

УДК 550.348.(571.15)

## Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с $ML=6.1$ , $I_0=7$ (Кузбасс)

© 2020 г. А.Ф. Еманов<sup>1</sup>, А.А. Еманов<sup>1,2</sup>, А.В. Фатеев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, Россия;

<sup>2</sup>ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия

**Аннотация.** Бачатское землетрясение, произошедшее 18 июня 2013 г. в Кемеровской области с локальной магнитудой  $ML=6.1$ , является крупнейшим из серии сейсмических событий в районе одноимённого угледобывающего разреза, а также одним из сильнейших в мире техногенных землетрясений, связанным с горными работами при разработке месторождения твёрдых полезных ископаемых. Максимальная наблюденная интенсивность сотрясений составила  $I=7$  баллов. Землетрясение сопровождалось интенсивным афтершоковым процессом. Исследования сейсмичности в окрестностях разреза с использованием локальных сетей временных станций начались более чем за год до землетрясения и продолжаются в настоящее время. Результаты этих исследований, такие как пространственное совпадение с угледобывающим разрезом, пульсирующий характер активизации, механизм главного толчка, указывают на техногенную природу Бачатского землетрясения. В данной работе представлены итоги последних лет наблюдения; дополнены временные ряды мониторинга режима техногенной сейсмической активизации в районе угольного разреза «Бачатский». Рассмотрена история сейсмичности в его очаговой области. Особое внимание уделено мониторингу режима техногенной сейсмической активизации в районе угольного разреза «Бачатский».

**Ключевые слова:** Бачатское землетрясение, наведённая сейсмичность, техногенное землетрясение, угольный разрез, Кузбасс.

**Для цитирования:** Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с  $ML=6.1$ ,  $I_0=7$  (Кузбасс) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 48–61. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.05>

### Введение

18 июня 2013 г. в 23<sup>h</sup>02<sup>m</sup> (19 июня 2013 г. в 06<sup>h</sup>02<sup>m</sup> местного времени) в районе угледобывающего разреза «Бачатский» в Кемеровской области произошло ощутимое землетрясение с  $ML=6.1$ ,  $mb=5.5$ ,  $\varphi=54.261^\circ N$ ,  $\lambda=86.161^\circ E$ ,  $h=4$  м. По своему местоположению данное сейсмическое событие было названо «Бачатское».

Угольный разрез «Бачатский», заложенный в 1948 г., – один из крупнейших в Кузбассе, его размеры составляют 10 км в длину, 2,2 км в ширину и 320 м в глубину (на момент Бачатского землетрясения). Среднегодовая добыча угля на разрезе – более 9 млн. т. Добыча угля в данном разрезе продолжается и запланированная глубина разреза ~ 550 м, изменяются горизонтальные размеры выработки, увеличиваются отвалы. Уровень техногенного воздействия на недра растёт. В районе разреза ведутся наблюдения с временными станциями и созданы четыре стационарные станции для изучения уникаль-

ного по интенсивности процесса наведённой сейсмичности при продолжающемся техногенном воздействии на среду.

В предыдущие годы Бачатскому землетрясению были посвящены работы [Еманов и др., 2014; 2016], где представлены результаты начального периода исследований сейсмической активизации в районе Бачатского разреза. В данной статье анализируются данные существенно большего временного интервала наблюдений за развивающейся во времени активизацией и даётся сравнение с данными других сетей и с сейсмичностью территории до Бачатского землетрясения. Важной задачей работы является экспериментальное изучение закономерностей развития техногенной активизации при постоянном воздействии на недра горных работ.

### Инструментальные данные

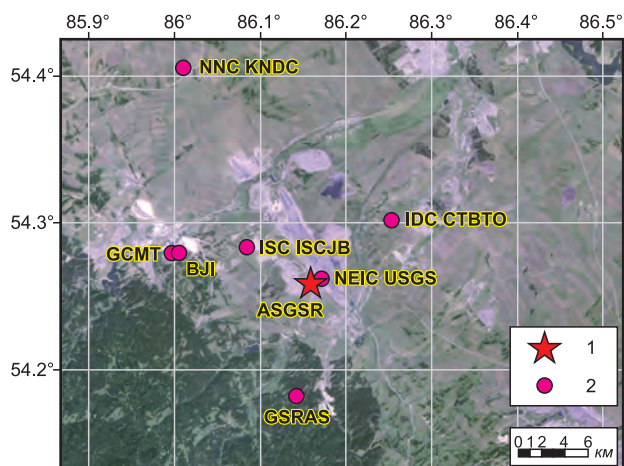
Основные параметры Бачатского землетрясения, полученные по данным региональных

**Таблица 1.** Основные параметры Бачатского землетрясения 18 июня 2013 г. по данным АСФ ФИЦ ЕГС РАН (ASGSR) в сопоставлении с определениями других агентств

Код агентства	$t_0$ , чч.мм.сс.с	$\Delta t_0$ , с	Гипоцентр				Магнитуда / количество станций	Источник
			$\varphi$ , °N	$\lambda$ , °E	$h$ , км	$\delta h$ , км		
ASGSR	23:02:06.9		54.2608	86.1608	3.6	1	$MLV=6.1$ , $M_s=5.1/2$	[Подкорытова и др., 2019; ISC]
GSRAS	23:02:08.7	1.07	54.183	86.145	14		$mb=5.8/89$ , $MS=5.0/46$ , $Mw=5.3/1$	[Сейсмологический ..., 2013]
ВЛ	23:02:06.9		54.28	86.01	11		$mb=5.2/78$ , $mB=5.3/53$ , $M_s=5.6/85$	[ISC]
GCMT	23:02:08.8	0.1	54.28	86.00	12f		$Mw=5.2/120$	[ISC]
IDC CTBTO	23:02:08.5	0.3	54.3034	86.2541	0f		$mb=5.2/40$ , $MS=4.8/34$	[ISC]
ISC ISCJB	23:02:09.7	0.35	54.2843	86.0859	10.3	2.0	$mb=5.5/259$ , $MS=5.1/86$	[ISC]
NEIC USGS	23:02:09.2	1.2	54.263	86.173	9.9	2.2	$mb=5.6/505$	[ISC]
NNC KNDC	23:02:08.3	1.63	54.4066	86.0111	11.8	5.3	$mb=6.1$ , $MPV=5.9$	[ISC]

Примечание: ASGSR – АСФ ФИЦ ЕГС РАН; GSRAS – ФИЦ ЕГС РАН; ВЛ – China Earthquake Networks Center, Beijing, China; GCMT – The Global CMT Project, Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, NY, USA; IDC CTBTO – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBTO), Vienna, Austria; ISC ISCJB – International Seismological Centre, Thatcham, Berkshire, United Kingdom; NEIC USGS – National Earthquake Information Center; Geological Survey, Denver, USA; NNC KNDC – National Nuclear Center, Kazakhstan Seismic Data Center is a division of the Institute of Geophysical Research of the National Nuclear Center, Almaty, Kazakhstan.

станций Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН, в сопоставлении с определениями международных сейсмологических агентств приведены в табл. 1. Сравнительное положение полученных эпицентров показано на рис. 1.



