

---

---

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

---

---

УДК 502.35

## ВЛИЯНИЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ТЕХНОГЕННО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ВОСТОЧНОМ ОРЕНБУРЖЬЕ

© 2024 г. М. Ю. Нестеренко<sup>1,\*</sup>, В. С. Белов<sup>1</sup>, Э. Р. Галеева<sup>2,\*\*</sup>

<sup>1</sup>Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН (Отдел геоэкологии),  
ул. Набережная 29, Оренбург, 460014 Россия

<sup>2</sup>Оренбургский государственный университет,  
пр. Победы 13, Оренбург, 460018 Россия

\*E-mail: n\_mu@mail.ru

\*\*E-mail: galeevskoe@mail.ru

Поступила в редакцию 07.11.2023 г.

После доработки 16.04.2024 г.

Принята к публикации 20.07.2024 г.

Представлен анализ геодинамической обстановки на территории восточной части Оренбургской обл. за 2006–2022 гг. Количество зарегистрированных сейсмических событий составляет в среднем 742 соб./год. Рассмотрено влияние горнодобывающих предприятий на увеличение техногенной сейсмичности. Установлено, что наибольшее количество сейсмических событий приходится на территории вблизи разрабатываемых месторождений твердых полезных ископаемых. Проведен анализ техногенных землетрясений с магнитудой  $M_I \geq 3.0$ . Выявлены причины увеличения техногенно-тектонической сейсмичности. Описаны особенности возникновения сильных ( $M_I \geq 3.0$ ) техногенно-тектонических землетрясений при динамических воздействиях взрывных работ при добыче полезных ископаемых. Выявлена временная зависимость между проведенными взрывами на промышленных площадках и зарегистрированными сейсмическими событиями (коэффициент корреляции 0.89). Рассмотрены виды техногенной сейсмичности: статические и динамические. Периодические динамические воздействия взрывных работ могут быть триггером для разрядки существующего напряженного состояния тектонических структур. Геодинамические события с магнитудой  $M_I \geq 4.0$  оказывают наиболее опасное воздействие на промышленные и гражданские здания и сооружения, а также сказываются на экологической ситуации в регионе и безопасности жизни населения. Проведено районирование территории с выделением двух обособленных участков с повышенным количеством зарегистрированных сейсмических событий с магнитудой  $M_I \geq 3.0$ : Адамовский и Ясенский районы.

**Ключевые слова:** геодинамика, техногенно-тектоническая сейсмичность, техногенные землетрясения, Оренбургская область

DOI: 10.31857/S0869780924040036 EDN: SFVGSX

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем при ведении крупномасштабных горнодобывающих работ является техногенная сейсмичность, влекущая за собой не только катастрофические технико-экономические последствия (землетрясения, оползни, горные удары и др.), но и приводящая иногда к человеческим жертвам. Подобные техногенные землетрясения происходили практически во всех странах, где добывают твердые полезные ископаемые [1].

В России проблема возникновения техногенной сейсмичности остро стоит в областях, где добыча полезных ископаемых из недр Земли ведется активно и постоянно. Техногенные землетрясения,

вызванные работами на горнодобывающих предприятиях, встречаются во многих промышленных областях страны: Кемеровская область (Бачатское землетрясение 18.06.2013 г) [3]; Кольский полуостров (рудник “Умбозеро” 17.08.1999 г.) [6]; Хибинское месторождение (Кировский рудник 21.10.2010 г.) [5]; Республика Башкортостан, (Учалинское месторождение, 05.09.2012 г.) [12] и др. Исследования сейсмических событий на рудниках являются важной задачей для управления геодинамическими рисками при промышленной разработке месторождений.

Рассмотрением вопроса влияния промышленной разработки месторождений полезных ископаемых на геодинамическую активность верхней части земной коры, занимается ряд российских

ученых, среди которых геофизик, академик В.В. Адушкин. Он считает, что при ведении взрывных работ в условиях постоянно действующей техногенной нагрузки появляется триггерный эффект возникновения сильных землетрясений [2].

