

**УЧАЛИНСКОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 5 сентября 2012 г.****с  $K_p=9.5$ ,  $M_L=3.4$ ,  $I_0=5$  (Башкортостан)****Р.А. Дягилев<sup>1</sup>, Т.В. Злобина<sup>2</sup>, Н.С. Гусева<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, [dra@gsras.ru](mailto:dra@gsras.ru)<sup>2</sup>ГИ УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация.** 5 сентября 2012 г. в 20<sup>h</sup>11<sup>m</sup> в районе г. Учалы (Республика Башкортостан, Россия) произошло землетрясение с магнитудой  $M_L=3.46$ ,  $K_p=9.5$ . Землетрясение было зарегистрировано 11 ближайшими станциями России и Казахстана. После события был проведен сбор макросейсмических данных в районе эпицентра. По результатам опроса выявлено значительное отклонение инструментального эпицентра от макросейсмического, который попал в границы подземной разработки карьера ОАО «Учалинский ГОК». Учитывая большую ошибку определения инструментального эпицентра (~20 км), обусловленную редкой сейсмической сетью в Башкортостане, окончательные параметры очага следует принять по результатам макросейсмических обследований. Таким образом установлено, что очаг землетрясения является неглубоким ( $h < 1$  км) и имеет техногенную природу, а сам карьер является новой сейсмогенерирующей зоной на Южном Урале.

**Abstract.** On 5 September 2012 at 20<sup>h</sup>11<sup>m</sup> GMT, an earthquake of magnitude  $M_L=3.4$  near Uchaly town (Republic of Bashkortostan, Russia) happened. The earthquake was recorded by 11 nearest seismic stations in Russia and Kazakhstan. After event a macroseismic data had been held and collected near epicenter. Results of poll had revealed considerable deviation of calculated epicenter from macroseismic one that was inside the boundaries of underground mining part of open pit «Uchalinsky GOK». Considering the big error of definition of instrumental epicenter (~ 20 km) caused by rare seismic network in Bashkortostan, final parameters of the source should be accepted by results of macroseismic data. Thus, it is established that the seismic source is superficial ( $h < 1$  km) and caused by mining, and the open pit is a new seismogenerating zone in the Southern Urals.

Техногенная сейсмичность достаточно распространена на Урале, поскольку регион является крупнейшей горнорудной и металлургической базой страны и многие месторождения полезных ископаемых обрабатываются закрытым способом (шахтами и рудниками). Техногенная сейсмичность имеет различные формы проявления: от слабых толчков до наиболее опасных и разрушительных техногенных землетрясений, число которых растет с увеличением глубины ведения горных работ и масштабов разработок. Такие события имели место на бокситовых месторождениях Южного Урала и происходят до сих пор на Североуральских бокситовых месторождениях, на железорудных шахтах Нижнего Тагила и на калийных рудниках Верхней Камы [1, 2, 3].

При разработке некоторых месторождений открытым способом техногенная сейсмичность менее интенсивна, но с увеличением глубины отработки и последующим переходом на подземную отработку она также дает о себе знать в виде тресков, которые нередко бывают слышны непосредственно в выработках. Наиболее сильные из них могут приводить и к разрушениям. Очевидно, именно таким событием стало землетрясение, произошедшее 5 сентября 2012 г. в 20<sup>h</sup>11<sup>m</sup> (6 сентября в 02<sup>h</sup>11<sup>m</sup> по местному времени) в районе г. Учалы. Поскольку подземные толчки ощущались людьми как в самом г. Учалы, так и в соседних населенных пунктах, событие вызвало тревогу среди населения. Люди звонили в муниципальные органы власти, МЧС и спрашивали о причинах данного явления.

Инструментально это землетрясение было зарегистрировано сетью сейсмических станций Урала и Казахстана. Сейсмические записи по землетрясению были получены с 11 ближайших станций, из которых восемь уральских («Арти» (ARU), «Верхнечусовские Городки» (PR0R), «Кунгур» (PR3R), «Власы» (PR4R), «Соликамск» (SOKR), «Североуральск» (SVUR), «Оренбург» (ORR), «Оренбург-2» (OR2) [4]), две – Казахстанского национального центра данных («Боровое» (BRVK), «Акбулак» (ABKAR) [5]) и одна временная станция «Нижнекамск» (NKMK), установленная в г. Нижнекамск (Республика Татарстан). Наиболее четкие сейсмограммы получены лишь на пяти станциях (рис. 1). Параметры события, рассчитанные с помощью системы обработки сейсмических данных WSG [6] по записям региональной сети, приведены в табл. 1. Глубину очага  $h$  по инструментальным данным определить не удалось из-за отсутствия близких станций.

