262	20.06–09.10.2013		25.05–29.10.2014
BJ599	54.251	86.200	223	21.06–09.09.2013		
BJ600	54.229	86.143	276	21.06–08.10.2013		25.05–29.10.2014
BJ601	54.293	86.127	265	09.09–09.10.2013		
BJ602	54.332	86.183	287		09.10.2013–18.03.2014	
BJ603	54.253	86.209	231		09.10.2013–20.05.2014	25.05–29.10.2014
BJ604	54.236	86.182	253		09.10.2013–18.03.2014	
BJ605	54.274	86.101	308		09.10.2013–20.05.2014	

Кроме того, 24 июня в эпицентральной области была выставлена сейсмостанция (BJRT) с передачей данных в центр обработки в режиме реального времени с целью получения оперативных сведений о сильных землетрясениях в районе карьера. В июне 2014 г. сейсмостанция была перенесена на другое место с сохранением оперативной передачи данных – BJRT1 (табл. III.6).

Обработка данных проводилась с использованием системы seiscomp3 [Weber et al., 2007; Hanka et al., 2010]. Определение параметров гипоцентров производилось с помощью программы LocSat [Bratt, Bache, 1988] в рамках глобальной скоростной модели IASPEI91 [IASPEI, 1991]. Энергия событий представлена в локальных магнитудах ML [New manual..., 2012]. Для уточнения положения гипоцентров некоторых землетрясений с $ML > 1.5$ применялся пакет программ HYPOINVERSE-2000 [Klein, 2002] с использованием локальной скоростной модели. Для 20 афтершоков рассчитаны механизмы очагов с использованием программы FPFIT [Reasenber, Oppenheimer, 1985].

За период обработки данных временной сети с 18 июня 2013 г. по 23 октября 2014 г. зарегистрировано 1343 афтершока в диапазоне магнитуд $0.1 \leq ML \leq 4.2$. Их распределение по энергии представлено в табл. III.7 и на рис. III.26.

Таблица III.7. Количество зарегистрированных землетрясений в районе Бачатского карьера за период 18 июня 2013 г. – 23 октября 2014 г. в зависимости от их магнитуды

ML	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0	Всего
Количество землетрясений	1	0	0	0	1	10	12	26	118	332	698	141	5	1343

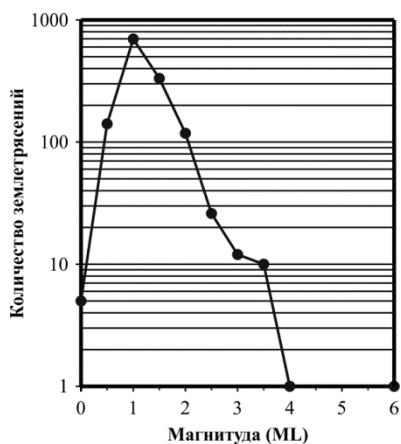


Рис. III.26. Кумулятивный график повторяемости афтершоков Бачатского землетрясения за период 18 июня 2013 г. – 23 октября 2014 г.

На рис. III.26 отмечается нелинейность графика повторяемости афтершоков Бачатского землетрясения. Явно выражено непропорциональное количество землетрясений с $ML=3.0-3.5$, четыре из которых произошли уже спустя год после главного толчка – в августе-сентябре 2014 года. В целом можно говорить, что представительная регистрация сейсмических событий в районе Бачатского разреза начинается с $ML=1.0$.

Развитие афтершокового процесса увязывается с Бачатским разрезом и с небольшим разрезом «Шестаки», расположенным на северном продолжении своего крупного собрата (рис. III.27). Положение эпицентров землетрясений в основном соответствует плану разреза, и лишь на юго-восточном его окончании к востоку фиксируется отвлечение сейсмического процесса за пределы разреза, в которое входят события с магнитудами 1–2. Наиболее сильные события, в том числе и главный толчок, произошли ближе к западному борту Бачатского карьера и на его южном окончании (рис. III.27).