При этом наиболее существенное воздействие на изменения геодинамического режима в структурах земной коры оказывают статические и динамические воздействия при добыче твердых полезных ископаемых (ТПИ) [11]. Таким образом, их можно классифицировать на две группы, согласно причинам их появления [2]:

1. *Статические*, постоянно воздействующие на массивы горных пород. К ним можно отнести извлечение и перемещение горной массы. Они влияют и подвергают изменениям существующее естественное напряженное состояние в структурах земной коры в местах изъятия горной породы (карьеры, шахты) и в местах складирования пустой породы (отвалы).

2. *Динамические*, импульсные, возникающие от проведения взрывных работ при добыче ТПИ.

В настоящее время на территории восточной части Оренбургской области располагается значительное количество горнодобывающих предприятий. Взрывные работы, а также работы по извлечению и перемещению горной породы происходят систематически, и их объемы растут с каждым годом. При этом нарушается целостность верхней оболочки земли, оказывая влияние на напряженно-деформированное состояние геологической среды, что может стать причиной возникновения техногенных геодинамических явлений с негативными последствиями. Одним из таких проявлений является возросшее в последние десятилетия количество регистрируемых сейсмических событий в восточной части области.

Цель данной работы – выявление закономерностей формирования и изменения напряженно-деформированного состояния и техногенно-тектонической сейсмичности земной коры на территории восточной части Оренбургской обл. вследствие воздействия промышленных взрывов.

Важно выяснить особенности и механизмы формирования очаговых зон техногенно-тектонических землетрясений. Решение данных вопросов является составной частью проблемы развивающегося техногенеза на территории Оренбургской обл.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Восточная часть Оренбургской обл. охватывает южную оконечность Урала и южное Зауралье. Согласно тектонической карте (рис. 1), восточная часть области располагается в Урало-Охотском поясе и разделяется на Западно-Уральскую внешнюю надвиговую систему, Магнитогорскую систему мегасинклиний и Восточно-Уральскую

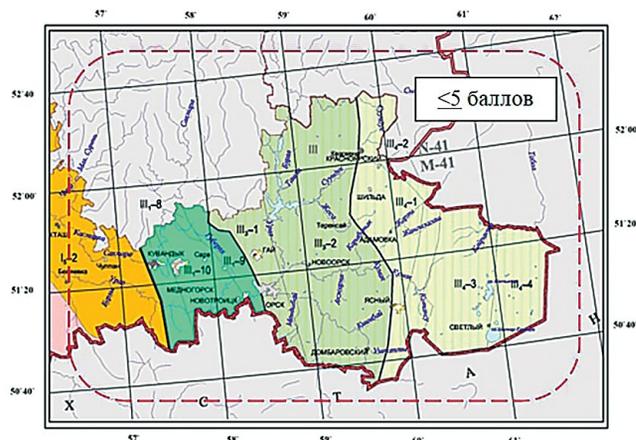


Рис. 1. Территория восточной части Оренбургской обл. Штрихпунктирной красной линией обозначена зона сейсмического районирования согласно данным ОСП-2016 (в баллах шкалы MSK-64).

систему аллохтонных выступов, которые в свою очередь осложнены системой выступов и поднятий, расчлененных тектоническими разломами.

В соответствии с картой сейсмического районирования ОСП-2016, территория восточного Оренбуржья относится к зоне 5-балльной сейсмической активности по шкале MSK-64 [11]. Однако регистрируемые сейсмические события магнитудой более 4 подтверждают необходимость уточнения карты.

О необходимости уточнения карт сейсмического районирования и применения новых подходов к оценке сейсмичности, отмечено в работе [13].

На исследуемой территории сосредоточено множество разрабатываемых месторождений ТПИ. Значимое влияние на напряженное состояние и геодинамику верхней части земной коры оказывают изъятие и перемещение горной породы вследствие отработки месторождений, которые совместно с сопутствующими буровзрывными работами и накопленными тектоническими напряжениями приводят к природно-техногенным сейсмическим событиям значительной силы.

Вероятно, наиболее существенное воздействие на изменения геодинамического режима в структурах земной коры оказывают ударные воздействия при проведении взрывных работ. От взрывов горной массы в блочных структурах земной коры могут развиваться области остаточных, необратимых деформаций. Взрывные импульсы также могут обладать триггерным эффектом, освобождая накопленную потенциальную энергию между блоками тектонических структур, как региональными, так и субрегиональными [2].