**Рис. 1.** Сопоставление регионального решения эпицентра Бачатского землетрясения 18 июня 2013 г. с решениями других агентств

1 – региональное решение эпицентра; 2 – другие решения

### Региональные данные и методика обработки

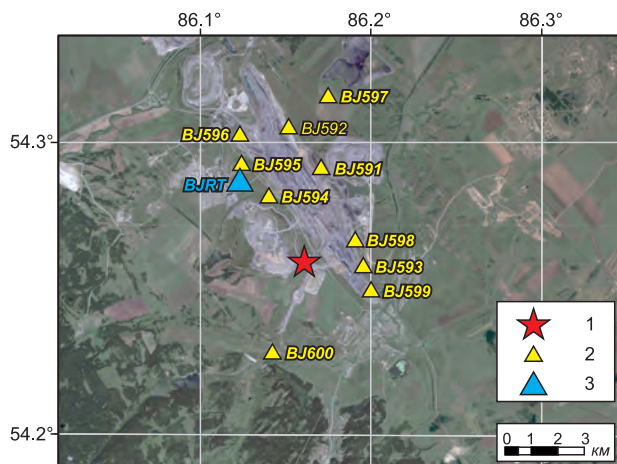
Определение энергетических характеристик, положений эпицентров главного толчка и афтер-

шоков проводилось с использованием программы LocSat [Bratt, Bache, 1988] в рамках глобальной скоростной модели IASPEI91 [Kennett, 1991]. Для уточнения положения гипоцентра применялся пакет программ HYPOINVERSE-2002 [Klein, 2002] с использованием локальной скоростной модели. Энергетические характеристики событий представлены в единицах локальной магнитуды  $ML$  [Bormann, 2002].

Для регистрации афтершокового процесса Бачатского землетрясения вблизи карьера была выставлена сеть из десяти автономных комплексов регистрации и одной станции с прямой передачей данных [Еманов и др., 2019]. Первые сейсмостанции были установлены уже через несколько часов после главного толчка, полностью запуск сети был завершён к 21 июня. Общее количество мест установки для локальной сети за период 2013–2014 гг. в результате сезонных перемещений составило 20 пунктов, при этом количество станций равнялось 11 и в течение этого времени не менялось. Расположение станций показано на рис. 2.

Через шесть дней после землетрясения (24 июня) в эпицентральной области была выставлена первая сейсмостанция с передачей данных в центр обработки в режиме, близком к реальному времени, с целью получения оперативных сведений о сильных землетрясениях в районе карьера. Сейсмостанция

с прямой передачей данных оснащена широкополосным велосиметром СМЕ-6211 с регистратором «Байкал-8.1», а на временных станциях установлены сейсмографы СК-1П и регистраторы «Байкал-АС-75».



**Рис. 2.** Конфигурация локальной сети наблюдений за афтершоковым процессом Бачатского землетрясения 18 июня 2013 г.

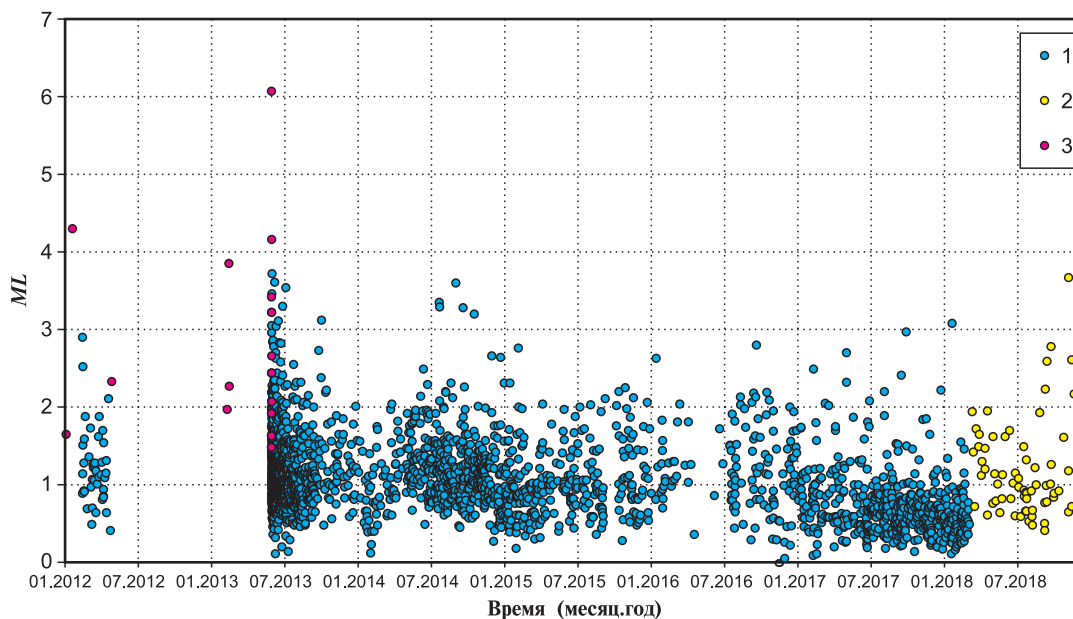
1 – эпицентр Бачатского землетрясения; 2 – автономные комплексы регистрации (показана установка летом 2013 г.); 3 – станция с прямой передачей данных

### Сейсмичность очаговой области Бачатского землетрясения

Сильнейшее техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. вызвало значительную сейсмическую активизацию в районе Бачатского угольного разреза. По данным регионального каталога Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН [Подкорытова и др., 2019], в очаговой области в 2013 г. зарегистрировано около 1000 сейсмических событий с  $ML=0.1-4.2$ . Афтершоковая активность продолжалась и в последующие годы. К концу 2018 г. в районе активизации Бачатского землетрясения зафиксировано более 2500 сейсмических событий, не являющихся промышленными взрывами. На рис. 3 представлена диаграмма распределения землетрясений в районе разреза «Бачатский» в плоскости «время–магнитуда», пространственные координаты исключены. Сравнивая результаты обработки по станциям региональной сети (жёлтые и красные кружки на рис. 3) и уточнённой обработки с использованием временных станций (зелёные кружки на рис. 3), видим,

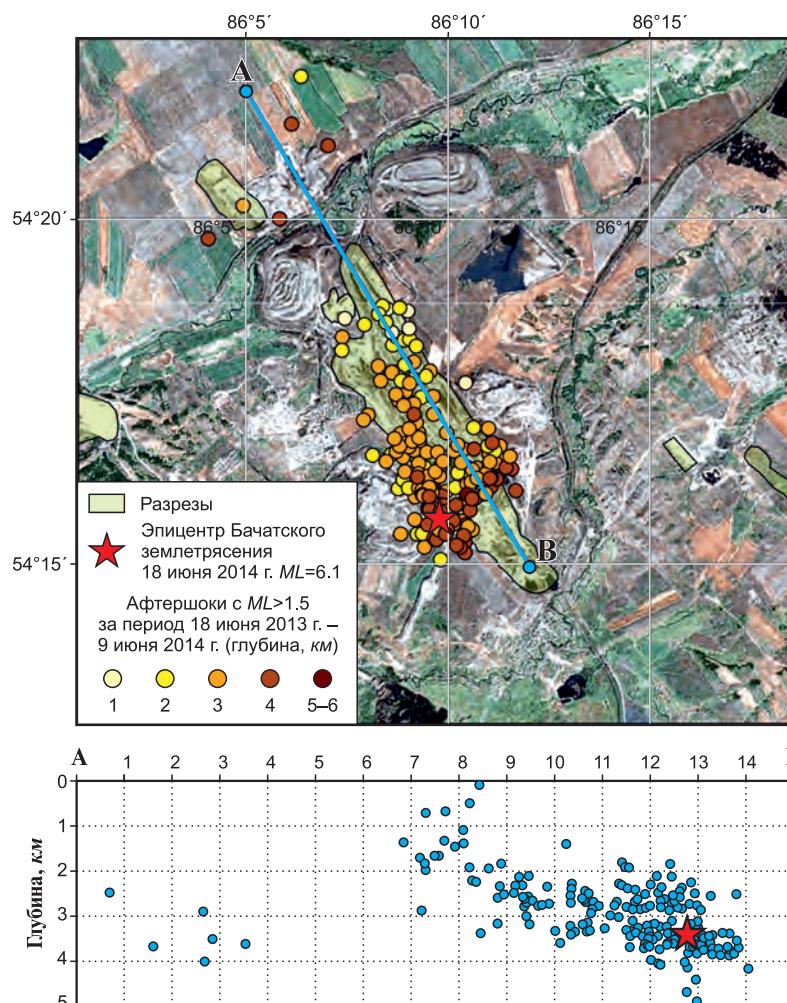
что обработка без участия плотных временных сетей станций представляет сейсмический процесс в несколько обеднённом виде. Такие данные полезны: они хорошо определяют верхний энергетический уровень сейсмической активности разреза, оперативно дают информацию о координатах наиболее опасных событий, позволяют делать заключения о сейсмической опасности добычи угля на разрезе. Данные, полученные по более плотной сети, с уточняющей обработкой являются основой для анализа с целью прогноза новых активизаций и крупных техногенных землетрясений. Кроме того, хорошо заметна разница в представительности регистрации между данными региональной сети (красные кружки на рис. 3) и данными с этой же сети, но дополненной локальными станциями непосредственно в районе угольного разреза «Бачатский» (жёлтые кружки на рис. 3), выставленными в 2013 г. [Еманов и др., 2016] (рис. 3).