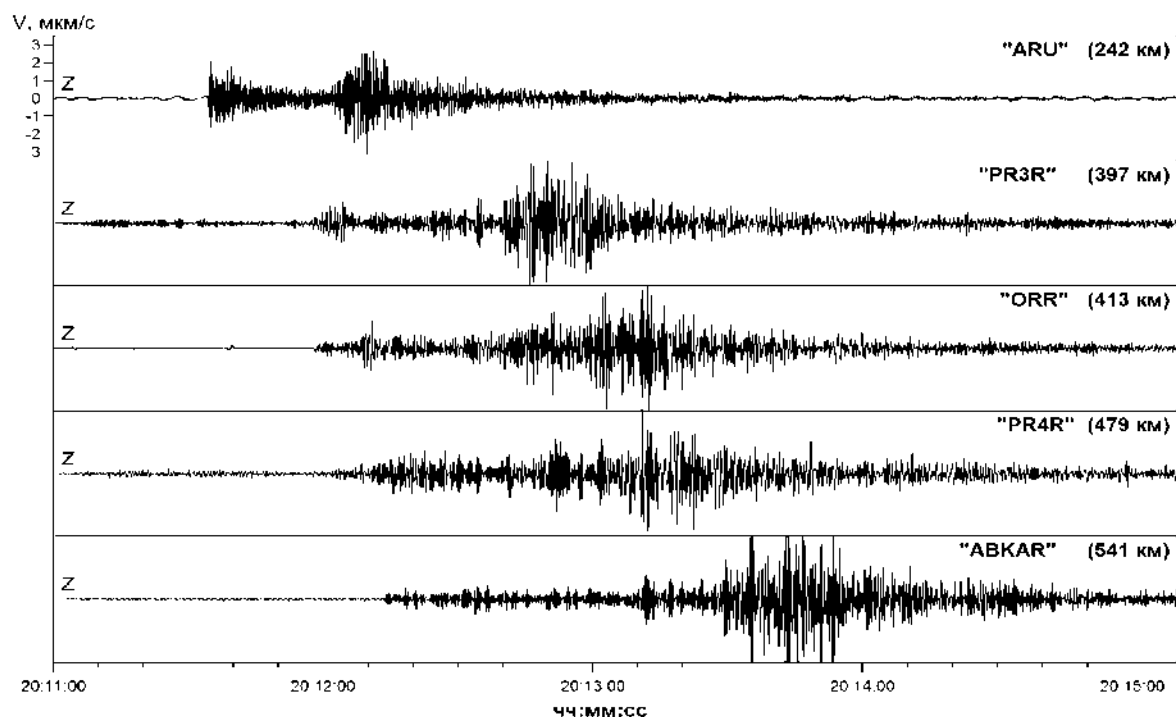


Рис. 1. Сейсмограммы Учалинского землетрясения 5 сентября 2012 г.

Таблица 1. Параметры Учалинского землетрясения по инструментальным данным

Агент-ство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ-ник
			$\varphi^\circ$ , N	$\delta$ , км	$\lambda^\circ$ , E	$\delta$ , км	$h$ , км	$\delta h$ , км		
MIRAS	20 11 01	0.3	54.158	20	59.344	20	1f		$K_p=9.5\pm 0.4$ , $M_L=(3.4\pm 0.2)/6$	[7]

Так как ошибка определения координат в данном районе оценивается  $\delta \sim 20$  км, изначально природа события была не ясна. С одной стороны, эпицентр землетрясения хорошо согласуется с положением известных природных сейсмогенных зон Урала [8], которые вполне могут создавать условия для возникновения таких землетрясений. Однако здесь же ведется разработка Учалинского месторождения медно-цинковых руд. Месторождение разрабатывается ОАО «Учалинский ГОК» комбинированным способом: открытым (два карьера) и закрытым (рудник глубиной до 400 м). В качестве основной технологии отработки запасов подземным способом принята камерная система отработки пород с последующим заполнением выработанного пространства твердеющей закладкой [9]. Ранее на месторождении не было крупных техногенных землетрясений и горно-тектонических ударов, ощутимых людьми. Тем не менее, за годы эксплуатации месторождения условия для их возникновения сформировались, и вполне возможно, что событие 5 сентября 2012 г. могло иметь техногенный характер. В то же время руководство предприятия, разрабатывающего месторождение, исключило еще одну возможную причину события – технологический взрыв. Технология добычи на двух карьерах месторождения не предусматривает проведения сильных взрывов. Других действующих горнодобывающих объектов, где могут производиться сильные взрывы, поблизости нет.