Разработка месторождений полезных ископаемых и проводимые массовые взрывы вызывают перераспределение напряжений в земной коре. В зависимости от масштабов взрывов размеры

напряженных областей блочных тектонических структур, вовлеченных в движение, могут изменяться. В еще более обширной области упругих деформаций развиваются процессы перестройки существующего там напряженного состояния с возможной их концентрацией на неоднородностях массива, зонах трещиноватости и разломов [2], что говорит о неравномерности распределения остаточной нагрузки на массив и необходимости изучения влияния зон трещиноватости и разломов на проявления сейсмической активности в регионе.

В основу настоящего анализа сейсмической активности восточного Оренбуржья положены данные инструментальных наблюдений Казахстанского национального центра данных [4] и данных сейсмологической сети ОФИЦ УрО РАН с 2006 по 2022 г.

В табл. 1 сейсмические события, произошедшие за указанный период, дифференцированы по величинам магнитуд:  $M_I \geq 1.0$ ; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0

и 4.0. В первых четырех группах магнитуд сейсмические события инициированы, главным образом, массовыми взрывами, и только некоторое число событий может оказаться техногенно-тектоническими землетрясениями. В группах 5 и 6 сейсмических событий с магнитудами  $M_I \geq 3.0$ , вероятно, представлены техногенно-тектонические землетрясения, в связи с их высокой интенсивностью, значительно превышающей энергию проводимых взрывов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из приведенных данных о сейсмических событиях (см. табл. 1) можно выделить два временных периода: 2006–2014 гг. и 2015–2022 гг. Средневзвешенное количество сейсмических событий в этих периодах составляет в среднем по 742 событий за год. Однако количество сейсмических событий с магнитудами  $M_I = 1–1.5$  во втором периоде увеличилось в 2 раза, а событий с  $M_I = 1.5–2$  в 1.5 раза.

**Таблица 1.** Ежегодное число сильных сейсмических событий и потребление взрывчатых веществ (ВВ) в горновзрывных работах на территории восточной части Оренбургской обл. в период инструментальных наблюдений за 2006–2022 гг.

Год	Количество зарегистрированных событий на территории исследования						Потребление ВВ, тыс. т/год	Ежегодный прирост потреб. ВВ, тыс. т/год	Поток сейсмической энергии, МДж/год	Общее количество произведенных взрывов за год
	$1 \geq M_I > 1.5$	$1.5 \geq M_I > 2.0$	$2.0 \geq M_I > 2.5$	$2.5 \geq M_I > 3.0$	$3.0 \geq M > 4.0$	$M_I \geq 4$				
2006	29	92	218	187	91		617			2446
2007	30	142	255	147	79	1	654			1715
2008	56	195	301	152	30		734			421.8
2009	26	204	346	155	14		745			409.9
2010	19	163	382	173	27		764			645.2
2011	15	169	374	154	16		728			623.9
2012	24	239	432	145	3		843			572.1
2013	28	323	457	172	13		993			819.7
2014	22	207	299	155	55	2	740			1288.1
2015	29	325	396	58	3		811			591.1
2016	25	322	367	79	4		797			420.8
2017	49	324	312	84	4		773			473.6
2018	70	311	282	82	17		762	15.26		530.0
2019	42	282	313	71	4		712	16.38	1.12	404.9
2020	33	289	356	77	3		758	17.46	1.08	334.4
2021	37	241	281	79	3		641			375.8
2022	30	182	243	84	3		542			479.8

Число сейсмических событий с  $M_I = 2-2.5$  осталось на прежнем паритетном уровне – 1.1, с  $M_I = 2.5-3$  уменьшилось в 2 раза, а с  $M_I \geq 3.0$  – в 7 раз во втором периоде.

Уменьшение количества сейсмических событий с магнитудами  $M_I \geq 2.5$ , видимо, связано с сокращением работ на железорудных месторождениях Орско-Халиловской группы, Буруктальском месторождении никель-кобальтовых руд и на Аккермановском месторождении флюсовых известняков, где производили наиболее мощные взрывы.

Распределение эпицентров сейсмических событий с магнитудой  $M_I \geq 3.0$  по территории восточного Оренбуржья показано на рис. 2.