Данные, представленные на рис. 3, показывают, что развитие сейсмического процесса во времени весьма неоднородно. Максимальная сейсмическая активность наблюдалась в первые месяцы после главного толчка – с 18 июня по начало октября 2013 года. Затем, до мая 2014 г., интенсивность сейсмического процесса снизилась. С мая 2014 г. количество техногенных землетрясений увеличилось, а с сентября 2014 г. фиксировались землетрясения с  $ML>3$ . Такая ситуация наблюдается вплоть до марта 2015 г., начиная с которого и до конца августа 2016 г. землетрясений с  $ML>2.1$  вновь не зарегистрировано. Начиная с августа 2016 г., вновь периодически (с интервалом в 3–5 месяцев) фиксируются события с  $ML>2.2$ . В области малых энергий по данным станций временной сети, начиная с июня-июля 2017 г., наблюдается увеличение количества землетрясений с  $ML<1$  (рис. 3). Начиная с апреля 2018 г., обработка землетрясений проведена только по данным региональной сети, без станций временной локальной сети. Конфигурация региональной сети позволяет без пропусков регистрировать землетрясения с  $K_{\min} \geq 5$  ( $ML_{\min} \geq 1.5$ ) [Еманов и др., 2019в]. В связи с отсутствием обработки по локальной сети число слабых землетрясений в правой части диаграммы на рис. 3 резко уменьшилось, но, судя по наличию событий с  $ML>2$ , сейсмическая активность в районе Бачатского угольного разреза оставалась высокой.



**Рис. 3.** Диаграмма распределения землетрясений в районе разреза «Бачатский» в плоскости «время–магнитуда» за период 2012–2018 гг.

Землетрясения, обработанные по данным: 1 – станций детальной временной сети с использованием региональной сети и локальной сети в районе Бачатского разреза; 2 – станций локальной сети в районе Бачатского разреза с использованием региональной сети; 3 – станций региональной сети



**Рис. 4.** Карта эпицентров афтершоков Бачатского землетрясения 18 июня 2013 г. с  $ML \geq 1.5$  за период 18.06.2013–09.06.2014 гг. (верхний рисунок), и проекция на вертикальную плоскость А–В землетрясений с уточнённой глубиной (нижний рисунок)

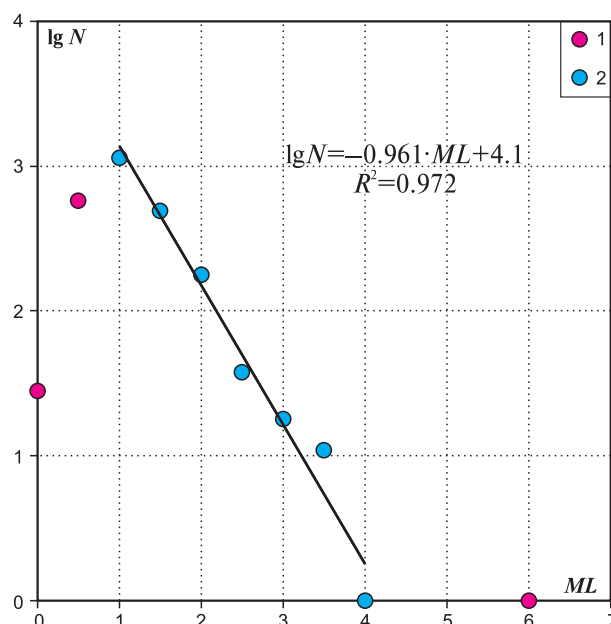
На рис. 4 представлены карта эпицентров событий с глубинами и разрез вдоль линии АВ. В районе эпицентра Бачатского землетрясения фокусируется наибольшее число крупных событий и к тому же наиболее глубоких (большая часть событий имеют глубину 2–4 км и лишь небольшое их число – до 5 км). Вдоль разреза по направлению на северо-запад глубины землетрясений уменьшаются, и на северном окончании угледобывающего разреза «Бачатский» события происходят практически непосредственно под выработкой на глубинах от сотен метров до 2 км.

### График повторяемости

Для сравнения характеристик сейсмического режима эпицентральной области Бачатского землетрясения с другими природными и техногенными активизациями в Алтае-Саянском регионе были построены графики повторяемости (табл. 2).

Для зон природных сейсмических активизаций (Чуйско-Курайской и Алтае-Саянской горной области в целом) угол наклона графиков повторяемости составляет порядка 0.77, что ниже той же характеристики (0.96) для землетрясений района Бачатского разреза (рис. 5). Отличие угла наклона графика повторяемости наведённой сейсмичности в районе разреза «Бачатский» от такового для природной сейсмичности – довольно значимое.

Из приведённых техногенных активизаций (табл. 2) сейсмичность разреза «Бачатский» характеризуется наиболее низким значением коэффициента наклона графика повторяемости. Другие рассмотренные техногенные активизации приурочены к районам подземных выработок. Увеличение угла наклона означает большее количество землетрясений малых энергий в общем числе событий. В соответствии с полу-



**Рис. 5.** График повторяемости сейсмической активизации в районе Бачатского разреза за период 2013–2018 гг.

1 – непредставительные данные (исключены из расчёта); 2 – представительные данные

ченными данными для разреза «Бачатский» доля крупных землетрясений в сейсмическом процессе выше, чем в изученных активизациях около подземных выработок. Наклон графика для близких друг к другу активизаций в г. Осинники и на шахте «Распадская» примерно одинаков, что говорит о подобии их сейсмических режимов. Наибольшее значение данного коэффициента отмечается для событий в районе г. Польшаево. В целом это достаточно уникальная сейсмически активизированная зона с числом техногенных землетрясений до 70 в сутки и более, но при этом энергия событий существенно меньше, чем на разрезе «Бачатский».

**Таблица 2.** Характеристики графиков повторяемости для различных территорий Алтае-Саянского региона

Территория	Период наблюдений	Количество землетрясений	Наклон графика повторяемости	Представительная магнитуда (ML)
Алтае-Саянская область в целом	1734–2014	74992	0.772	2.5
Чуйско-Курайская зона	1734–2014	6617	0.768	2.5
г. Осинники	2005	201	1.254	1.0
Шахта «Распадская»	2010	721	1.286	0.0
г. Польшаево	2007–2009	3851	1.771	1.5
Разрез «Бачатский»	2013–2018	2482	0.961	1.0

### Механизмы

Для 40 событий афтершоковой серии Бачатского землетрясения получены механизмы очага [Еманов и др., 2019а]. Механизм очага главного толчка (рис. 6) представляет собой практически чистый взброс, нодальные плоскости расположены вдоль простирания угольного разреза, что может быть одним из доказательств техногенной природы этого землетрясения. Помимо этого, в пользу техногенной природы Бачатского землетрясения свидетельствует и сила толчка — магнитуда

около шести соотносится с размерами очага порядка  $L \approx 10$  км, что сопоставимо с длиной угольного разреза и протяжённостью области, занятой афтершоками (эпицентры большинства из них попадают внутрь карьера).