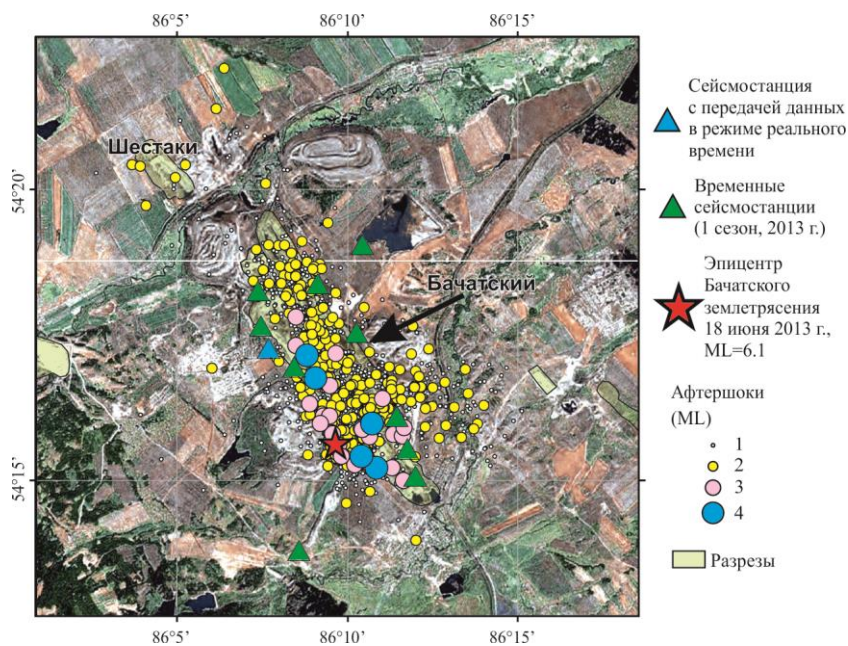


Рис. III.27. Сейсмические станции (1 сезон, 2013 г.), эпицентры Бачатского землетрясения и его афтершоков за период 18 июня 2013 г. – 23 октября 2014 г.

Рассчитанный механизм очага главного толчка (рис. III.28) представляет собой практически чистый взброс. Нодальные плоскости, одна из которых является плоскостью разрыва, расположены вдоль простирания разреза, что может быть одним из доказательств техногенной природы этого землетрясения. Помимо этого, в пользу техногенной природы Бачатского землетрясения говорит и сила толчка – $ML\sim 6$ соотносится с размерами очага порядка 10 км, что сопоставимо с длиной углеразреза и протяженностью области, занятой афтершоками, эпицентры большинства из которых попадают внутрь карьера.

Фокальные механизмы сильных землетрясений с $ML>2$ указывают на преобладание вертикальных подвижек в очагах. Основной тип механизмов – взбросы с разноориентированными нодальными плоскостями, также отмечаются сбросы и сдвиго-взбросы (рис. III.28).

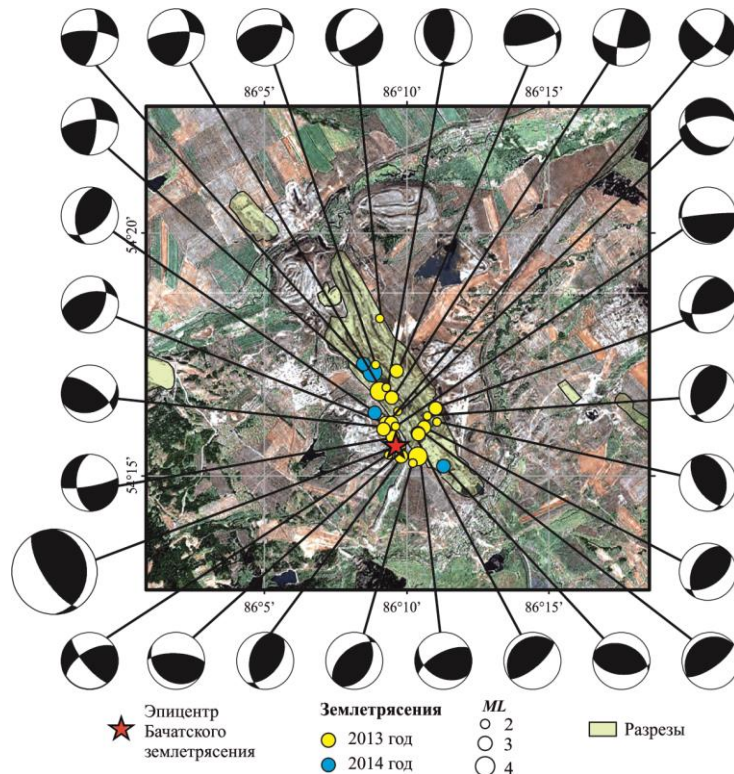


Рис. III.28. Механизмы очагов землетрясений в районе Бачатского разреза

Для некоторых сильных землетрясений выборочно осуществлена обработка с определением глубин с использованием пакета программ HYPOINVERSE-2000 [Klein, 2002]. На рис. III.29 представлены карта событий с глубинами по цветовой шкале и разрез вдоль линии АВ.