Можно проследить, что за период 2018–2020 гг. на медно-колчеданных и хризотил-асбестовых месторождениях потребление взрывчатых веществ увеличивалось с ежегодным приростом около 1 тыс. т/год. Плавное увеличение потребления ВВ за год (~7%) указывает на повышение негативной геодинамической нагрузки на земную кору в районе разрабатываемых месторождений.

За период 2006–2014 гг. средняя величина глубин зарегистрированных сейсмических событий составляет 2.2 км; за период 2015–2022 гг. – 2.0 км.

По методике, предложенной в статье [8], для территории Оренбургской области оценены базовые характеристики сети в ее восточной части: чувствительность, представительность каталога землетрясений и пр.

На рис. 3. представлен график повторяемости сейсмических событий на территории восточной части Оренбургской области. Выполненный анализ графика повторяемости регистрируемых сейсмических событий показал, что диапазон представительной магнитуды начинается от 2.0.

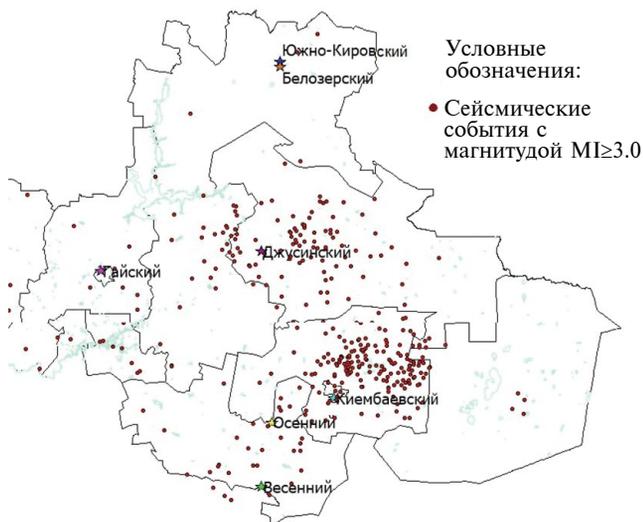


Рис. 2. Схема расположения эпицентров сейсмических событий на территории восточной части Оренбургской обл. в период 2006–2022 гг.

Полученные результаты позволяют найти практическое применение для проведения статистической обработки эмпирических данных выделенного диапазона. [9]

Для классификации сейсмических событий применены два критерия: критерий “максимально допустимой магнитуды” и критерий “ночные события” [2].

Критерий “максимально допустимой магнитуды” означает, что магнитуда техногенных сейсмических событий, связанных с взрывами, не должна превышать определенную максимально допустимую величину по регламенту буровзрывных работ (БВР). Тем не менее, при некоторых массовых взрывах магнитуда сейсмических событий достигала, а иногда превышала уровень магнитуд величиной  $M_I \geq 4.0$  (3 события), поэтому в случае проведения взрывных работ этот критерий оказался не эффективным. Классифицировать сейсмические события как техногенно-тектонические или тектонические невозможно. Такие мощные сейсмические события могут иметь и естественное происхождение, так как область характеризуется повышенной естественной сейсмичностью, связанной со сложным тектоническим строением.

Критерий “ночные события” основан на запрете проведения взрывных работ в ночное время. При выделении ночных событий принято, что местное время, в течение которого возможно проведение взрывных работ, начинается в 6:00 и заканчивается в 01:00. Время фиксации ночных событий уменьшено с учетом возможной задержки подрыва в конце рабочего дня и ранних взрывов до 7:00, возникающих по различным организационно-техническим причинам.

Результаты разделения сейсмических событий на ночные и дневные представлены в табл. 2 по трем

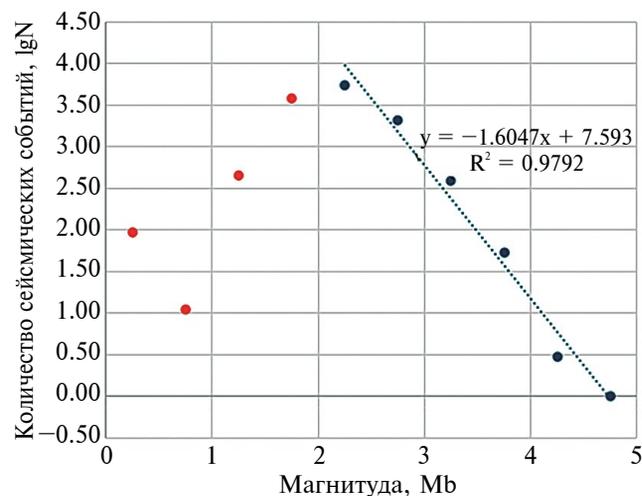


Рис. 3. Распределение сейсмических событий в восточной части Оренбургской области по магнитуде за 2004–2021 гг.