Фокальные механизмы землетрясений с  $ML > 2$  указывают на преобладание вертикальных подвижек в очагах. Основной тип механизмов — взбросы с разноориентированными нодальными плоскостями, отмечаются также сбросы и сдвиги с компонентами взброса (рис. 6).

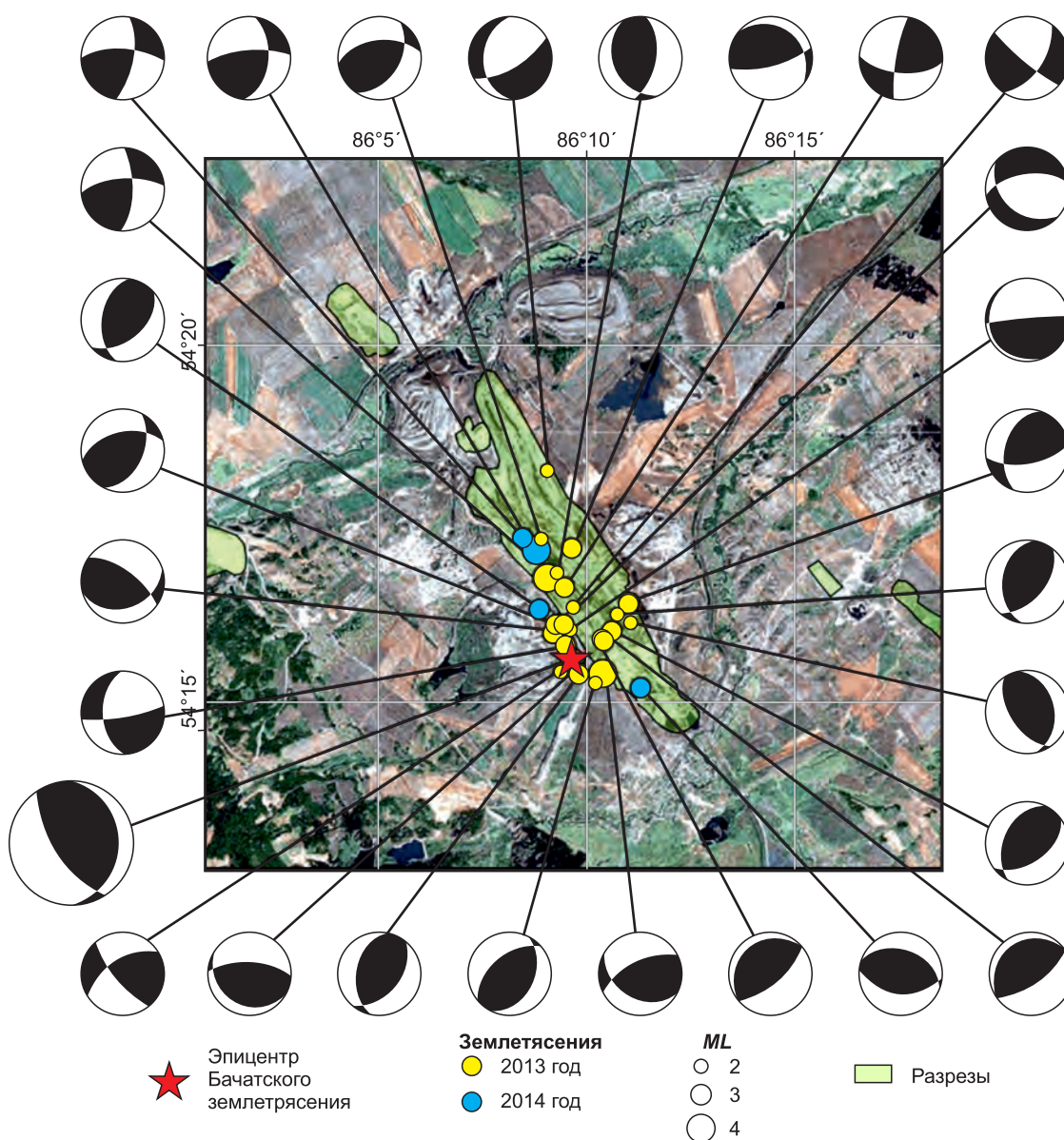


Рис. 6. Механизмы очагов Бачатского землетрясения и крупных афтершоков

### Макросейсмические данные

По результатам макросейсмического обследования территории [Еманов и др., 2019в], в ближайших к эпицентру посёлках интенсивность сотрясений достигала 7 баллов, были отмечены разрушения зданий. В 5-балльную зону попали некоторые города Кузбасса (Гурьевск, Белово, Киселёвск и др.), а ощущалось землетрясение и за пределами Кемеровской области (табл. 3, рис. 7).

На рис. 8 представлены фотографии разрывов, зафиксированных вдоль разреза на всём его

протяжении (около 10 км). Фотографии сделаны в первые дни после землетрясения. Позже разрывы заровняли с помощью бульдозеров (след от работы бульдозера виден на рис. 8а). На рис. 9 представлены фотографии характерных разрушений зданий вследствие Бачатского землетрясения. В близкой к эпицентру области большую часть строений составляют одноэтажные дома. Данное землетрясение вызвало разрушения разной степени в сотнях домов.

**Таблица 3.** Макросейсмические сведения о Бачатском землетрясении 18 июня 2013 г. с  $M_L=6.1$ ,  $I_0=7$  баллов

№	Пункт	φ, °N	λ, °E	Δ, км	№	Пункт	φ, °N	λ, °E	Δ, км
7 баллов					33	Первомайский	53.88	86.72	56
1	Бачатский	54.28	86.11	4	34	Красное	54.60	85.37	64
2	Старобачаты	54.24	86.21	4	35	Новокузнецк	53.76	87.15	85
6 баллов					36	Куртуково	53.65	87.20	96
3	Щебзавод	54.19	86.15	8	37	Осинники	53.63	87.36	105
4	Шестаки	54.31	86.04	10	38	Красный Калтан	53.61	87.44	111
5	Новобачаты	54.25	86.35	12	39	Новосибирск	54.85	83.23	200
6	Белово	54.43	86.30	21	3 балла				
5–6 баллов					40	Калачёво	53.79	86.95	73
7	Шанда	54.32	86.08	8	41	Борисово	54.03	85.00	80
8	Радужный	54.30	86.30	10	42	Славино	54.03	87.40	85
9	Ильича	54.30	86.37	14	43	Шахта «Большевик»	53.90	87.33	86
10	Трудоармейский	54.14	86.41	21	44	Журавлёво	54.77	85.05	91
11	Краснобродский	54.15	86.44	22	45	Чистогорский	53.95	87.47	92
12	Карагайла	54.17	86.55	27	46	Зап.-Сиб. мет. комбинат	53.90	87.45	93
13	Тихоновка	54.24	86.59	28	47	Залесово	53.99	84.75	97
5 баллов					48	Шушталеп	53.57	87.28	106
14	Раздольный	54.30	86.03	10	49	Берёзовая Грива	53.67	87.48	108
15	Гурьевск	54.28	85.95	14	50	Калтан	53.52	87.27	110
16	Сосновка	54.29	85.95	14	51	Кемерово	55.35	86.06	121
17	Грамотеино	54.52	86.37	32	52	Яшкино	55.87	85.42	185
18	Польсаево	54.60	86.18	38	2 балла				
19	Ленинск-Кузнецкий	54.68	86.18	47	53	Ильинка (Новая Ильинка)	53.90	87.17	77
4–5 баллов					54	Осиновое Плёсо	54.20	87.53	89
20	Малосалаирка (ферма)	54.33	85.94	16	55	Юрга	55.72	84.89	181
21	Инской	54.42	86.42	24	56	Барнаул	53.36	83.67	192
22	Чкаловский	54.67	85.92	48	57	Тайга	56.06	85.56	204
23	Заринск	53.70	84.93	102	не ощущалось				
4 балла					58	Тальменка	53.82	83.57	176
24	Степной	54.30	86.47	21	59	Болотное	55.67	84.40	193
25	Бурлаки	54.13	86.39	21	60	Таштагол	52.83	87.97	199
26	Канаш	54.07	86.33	24	61	Колывань	55.30	82.74	248
27	Инчеково	54.05	86.37	27	62	Чулым	55.09	80.97	346
28	Михайловка	54.05	86.36	27	63	Славгород	53.05	78.73	508
29	Чуваш-Пай	54.33	85.69	32	64	Барабинск	55.35	78.33	516
30	Киселёвск	54.01	86.68	44	65	Карасук	53.73	78.04	534
31	Торопово	54.67	85.67	55	66	Усть-Тарка	55.56	75.71	683
32	Прокопьевск	53.90	86.75	56					