Для уточнения природы события в первые дни после его возникновения был организован сбор макросейсмических данных, который в итоге позволил уточнить и параметры гипоцентра, и природу очага. В ходе данного обследования были опрошены более 60 человек, проживающих не только на территории г. Учалы, но и в его окрестностях. Опрашиваемым лицам предоставлялась специальная анкета с вариантами описания характера сейсмического воздействия. Аналогичный опрос проводился также через сеть Internet [10].

Изначально опрос населения проводился в окрестностях г. Учалы, чтобы уточнить границы зоны ощутимых сотрясений и всей области опроса. Установлено, что событие не ощущалось в следующих населенных пунктах: д. Кудашево, д. Урал, п. Межозерный, д. Расулево, д. Базаргулово, д. Истамгулово, д. Ахуново, д. Сайтаково, д. Ильтебаново.

Самые сильные колебания (до  $I=5$  баллов) ощущали шахтеры в руднике, а именно находящиеся в его центральной и южной частях. Работавшие в ту ночную смену чувствовали удар из-под ног, слышали сильный звуковой эффект, похожий на взрыв, звонкий хлопок, «стеклянный хруст». В горных выработках на горизонтах с 300 по 580 м осыпалась порода. Имели место вывалы, одним из которых засыпало технику. Сама техника от удара «подпрыгивала».

4-бальные колебания отмечены на большей части г. *Учалы*. Наибольшее количество свидетельств получено из района современной застройки города. Здесь люди ощущали сильную вибрацию, тряску, от которой все спящие просыпались, испытывали испуг, но оставались на месте. Многие отмечали дребезжание посуды, перемещение легких предметов (вазы, книги, стулья), дрожание тяжелых предметов быта, мебели, раскачивание люстр. В городской больнице на потолке лопнула штукатурка.

3-бальные колебания ощущались в д. *Танычау*, д. *Имангулово* и д. *Кунакбаево*, с. *Буйда* и в старой части г. *Учалы*. Люди спали, некоторые проснулись, ощущали легкую вибрацию с грохотом, как от столкновения машин.

Полный перечень мест опроса с характерной для них интенсивностью и расстояниями до макросейсмического эпицентра представлен в табл. 2 вместе с населенными пунктами, где сотрясений не было.

**Таблица 2.** Макросейсмические данные об Учалинском техногенном землетрясении 5 сентября 2012 г. с  $K_p=9.5$ ,  $M_L=3.4$ ,  $I_0=5$  баллов

№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E
<u>5 баллов</u>					<u>3–4 балла</u>				
1	Учалинский карьер (380 горизонт)	0.2	54.308	59.419	10	Буранцы	3.0	54.288	59.385
2	Учалинский карьер (520 горизонт)	0.3	54.304	59.422	11	Малые Учалы	6.8	54.367	59.433
3	Учалинский карьер (300 горизонт)	0.3	54.309	59.419	12	Буйда	8.0	54.255	59.507
4	Учалинский карьер (500 горизонт)	0.5	54.303	59.414	<u>3 балла</u>				
<u>4–5 баллов</u>					13	Имангулово	7.3	54.274	59.321
5	Учалы (юго-восток)	1.7	54.297	59.441	14	Кунакбаево	7.9	54.336	59.308
6	Новые Учалы	3.2	54.320	59.376	15	Танычау	12.0	54.208	59.498
<u>4 балла</u>					<u>Не ощущалось</u>				
7	Учалы-2 (север)	2.5	54.301	59.457	16	Сайтаково	9.8	54.338	59.559
8	Учалы-2 (юг)	2.7	54.284	59.436	17	Ильтебаново	10.6	54.339	59.266
9	Учалы (запад)	3.4	54.3155	59.369	18	Урал	12.5	54.200	59.355
					19	Кудашево	13.9	54.216	59.270
					20	Расулово	15.3	54.215	59.242
					21	Ахуново	16.5	54.206	59.608
					22	Межозерный	17.6	54.150	59.372
					23	Базаргулово	20.0	54.197	59.173
					24	Истамгулово	24.7	54.140	59.166