**Таблица 2.** Ежегодное число сильных ( $M_I \geq 3.0$ ) дневных (“день”) и ночных (“ночь”) сейсмических событий на территории Восточного Оренбуржья в различных диапазонах магнитуд в период 2006–2022 гг.

Диапазон магнитуд	$3.0 \leq M_I \leq 3.4$		$3.5 \leq M_I \leq 3.9$		$4.0 \leq M_I \leq 4.5$	
	день	ночь	день	ночь	день	ночь
2006	91	–	–	–	–	–
2007	79	–	–	1	1	–
2008	30	–	–	–	–	–
2009	13	–	1	–	–	–
2010	27	–	–	–	–	–
2011	15	–	1	–	–	–
2012	3	–	–	–	–	–
2013	13	–	–	–	–	–
2014	39	1	13	–	2	–
2015	3	–	–	–	–	–
2016	3	1	–	–	–	–
2017	4	–	–	–	–	–
2018	15	–	1	1	–	–
2019	4	–	–	–	–	–
2020	3	–	–	–	–	–
2021	3	–	–	–	–	–
2022	3	–	–	–	–	–

**Таблица 3.** Землетрясения магнитудой  $M_I \geq 4.0$  за период инструментальных наблюдений с 2007 по 2022 г. на территории восточного Оренбуржья

Дата	Время местное, час: мин	Широта	Долгота	Глубина, Н, км	Магнитуда, $M_I$	Энергетический класс, К	Энергия, Е, МДж
14.09.2007	18:41	50.7085	59.7089	4	4.2	8.7	501.2
26.03.2014	13:14	51.0806	59.7342	4	4.4	8.4	251.2
22.09.2014	17:17	50.6435	59.1641	4	4.1	8.0	100.0

диапазонам магнитуд ( $3.0 \leq M_I \leq 3.4$ ;  $3.5 \leq M_I \leq 3.9$ ;  $4.0 \leq M_I \leq 4.5$ ) [2]. Ночные события (“ночь”) — это, вероятно, техногенно-тектонические землетрясения, дневные события (“день”) — в основном, массовые взрывы, хотя возможно, в их числе есть техногенно-тектонические землетрясения.

Согласно данным табл. 2, за период 2006–2022 гг. было зарегистрировано: 4 ночных техногенно-тектонических землетрясения, 2 события с магнитудой  $3.0 \leq M_I \leq 3.4$  (2014 и 2016 г.) и 2 в диапазоне магнитуд  $3.5 \leq M_I \leq 3.9$  (2007 и 2018 г.). Появление таких сильных сейсмических событий говорит об изменении геодинамического режима в структурах земной коры.

Список сейсмических событий с магнитудой  $M_I \geq 4.0$  за весь период инструментальных

наблюдений представлен в табл. 3. За период 2007–2022 гг. в данном диапазоне магнитуд произошло 3 дневных техногенно-тектонических землетрясения. Вероятно, происходящие геодинамические процессы в земной коре реагируют на изменение напряженного состояния при крупных массовых взрывах. Такие процессы происходят на всех уровнях земной коры. Но с уверенностью отнести их к техногенным невозможно. События произошли на глубине 4.0 км и на расстоянии 15 и 21 км от промышленных площадок. Поэтому, возможно лишь предположить, что эти землетрясения могли быть спровоцированы техногенным воздействием.

В вертикальной плоскости движение земной коры происходит повсеместно и постоянно. Это

тектонические движения различных масштабов, площадного распространения, скоростей, амплитуд. Согласно карте современных вертикальных движений земной коры, для Оренбургской области характерно вертикально движение земной коры 3.5 мм/год [8]. При этом постоянно происходит процесс перераспределения энергии в недрах Земли, что может оказывать влияние на распределение нагрузки в толще земной коры.