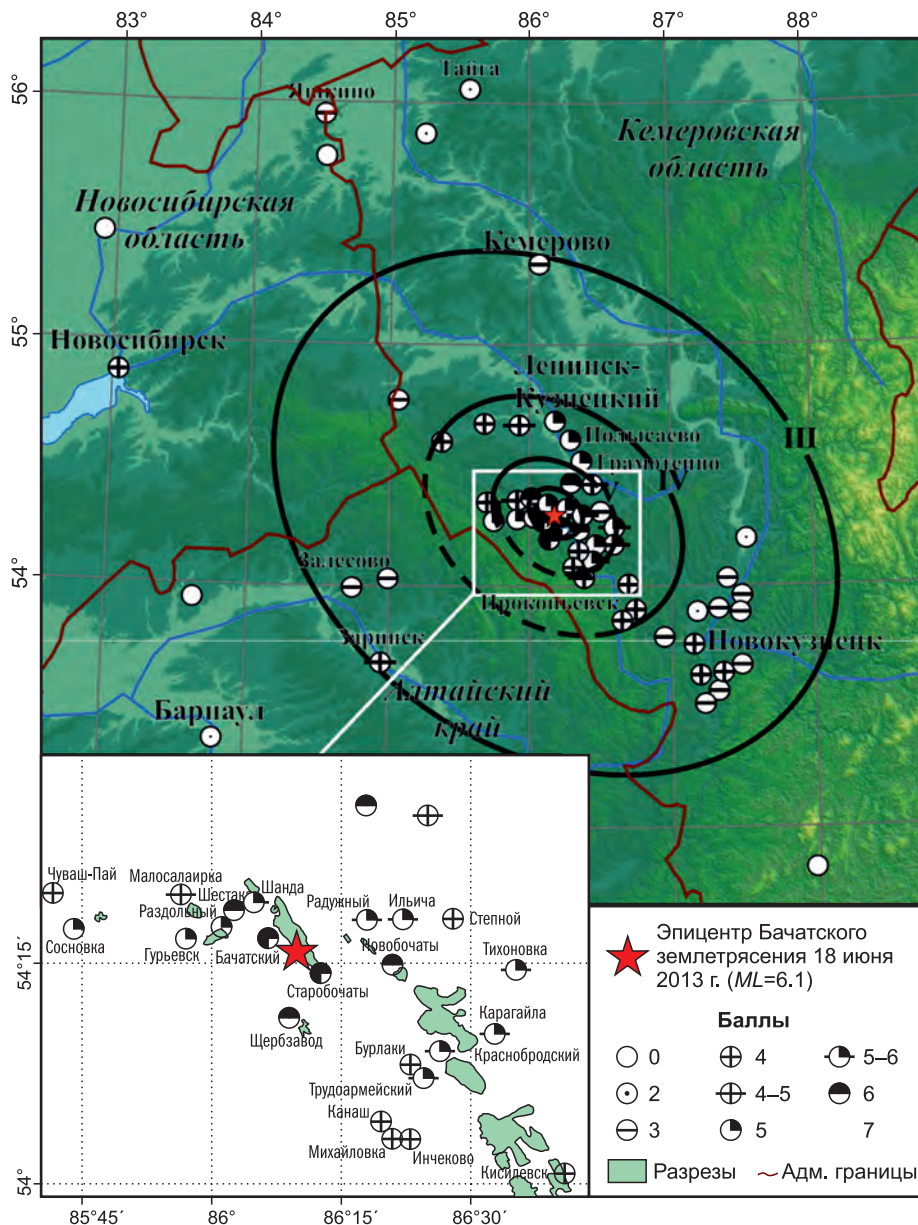


Рис. 7. Карта изосейст Бачатского землетрясения 18 июня 2013 г.



Рис. 8. Фотографии разрывов, сформировавшихся вдоль бортов угольного разреза «Бачатский» при основном толчке Бачатского землетрясения





Рис. 9. Разрушения зданий при Бачатском землетрясении

### Тектоническая позиция очага

Разрез «Бачатский» расположен в Кузнецкой впадине, являющейся тектонической структурой Алтае-Саянской горной области. Надёжные данные о скоростном строении впадины получены по данным ГСЗ на двух профилях, один из которых выполнен вдоль [Крылов и др., 1974], а другой – поперёк [Крылов и др., 1970; Крылов и др., 1971] неё. При обобщении результатов ГСЗ в Западной Сибири [Пузырев, Крылов, 1971] было отмечено блоковое строение земной коры Алтае-Саянской горной области. Кузнецкая впадина выделяется как отдельный блок, в котором мощность земной коры достигает 38–41 км, что на 5–10 км меньше, чем в прилегающих горных районах, сочленение с которыми происходит по зонам глубинных разломов. Поверхность интенсивно метаморфизованного складчатого основания впадины находится на глубинах 7–14 км, а граничная скорость вдоль неё меняется в интервале 6.1–6.5 км/с. Осадки – градиентная среда с увеличением скорости с глубиной от 4.0–4.5 км/с сверху до 6.0 км/с внизу. По геологическим данным [Васильев и др., 2011], мощность осадков в Кузнецкой впадине около 9 км. Осадочная толща перемята в складки [Угольная база..., 2003; Новиков и др., 2008; Новиков и др., 2013]. Особенно велики амплитуды складок со стороны Салаирского кряжа, где и находится разрез «Бачатский». В районе разреза угольные пласты имеют близвертикальное залегание, поэтому добыча угля идёт по пласту сверху вниз. Глубина разреза по проекту добычи должна достигнуть 550 м. По данным ГСЗ [Крылов и др., 1970], это – наибольшая глубина до фундамента впадины со стороны Салаира.

Согласно результатам тектонических исследований [Новиков и др., 2013; Белицкий, 1959],

блоковая структура впадины может отражаться на процессах наведённой сейсмичности. Кроме того, на южной оконечности впадины присутствуют разрывные нарушения [Овсюченко и др., 2010], к которым приурочены крупные Кузнецкие землетрясения 1898 и 1903 гг. [Лаврентьев, 1971]. Эти события были явно природными землетрясениями и укладываются в закономерности развития сейсмического процесса в Алтае-Саянской горной области.

Общие закономерности природной сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области можно сформулировать следующим образом [Еманов и др., 2005]:

- сочетание приподнятых горных массивов с впадинами создаёт ячеистую структуру. Впадины представляют собой более крупные и прочные её элементы, чем блоки раздробленных горных хребтов, и оказывают основное сопротивление коллизийным процессам. Сейсмичность упорядочивается в соответствии с блоковой структурой Алтае-Саянской горной области, концентрируясь преимущественно в горном обрамлении;

- в сейсмическом режиме региона выделяются фоновая сейсмичность и сейсмические активизации, связанные, как правило, с крупными землетрясениями;

- сейсмические активизации проявляют себя как нестационарный режим той или иной геологической структуры. Мощные сейсмические активизации структур Алтае-Саянской области формировались вокруг крупнейших землетрясений, прежде всего, как афтершоковый процесс.

### История сейсмичности в очаговой зоне

Ощутимые землетрясения в Кузбассе известны как в поздне-инструментальный, так и в ранне-инструментальный периоды регистрации.