Эти сведения легли в основу карты изосейст (рис. 2). Согласно собранным данным, макросейсмический эпицентр располагался вблизи горных выработок ОАО «Учалинский ГОК», интенсивность в эпицентре составила  $I_0=5$  баллов по шкале MSK–64 [11]). Пространственный анализ макросейсмических данных и использование известного уравнения макросейсмического поля:

$$I_0 = b M_s - v \lg h + c \quad (1)$$

с коэффициентами  $b=1.5$ ,  $v=3.5$ ,  $c=3.0$  [12] при  $I_0=5$  баллов позволили определить, что очаг землетрясения должен располагаться на глубине  $h=4.4 \pm 3.1$  км. Аналогичные оценки по площади распространения 4-бальных ( $44 \text{ км}^2$ ) и 3-бальных ( $289 \text{ км}^2$ ) колебаний с помощью формулы:

$$h = \sqrt{\frac{S_i}{2\pi \left( I_0^2 \frac{(I_0 - I_i)}{v} - 1 \right)}} \quad (2)$$

дают глубины  $1.6 \pm 1.1$  и  $1.9 \pm 2.2$  км соответственно. Если же использовать иные коэффициенты макросейсмического уравнения ( $b=1.5$ ,  $v=2.67$ ,  $c=1.16$ ), полученные в [3] для случаев

приповерхностных источников (что характерно для большинства техногенных очагов), то глубина, определяемая по интенсивности в эпицентре с помощью (1), будет равна  $1.4 \pm 1.4$  км. Глубина, рассчитанная с помощью (2) по площади 4-й и 3-й изосейст, равна  $1.2 \pm 1.0$  км и  $1.2 \pm 1.9$  км соответственно. В то же время зависимость вида:

$$h = \sqrt{\frac{S_{i+1}^2 - S_i S_{i+2}}{p(S_{i+2} + S_i - 2S_{i+1})}}, \quad (3)$$

не требующая знаний коэффициентов макросейсмического уравнения и опирающаяся на данные о площадях трех высших изосейст [12] (5, 4 и 3 балла), дает глубину  $1.7 \pm 0.5$  км. Средняя оценка глубины по четырем последним решениям:  $h = 1.7 \pm 0.7$  км.

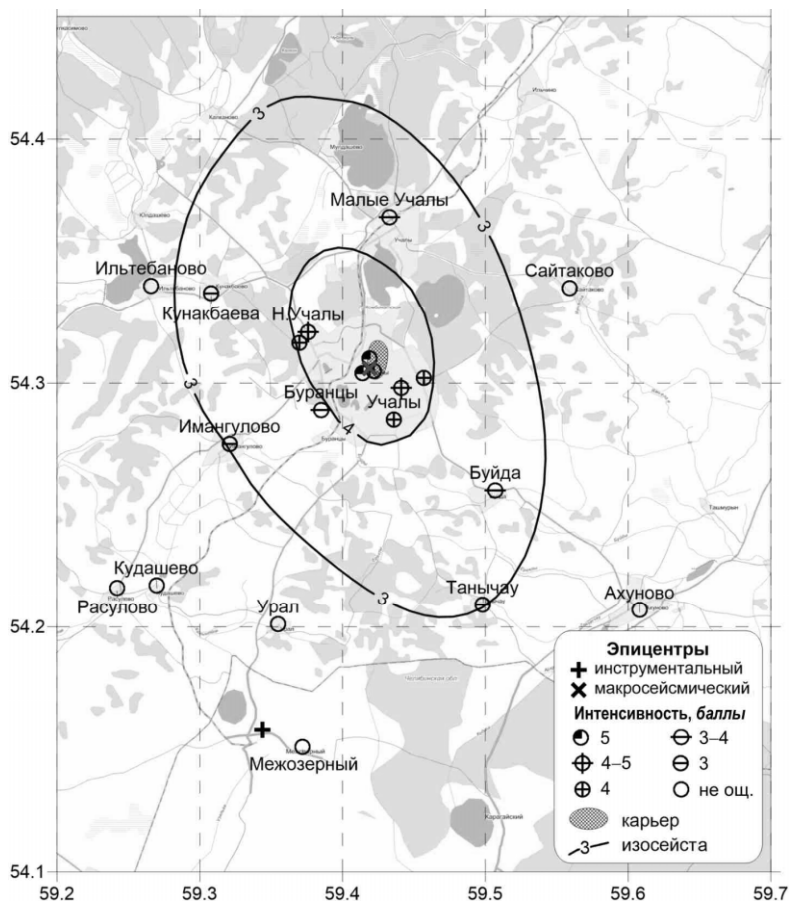


Рис. 2. Карта изосейст Учалинского техногенного землетрясения 5 сентября 2012 г. с  $K_p=9.5$ ,  $M_L=3.4$ ,  $I_0=5$