Из данных в табл. 2 и 3 следует, что на территории восточного Оренбуржья за период 2006–2022 гг. зарегистрировано около 463 сейсмических событий с магнитудой  $M_I \geq 3.0$ . Расположение их эпицентров на территории восточного Оренбуржья показано на рис. 4.

Приведены данные трех диапазонов магнитуд: в диапазоне  $3.0 \leq M_I \leq 3.4$ , в котором оказалась большая часть таких событий (~95%), в диапазоне  $3.5 \leq M_I \leq 3.9$  — 18 сейсмических событий (~4%), и в диапазоне  $M_I \geq 4.0$  — три техногенно-тектонических землетрясения (<1%).

Наиболее сейсмоактивные районы выделены в пределах Киембаевского рудника (Ясненский район) и Джусинского рудника (Адамовский район). Здесь сосредоточено наибольшее количество сейсмических событий с магнитудой  $M_I \geq 3.0$ .

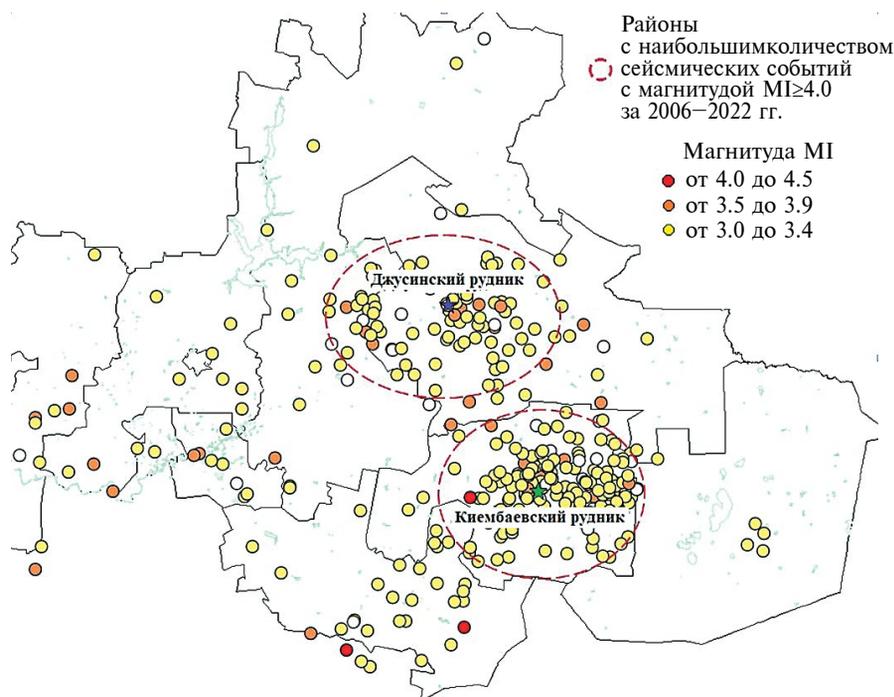
Сопоставим промышленные взрывы с зафиксированными сейсмическими событиями на ближайшей территории от Киембаевского рудника в пределах 20 км за период 2018–2020 гг. На графике (рис. 5а) заметно, что максимальное количество

зарегистрированных сейсмических событий пришлось на временные промежутки после проведения взрывных работ (коэффициент корреляции 0.89), что свидетельствует об их временной взаимосвязи. Такая же взаимосвязь прослеживается и на Весеннем руднике (коэффициент корреляции 0.89), где наибольшее количество взрывов происходило в 14:30. При этом наибольшее количество зарегистрированных событий приходится также на промежуток времени 14:00–15:00 (рис. 5б).