Наиболее мощные из них – Кузнецкое-1 и Кузнецкое-2 – произошли в 1898 и 1903 гг. ( $M=5.7$  и  $6.1$  соответственно) вблизи г. Новокузнецка [Лаврентьев, 1971] (рис. 10). Данные землетрясения вызвали сотрясения с интенсивностью до 7 баллов в ближайших деревнях и посёлках.

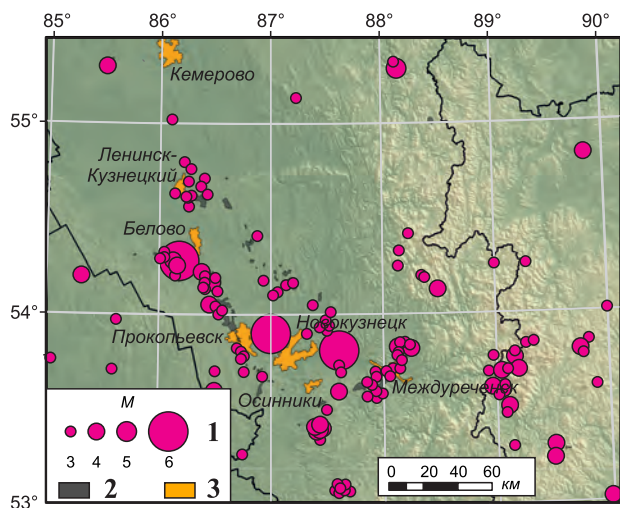


Рис. 10. Карта эпицентров землетрясений Кузбасса с  $M>2$  за период 1734–2019 гг.

1 – магнитуда; 2 – угледобывающие карьеры; 3 – населённые пункты

Сейсмичность вблизи разреза «Бачатский» изучалась и до Бачатского землетрясения [Еманов и др., 2009; Еманов и др., 2014; Еманов и др., 2016; Рогожин и др., 2017]. До 2012 г. в районе разреза «Бачатский» региональной сетью были зафиксированы шесть землетрясений (с 1992 по 2011 г.,  $1.3 \leq M \leq 2.0$ ); все относительно крупные землетрясения ( $ML>2$ ) фиксировались,

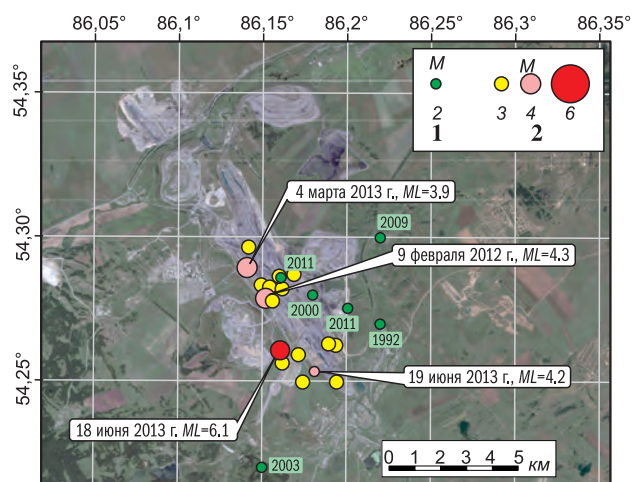


Рис. 11. Карта эпицентров землетрясений в районе угольного разреза «Бачатский»

1 – магнитуда, период 1734–2011 гг.; 2 – магнитуда (только события с  $M>2$ ), период 2012–2019 гг.

начиная с 2012 г. (рис. 11). По данным региональной сети сейсмических станций 9 февраля 2012 г. ( $ML=4.3$ ) и 4 марта 2013 г. ( $ML=3.9$ ) произошли землетрясения, вызвавшие ощутимые колебания в ряде городов Кемеровской области (рис. 11). Плотная сеть из 25 временных автономных комплексов регистрации, работавшая в период 2 марта–15 мая 2012 г. в окрестностях угольного разреза [Еманов и др., 2014], зафиксировала 42 сейсмических события с глубинами гипоцентров  $h=1–3$  км, не являющихся промышленными взрывами и пространственно увязанных с разрезом.

### Заключение

Детальное изучение Бачатского землетрясения и его афтершокового процесса по данным плотных высокоточных сетей станций позволило сформулировать следующие представления о характерных особенностях сейсмического режима в районе угледобывающего разреза «Бачатский»:

- Бачатское землетрясение явилось уникальным по энергии событием в районах промышленной добычи полезных ископаемых. Главный толчок и последовавшая за ним серия афтершоков пространственно увязываются с угледобывающим разрезом;

- землетрясение произошло в отложениях, заполняющих Кузнецкую впадину. Гипоцентры главного толчка и афтершоков распространяются от ложа разреза в глубину на 4–5 км;

- сейсмический режим техногенной активизации непрерывен и не стационарен. Выделяются как периоды фонового уровня сейсмичности, пониженного по энергии максимальных землетрясений и с разреженной частотой слабых событий, так и периоды активизаций с сильными землетрясениями и увеличенной частотой слабых событий. При этом длительность сейсмических активизаций составляет от трёх до девяти месяцев. Пульсирующий режим сейсмичности разреза «Бачатский» является характерным для техногенных сейсмических активизаций при добыче твёрдых полезных ископаемых [Опарин и др., 2005; Адушкин, Турнтаев, 2015];

- на основе сравнительного анализа материалов эпицентральных работ в зонах крупнейших землетрясений Алтае-Саянской горной области установлено отличие в параметрах графика повторяемости сейсмической активизации в районе угольного разреза «Бачатский» от природных активизированных зон;

- механизм очага Бачатского землетрясения – взброс с ориентировкой одной из плоскостей

подвижки вдоль длинной оси разреза. Ориентировка соответствует техногенному воздействию.

Перечисленные факты указывают на техногенную природу Бачатского землетрясения. Столь мощное сейсмическое событие вызвано в первую очередь сильнейшим техногенным воздействием, вероятнее всего связанным с перемещением масс при добыче угля открытым способом. Безусловно, нельзя исключать и природные условия Кузнецкой котловины. Впадина по мощности осадков превосходит остальные впадины Алтае-Саянской складчатой области. Горизонтальное сжатие, как и во всём регионе, должно обеспечивать развитие сейсмического процесса в Кузнецком хребте и в Салаире. Сейсмичность, сконцентрированная непосредственно в районе горных выработок, является ещё одним доказательством техногенной природы землетрясений Кузнецкой впадины.

С первого дня после события важнейшей задачей было выяснение природы происхождения данного землетрясения, поскольку сразу же встаёт вопрос об ответственности за его последствия. Руководителей добывающих уголь предприятий устраивает формулировка «природное землетрясение». И до тех пор, пока определение координат событий выполнялось по редкой региональной сети и не было возможности относить землетрясения к конкретным предприятиям, а также определять их глубины, можно было объявлять землетрясение тектоническим, а предприятиям уходить от ответственности за его последствия.

Развитие сети сейсмических станций в Кузбассе обеспечило новый уровень точности определения координат событий [Еманов и др., 2015]. На сегодняшний день очаги повышенной сейсмичности в Кузбассе, как правило, укладываются в участки ведения горных работ и не связаны с разломной тектоникой, что позволило сделать вывод о доминировании наведённой сейсмичности в Кузбассе над природной. На современном уровне развития сейсмологической сети в Кузбассе природная сейсмичность легко отличается от наведённой.

**Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-01304-20.**

### Литература

Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. – М.: ИДГ РАН, 2015. – 364 с.

Белицкий А.А. К разработке методики прогноза нарушенности шахтных полей Кузбасса // Вопросы гео-

логии Кузбасса. – Томск: Изд-во Томского политех. ин-та, 1959. – Т. 99, № 2. – С. 280–295.