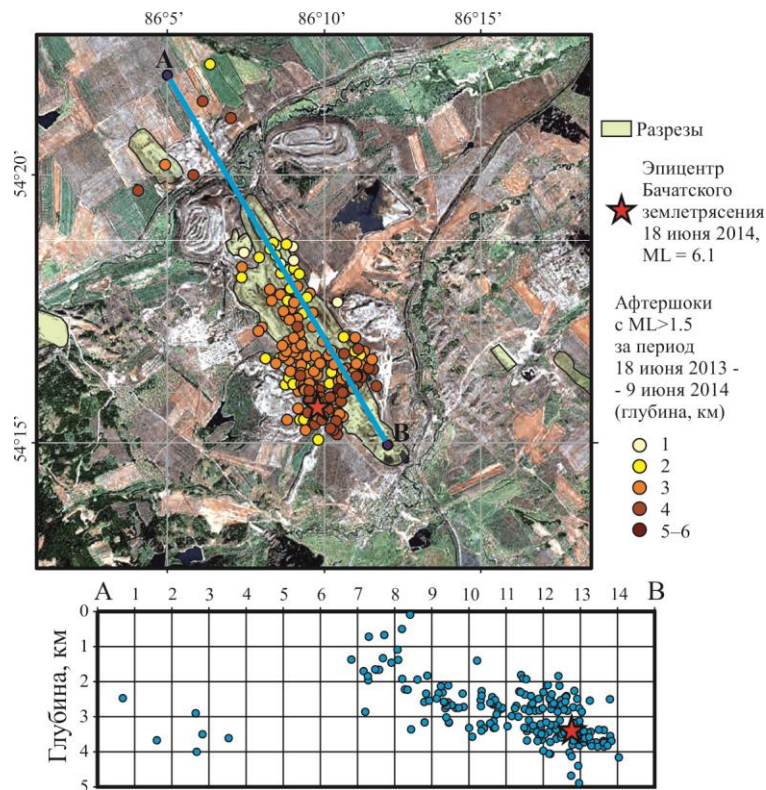


Рис. III.29. Распределение по глубине землетрясений, зарегистрированных в районе угольных разрезов «Бачатский» и «Шестаки» (2013–2014 гг.)

В районе эпицентра Бачатского землетрясения фокусируется наибольшее число крупных событий, и к тому же наиболее глубоких (большая часть событий имеет глубину 2–4 км и небольшое количество – до 5 км). Вдоль разреза по направлению на северо-запад глубины землетрясений уменьшаются, и на северном окончании Бачатского разреза события происходят практически непосредственно под выработкой (глубины от сотен метров до двух километров). Под разрезом «Шестаки» землетрясения вновь происходят на глубинах 2–4 км (рис. III.29).

Очень важным моментом исследований является развитие сейсмического процесса во времени. Уже трижды за время чуть более года в районе разреза «Бачатский» произошли землетрясения, оказавшие сильное сейсмическое воздействие на города Кемеровской и даже соседних областей.

На рис. III.30 показано распределение техногенных землетрясений разреза «Бачатский» во времени и по магнитудам.

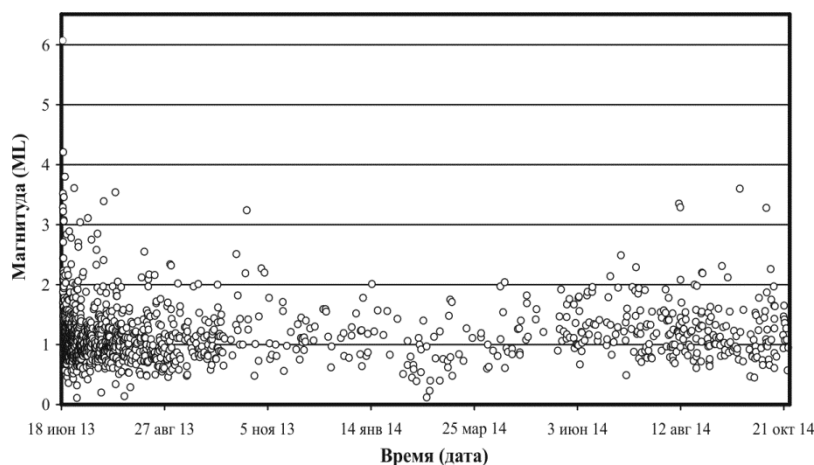


Рис. III.30. Развитие сейсмического процесса в районе Бачатского разреза во времени в зависимости от магнитуды события (18 июня 2013 г. – 23 октября 2014 г.)

По результатам мониторинга выявлено, что развитие сейсмического процесса в районе Бачатского разреза во времени весьма неоднородно. Наиболее активно сейсмический процесс протекал с 18 июня по октябрь 2013 года. Дальнейшая интенсивность сейсмического процесса – до лета 2014 г. – оставалась на уровне развития этого процесса летом 2012 г. [Еманов А.Ф. и др., 2014б]. С июня 2014 г. количество техногенных землетрясений увеличилось, а с сентября 2014 г. фиксируются землетрясения с $ML > 3$.

Заключение

Бачатское землетрясение 18.06.2013 г. ($ML=6.1$), являющееся одним из крупнейших в мире техногенным землетрясением при добыче твердых полезных ископаемых, вызвало мощный афтершоковый процесс в районе разрезов «Бачатский» и «Шестаки» в Кузбассе. Пространственно афтершоки сформировали структуру с закономерным изменением глубин от 4–5 км до сотен метров.

Собственно афтершоковый процесс длился с 18 июня до середины октября 2013 г. (чуть меньше четырех месяцев).

С середины октября 2013 г. до начала июня 2014 г. характеристики сейсмического процесса стабильные и соответствуют уровню фоновой сейсмичности до главного события.

С июня 2014 г. наблюдается сейсмическая активизация в районе Бачатского разреза по числу техногенных землетрясений, а в сентябре-октябре 2014 г. произошла серия землетрясений с $ML > 3$. Недра разреза находятся в состоянии повышенной сейсмической активности.