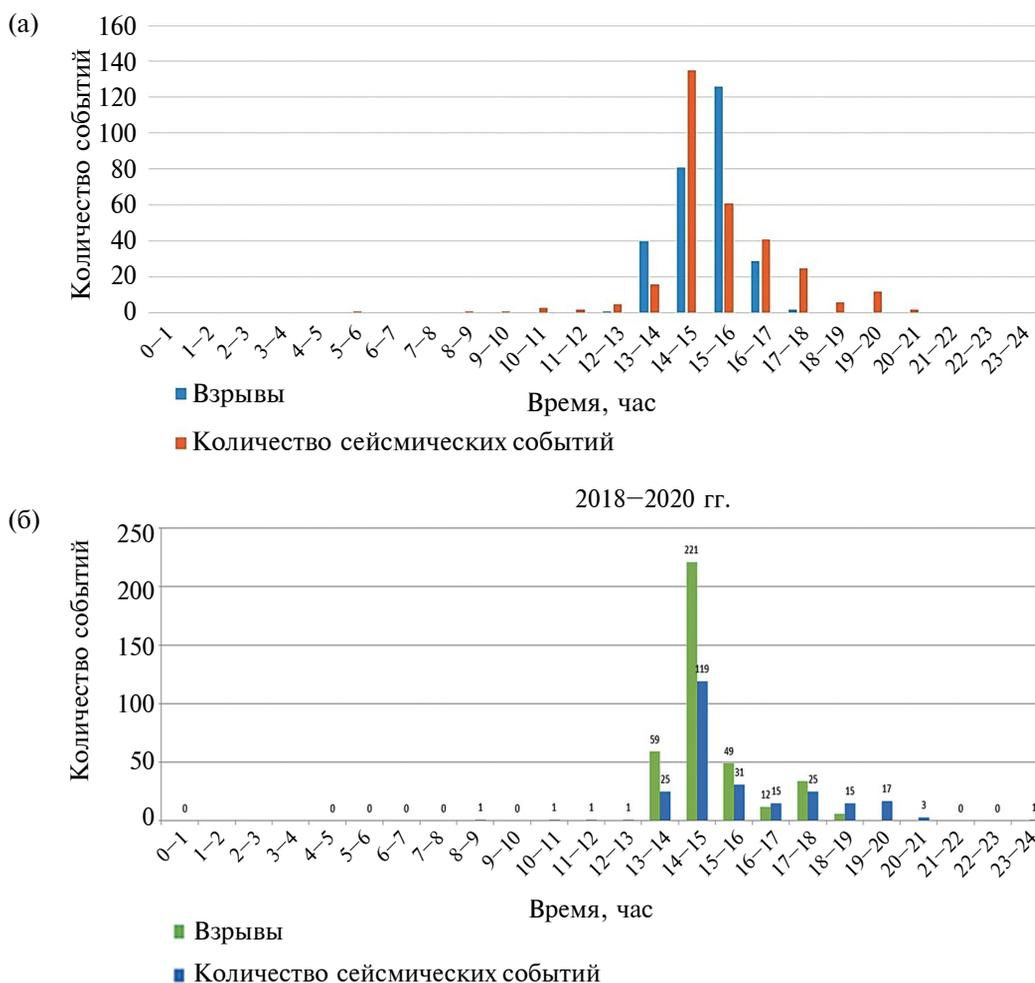
## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Происходившие в структурах недр Земли процессы перестройки геодинамического режима и тектонического поля напряженного состояния, развивались по своим законам, реагируя в основном на изменения только числа самых крупных массовых взрывов. Такое развитие процессов перестройки напряженного состояния происходило одновременно на всех структурных уровнях земной коры.

Массив горной породы в районе добычи ТПИ всегда находится в напряженном состоянии. Нагрузка постоянно присутствует в массиве, так как процессы по добыче и транспортировке горной породы происходят систематически. Периодические динамические воздействия взрывных работ являются триггером для разрядки существующего напряженного состояния тектонических структур.



**Рис. 4.** Расположение эпицентров техногенно-тектонических землетрясений на территории восточной части Оренбургской обл. в период 2007–2022 гг. с диапазоном магнитуд 3.0–3.4, 3.5–3.9 и 4.0–4.5.



**Рис. 5.** Графики корреляции промышленных взрывов на Кiemбаевском (а) и Весеннем (б) рудниках с сейсмическими событиями в ближнем радиусе около 20 км за период 2018–2020 гг.