Васильев Б.Д., Гумерова Н.В., Фальк А.Ю., Мезенцева О.П. О времени заложения прогибов Алтае-Саянской складчатой области // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318, № 1. – С. 5–7.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Куршиш О.В., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Алтае-Саянского региона за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019а. – Приложение на CD-ROM.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В. Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 г. ( $M_L=6.1$ ) в Кузбассе – сильнейшее в мире при добыче твёрдых полезных ископаемых // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – Т. 43, № 4. – С. 34–60.

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. 49–64.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в районе разреза «Бачатский» Кемеровской области в 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019б. – Приложение на CD-ROM.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Корабельщиков Д.Г., Дураченко А.В. Система мониторинга наведённой сейсмичности Кузбасса и триггерные эффекты в развитии сейсмического процесса // Триггерные эффекты в геосистемах: Материалы Третьего Всероссийского семинара-совещания ИДГ РАН. – М.: ГЕОС, 2015. – С. 190–199.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г. Техногенная сейсмичность разрезов Кузбасса (Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г.) // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2. – С. 41–46.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Шевкунова Е.В. Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019в. – С. 139–149.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В. Пространственно-временные особенности сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны // Физическая мезомеханика. – 2005. – Т. 8, № 1. – С. 37–43.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чурашев С.А., Манушин С.Н., Корабельщиков Д.Г., Фатеев А.В. (сост.). Стационарные сейсмические станции Алтае-Саянского региона в 2013 г. (код сети ASRS) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019 г. – Приложение на CD-ROM.

Крылов С.В., Егоров Г.В., Дубовик Л.В., Бочанов А.И. Глубинные сейсмические исследования в Кузбассе с применением промышленных взрывов и аппаратуры

«Тайга» // Глубинные сейсмические исследования в Западной Сибири. — М.: Наука, 1970. — С. 114–123.

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.

Крылов С.В., Мишенькин Б.П., Рудницкий А.Л., Суворов В.Д. Характеристика Западно-Сибирского региона по данным глубинного сейсмического зондирования // Строение земной коры в Западной Сибири (по результатам глубинного сейсмического зондирования). — Новосибирск: ИГиГ СО РАН, 1974. — С. 6–15.

Лаврентьев А.И. О неотектонических структурах и землетрясениях района Новокузнецка // Геология и геофизика. — 1971. — № 9. — С. 117–122.

Новиков И.С., Сокол Э.В., Травин А.В., Новикова С.А. Пирометаморфические индикаторы кайнозойских орогенных движений: минералогические и геохронологические аспекты на примере зоны перехода от Салаира к Кузбассу // Геология и геофизика. — 2008. — № 6. — С. 503–526.

Новиков И.С., Черкас О.В., Мамедов Г.М., Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю., Наставко В.Г. Основные черты новейшей блоковой делимости Кузбасса // Геология и геофизика. — 2013. — Т. 54, № 3. — С. 424–437.

Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Новиков С.С., Марханов А.В., Ларьков А.С., Акбиев Р.Т., Могушков И.П. Палеогеологические и тектонические исследования сейсмоопасных территорий юга Кузбасса // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2010. — № 6. — С. 35–45.

Опарин В.Н., Востриков И.В., Жилкина Н.Ф., Тациев А.П. О пульсирующем режиме сейсмозергвыделения из напряжённых участков шахтных полей // Физическая мезомеханика. — 2005. — Т. 8, № 1. — С. 15–22.

Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Подлипская Л.А., Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Лескова Е.В.,

Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В., Кузнецова Н.В. (сост.). Каталог землетрясений Алтая и Саян в 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. — Вып. 22 (2013 г.). — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. — Приложение на CD-ROM.

Пузырев Н.Н., Крылов С.В. Особенности строения земной коры Западной Сибири по данным глубинных сейсмических зондирований // Проблемы нефтеносности Сибири. — Новосибирск: Наука, 1971. — С. 94–113.

Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. О природе сейсмических активизаций в Кузбассе // Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых. Материалы конференции. — М.: Изд-во РУДН, 2017. — С. 554–556.

Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2013 // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2013](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2013)

Угольная база России. Т. 2. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири / Ред. В.Ф. Череповский. — М.: Геоинформцентр, 2003. — 602 с.

Bormann P. Magnitude of seismic events // New manual of seismological observatory practice (NMSOP). IASPEI / Ed. by P. Bormann. — Potsdam, Germany: GeoForschungsZentrum, 2002. — P. 3-16–3-49.

Bratt S.R., Bache T.C. Locating events with a space network of regional arrays // Bulletin of the Seismological Society of America. — 1988. — V. 78. — P. 780–798.

International Seismological Centre [Сайт]. — URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/> — Thatcham, Berkshire, United Kingdom, 2019.

Kennett B.L.N. (Ed.). IASPEI 1991 Seismological Tables. — Australian National University: Research School of Earth Sciences, 1991. — 167 p.

Klein F.W. User's guide to HYPOINVERSE-2000: A Fortran program to solve for earthquake locations and magnitudes. — U.S. Geol. Surv., 2002. — 123 p.

### Сведения об авторах

**Еманов Александр Фёдорович**, д-р техн. наук, директор Алтае-Саянского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (АСФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Новосибирск, Россия. E-mail: [emanov@gs.sbras.ru](mailto:emanov@gs.sbras.ru)

**Еманов Алексей Александрович**, канд. геол.-мин. наук, зам. директора АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, Россия; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), г. Новосибирск, Россия. E-mail: [alex@gs.sbras.ru](mailto:alex@gs.sbras.ru)

**Фатеев Александр Владимирович**, ст. науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, Россия; ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия. E-mail: [fateev@gs.sbras.ru](mailto:fateev@gs.sbras.ru)

## Bachatskiy induced earthquake on June 18, 2013, ML=6.1, $I_0=7$ (Kuzbass)

© 2020 A.F. Emanov<sup>1</sup>, A.A. Emanov<sup>1,2</sup>, A.V. Fateev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ASB GS RAS, Novosibirsk, Russia; <sup>2</sup>IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia

**Abstract** The Bachatskiy earthquake of June 18, 2013 and a seismic activation of the same name coal strip mine, started several years before the earthquake and still persists today, have been studied using temporal local seismic arrays in the area. It was found experimentally that the seismic process area is closely connected to open workings, and the earthquakes are extended from the working bed to a depth of 4-5 km. Adjacent to the mine depression sedimentary rocks were activated. Technogenic seismic regime is continuous and not stationary: intervals of background seismicity with relatively weak and seldom events are disturbed by bursts of activity with a rise in magnitude of stronger earthquakes and frequency of occurrence of weak events. The seismic activation may last for 1-3 months. During the last five years, four seismic activations have been recorded, three of which were generated by large earthquakes of 09.02.2012, ML=4.3; 04.03.2013, ML=3.9; 18.06.2013, ML=6.1. The last one was completed by a series of perceptible earthquakes with local magnitude 3.0-3.5. The focal mechanism of the Bachatskiy earthquake is a thrust fault with one of the motion planes corresponding to the anthropogenic impact. The earthquake flow forms a single process in the space with b-value of Gutenberg-Richter relationship different from the natural seismicity. The studied induced seismicity does not correspond to the structural regularities of natural seismicity in the Altai-Sayan mountain area. The findings prove that the Bachatskiy earthquake and associated activation can be considered as man-made events.