Характер проявления события в руднике (наличие разрушений; звонкий «стеклянный» звуковой эффект, обусловленный широким спектральным составом колебаний) и небольшая глубина очага указывают, что данное землетрясение является типичным горно-тектоническим ударом, спровоцированным горными работами. Данное заключение подтверждают и другие данные от шахтеров, ставших свидетелями события. Они сообщают, что ощущали не только главный удар, но и удары меньшей силы, которые продолжались после главного толчка в течение всей смены (до  $7^{\text{h}}30^{\text{m}}$  местного времени) с интервалом около 5 минут, при этом два из них были несколько сильнее остальных. Данная картина очень похожа по своему описанию на афтершоковую активность. К сожалению, регистрации записей сейсмических толчков в эпицентральной зоне сразу после события не производилось (из-за отсутствия сейсмических станций), поэтому параметры слабых ударов остались неизвестными. Полученные свидетельства позволяют сделать вывод, что их очевидцы находились непосредственно у очага, и в таком случае именно результаты макросейсмических исследований стоит рассматривать как основные при

определении местоположения гипоцентра:  $\varphi=54.306\pm 0.006^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=59.419\pm 0.003^\circ\text{E}$ ,  $h=1.4\pm 0.7$  км. При этом полученная изначально инструментальная оценка координат эпицентра ( $\varphi=54.158^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=59.344^\circ\text{E}$ ) в табл. 1 является грубой, так как располагает эпицентр в 19 км к юго-западу от карьера. В то же время оценка величины землетрясения, инструментальная магнитуда  $M_L$  [7], определена достаточно надежно и при смещении инструментального очага к макросейсмическому не меняется.

**Выводы.** Выполненные исследования показывают, что на Южном Урале в районе г. Учалы сформировалась новая зона очагов техногенных землетрясений с потенциалом, достаточным для возникновения ощутимых макросейсмических проявлений, таких же, какие происходят в течение последних лет в районе г. Североуральск или г. Нижний Тагил, где ведутся открытые и подземные горные работы.

### Л и т е р а т у р а

1. Алфёрова А.С. Воздействие горно-тектонических ударов на окружающую среду на примере Южно-уральского бокситового рудника // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 9. – С. 246–249.
2. Блинова Т.С., Удоратин В.В., Дягилев Р.А., Баранов Ю.В., Носкова Н.Н., Конанова Н.В. Сейсмичность и сейсмическое районирование слабоактивных территорий. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. – 178 с.
3. Дягилев Р.А. Макросейсмика техногенных землетрясений Урала // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 292–304.
4. Верховланцев Ф.Г. (сост.). Цифровые станции Уральской сейсмической сети в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD\_ROM.
5. Соколова И.Н. (отв. сост.). Сейсмические группы и станции Республиканского государственного предприятия «Институт геофизических исследований» Комитета по атомной энергии Министерства энергетики Республики Казахстан за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
6. Акимов А.П., Красилов С.А., Пойгина С.Г. Система обработки сейсмических данных WSG. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG\\_adm.doc](ftp://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG_adm.doc)
7. Дягилев Р.А., Голубева И.В. (отв. сост.), Старикович Е.Н., Чепурова М.А., Верховланцева Т.В., Варлашова Ю.В., Скоркина А.А., Верховланцев Ф.Г. (сост.). Каталог землетрясений, горно-тектонических ударов и взрывов на территории Урала и прилегающих районов за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD\_ROM.
8. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 124 с.
9. ОАО «Учалинский ГОК». [Сайт] – URL: <http://www.ugok.ru>
10. Сейсмологический мониторинг Западного Урала. – URL: <http://seismo.mi-perm.ru/activity.html>.
11. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
12. Шебалин Н.В. Количественная макросейсмика // Вычислительная сейсмология. – 2003. – № 34. – С. 57–200.