**Keywords** Bachatskiy earthquake, induced seismicity, technogenic earthquake, coal open pit mining, Kuzbass.

**For citation** Emanov, A.F., Emanov, A.A., & Fateev, A.V. (2020). [Bachatskiy induced earthquake on June 18, 2013, ML=6.1,  $I_0=7$  (Kuzbass)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(1), 48-61. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.05>

### References

- Adushkin, V.V., & Turuntaev, S.B. (2015). *Tekhnogennaia seismichnost' - indutsirovannaia i triggernaia* [Technogenic seismicity - induced and trigger]. Moscow, Russia: IDG RAS Publ., 364 p. (In Russ.).
- Belitskii, A.A. (1959). [To develop a methodology for predicting the disturbance of Kuzbass mine fields]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [News of Tomsk Polytechnic University], 99(2), 280-295. (In Russ.).
- Bormann, P. (Ed.) (2002). Magnitude of seismic events. *New manual of seismological observatory practice (NMSOP)*. IASPEI (pp. 3-16-3-49). Potsdam, Germany: GeoForschungsZentrum.
- Bratt, S.R., & Bache, T.C. (1988). Locating events with a space network of regional arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78, 780-798.
- Cherepovskii, V.F. (2003). *Ugol'naiia baza Rossii. T. 2. Ugol'nye basseiny i mestorozhdeniia Zapadnoi Sibiri* [Coal base of Russia. V. 2. Coal basins and deposits of Western Siberia]. Moscow, Russia: Geoinformcentr Publ., 602 p. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., & Fateev, A.V. (2019). [The local network of seismic stations ASB FRC GS RAS near the coal open pit mining "Bachatskiy", Kemerovo region in 2013]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Churashev, S.A., Manushin, S.N., Korabel'shchikov, D.G., & Fateev, A.V. (2019). [Stationary seismic stations of the Altai-Sayan region in 2013 (ASRS network code)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V., Leskova, E.V., Korabel'shchikov, D.G., & Durachenko, A.V. (2015). [Monitoring system for induced seismicity in Kuzbass and trigger effects in development of the seismic process]. In *Triggernye efekty v geosistemakh: Materialy Tre'tego Vseros. seminar-soveshchaniia IDG RAN* [Trigger effects in geosystems: Proceedings of the Third all-Russia seminars and meetings of IDG RAS] (pp. 190-199). Moscow, Russia: GEOS Publ. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V., Podkorytova, V.G., & Shevkunova, E.V. (2019). [Altai and Sayan mountains]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 139-149. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Filina, A.G., & Leskova, E.V. (2005). [Spatio-temporal features of seismicity of the Altai-Sayan folded zone]. *Fizicheskaiia mezomekhanika* [Physical mesomechanics], 8(1), 37-43. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Kuprisha, O.V., Leskova, E.V., Fateev, A.V., & Shevkunova, E.V. (2019). [The focal mechanisms of strong earthquakes in the Altai-Sayan region in 2013]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii*

- [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Leskova, E.V., & Fateev, A.V. (2016). [The technogenic ML=6.1 Bachatsky earthquake of June 18, 2013 in Kuzbass: the World strongest event during mining operations]. *Voprosy inzhenernoy seysmologii* [Problems of Engineering Seismology], 43(4), 34-60. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Leskova, E.V., Fateev, A.V., & Semin, A.Iu. (2009). [Seismic activation in the development of coal in the Kuzbass]. *Fizicheskaya mezomekhanika* [Physical mesomechanics], 12(1), 49-64. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Leskova, E.V., Fateev, A.V., Shevkunova, E.V., & Podkorytova, V.G. (2014). [Mining-induced seismicity at open pit mines in Kuzbass (Bachatsky earthquake on June 18, 2013)]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mining], 2, 41-46. (In Russ.).
- International Seismological Centre. (2019). On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom. Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
- Kennett, B.L.N. (Ed.) (1991). *IASPEI 1991 Seismological Tables*. Australian National University: Research School of Earth Sciences, 167 p.
- Klein, F.W. (2002). *User's guide to HYPOIN VERSE-2000: A Fortran program to solve for earthquake locations and magnitudes*. U.S. Geol. Surv., 123 p.
- Krylov, S.V., Egorov, G.V., Dubovik, L.V., & Bochanov, A.I. (1970). [Deep seismic investigation in the Kuzbass with the use of industrial explosions and apparatus "Taiga"]. In *Glubinnye seismicheskie issledovaniia v Zapadnoi Sibiri* [Deep seismic surveys in Western Siberia] (pp. 114-123). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Krylov, S.V., Mishen'kin, B.P., Krupskaya, G.V., & Petrik, G.V. (1971). [Deep seismic investigations in the area of Salair ridge]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 7, 79-83. (In Russ.).
- Krylov, S.V., Mishen'kin, B.P., Rudnitskii, A.L., & Suvorov, V.D. (1974). [Characteristics of the West Siberian region according to deep seismic sensing]. In *Stroenie zemnoi kory v Zapadnoi Sibiri (po rezul'tatam glubinnogo seismicheskogo zondirovaniia)*. [The structure of the earth's crust in Western Siberia (based on the results of deep seismic sensing)] (pp. 6-15). Novosibirsk, Russia: IGG SB RAS Publ. (In Russ.).
- Lavrent'ev, A.I. (1971). [About neotectonic structures and earthquakes in Novokuznetsk]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 9, 117-122. (In Russ.).
- Novikov, I.S., Cherkas, O.V., Mamedov, G.M., Simonov, Iu.G., Simonova, T.Iu., & Nastavko, V.G. (2013). [The main features of the latest block divisibility of Kuzbass]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 54(3), 424-437. (In Russ.).
- Novikov, I.S., Sokol, E.V., Travin, A.V., & Novikova, S.A. (2008). [Pyrometamorphic indicators of Cenozoic orogenic movements: mineralogical and geochronological aspects on the example of the transition zone from Salair to Kuzbass]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 6, 503-526. (In Russ.).
- Oparin, V.N., Vostrikov, I.V., Zhilkina, N.F., & Tapsiev, A.P. (2005). [On the pulsing mode of samoupravleniia of intense sites of mine fields]. *Fizicheskaya mezomekhanika* [Physical mesomechanics], 8(1), 15-22. (In Russ.).
- Ovsiuchenko, A.N., Rogozhin, E.A., Novikov, S.S., Marakhanov, A.V., Lar'kov, A.S., Akbiev, R.T., & Mogushkov, I.P. (2010). [Paleogeological and tectonic studies of seismic areas in the South of Kuzbass]. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Safety of facilities], 6, 35-45. (In Russ.).
- Podkorytova, V.G., Podlipskaya, L.A., Denisenko, G.A., Emanov, A.A., Manushina, O.A., Leskova, E.V., Shatalova, A.O., Shevelyova, S.S., Shevkunova, E.V., & Kuznecova, N.V. (2019). [Catalogue of earthquakes in Altai-Sayan region in 2013]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
- Puzirev, N.N., & Krylov, S.V. (1971). [Features of the structure of the earth's crust in Western Siberia according to deep seismic sensing]. In *Problemy neftenosti Sibiri* [Problems of oil-bearing capacity of Siberia] (pp. 94-113). Novosibirsk, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Rogozhin, E.A., Ovsiuchenko, A.N., & Lar'kov, A.S. (2017). [The nature of seismic activity in Kuzbass]. In *Sergeevskie chteniia. Geoekologicheskaya bezopasnost' razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. Materialy konferentsii*. [Sergeyev readings. Geo-ecological safety of mineral development. Conference proceedings] (pp. 554-556). Moscow, Russia: RUDN Publ. (In Russ.).
- GS RAS (2013), Bulletin of Teleseismic Stations, [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2013](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2013)
- Vasil'ev, B.D., Gumerova, N.V., Fal'k, A.Iu., & Mezentsseva, O.P. (2011). [About time of laying of deflections of the Altai-Sayan folded area]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [News of Tomsk Polytechnic University], 318(1), 5-7. (In Russ.).

### Information about authors

**Emanov Aleksandr Fedorovich**, Dr., Director of the Altai-Sayan Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (ASB GS RAS), Novosibirsk, Russia. E-mail: [emanov@gs.sbras.ru](mailto:emanov@gs.sbras.ru)

**Emanov Aleksey Aleksandrovich**, PhD, Deputy Director of the ASB GS RAS, Novosibirsk, Russia; Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia. E-mail: [alex@gs.sbras.ru](mailto:alex@gs.sbras.ru)

**Fateev Aleksandr Vladimirovich**, Senior Researcher of the ASB GS RAS, Novosibirsk, Russia; IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: [fateev@gs.sbras.ru](mailto:fateev@gs.sbras.ru)