Расположение и интенсивность всех зарегистрированных землетрясений в восточной части Оренбургской обл. с магнитудой  $M_I \geq 3.0$  можно проследить на рис. 4. По распределению эпицентров техногенно-тектонических землетрясений, можно выделить несколько регионов (их контуры обозначены на рис. 3). Повышенной активностью в отношении появления сильных техногенно-тектонических землетрясений выделяются два региона: Адамовский и Ясненский районы, где располагаются рудники Джусинский и Кiemбаевский. Следует отметить, менее активные регионы располагаются в восточной и северной частях территории.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С каждым годом в восточной части Оренбургской области происходит увеличение объема добычи ТПИ и перемещения горной массы, следовательно, возрастает и уровень техногенно-тектонической нагрузки в недрах Земли.

Описаны особенности возникновения сильных ( $M_I \geq 3.0$ ) техногенно-тектонических землетрясений. На изменение геодинамической обстановки и появление большего количества сейсмических событий с магнитудой  $M_I \geq 3.0$  оказывают влияние постоянное статическое воздействие на структуры земной коры при извлечении горной массы при добыче ТПИ и динамическое воздействие взрывных работ.

Проведена оценка представительной магнитуды. Построен график повторяемости сейсмических событий. Выполненный анализ графика повторяемости регистрируемых сейсмических событий показал, что диапазон представительной магнитуды начинается с 2.0.

Выявлена временная зависимость между проведенными взрывами на промышленных площадках и зарегистрированными сейсмическими событиями.

Рассмотрены виды техногенной сейсмичности. Выявлено, что кратковременные, динамические нагрузки с магнитудой  $M_I \geq 4.0$  оказывают наиболее опасное воздействие на недра Земли,

источниками или триггерами которых могут служить буровзрывные работы при добыче ГПИ.

Проведено районирование территории с выделением двух обособленных участков (районы рудников Джусинский и Киембаевский) с повышенным количеством зарегистрированных сейсмических событий с магнитудой  $M_I \geq 3.0$ .

*Работа выполнена в соответствии с программой госзадания Отдела геоэкологии ОФИЦ УрО РАН.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абенов А.М., Мынжасаров Б., Кыргызбаева Г.М., Нурпеисова М.Б.* Ведение мониторинга за деформациями земной поверхности с использованием спутниковых систем и обработка его результатов // Молодой ученый. № 18 (413). 2022. С. 102-106.
2. *Адушкин В.В.* Влияние взрывных работ на возникновение катастрофических техногенно-тектонических землетрясений в Кузбассе // Триггерные эффекты в геосистемах: матер. V Междунар. конф. 2019. С. 203-218.
3. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В.* Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с  $M_L = 6.1$ ,  $I_0 = 7$  (Кузбасс) // Российский сейсмологический журнал. 2020. С. 48-61.
4. Казахстанский Национальный Центр данных. [Электронный ресурс] URL: <https://www.kndc.kz> (дата обращения 02.02.2023 г.)
5. *Козырев А.А., Каган М.М., Константинов К.Н., Жиров Д.В.* Деформационные предвестники техногенного землетрясения на объединенном Кировском руднике ОАО "Апатит" // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. Всерос. конф., посв. 80-летию акад. М.В. Курлени (3-6.10. 2011). Новосибирск: ИГД СО РАН, 2011. С. 228-234.
6. *Козырев А.А., Ловчиков А.В., Кузьмин И.А.* Сильнейшее техногенное землетрясение на российских рудниках, 17 августа 1999 г., рудник "Умбозеро" (Кольский полуостров) // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2000. №6. С. 169-173.
7. *Мещеряков Ю.А.* Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. Масштаб: 1 : 10 000 000 // Международный геодезический и геофизический союз. Международная ассоциация геодезии. Комиссия по современным движениям земной коры. Подкомиссия по карте Восточной Европы. Главное Управление геодезии и картографии. 1971.
8. *Нестеренко М.Ю., Алёшин И.М., Гоев А.Г. и др.* Оренбургская региональная сеть "Нефтегаз-сейсмика" // Сейсмические приборы. 2023. Т. 59. № 2. С. 5-17. <https://doi.org/10.21455/si2023.2-1>.
9. *Нестеренко М.Ю., Капустина О.А.* Оценка представительности каталога сейсмических событий оренбургской области // Проблемы недропользования. 2019. Вып. 2. С. 52-55. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.02.052>
10. *Томилин Н.Г., Воинов К.А., Селивоник В.Г., Глотов С.В.* Техногенное землетрясение как результат неустойчивости шахтного поля // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. Всерос. конф., посв. 80-летию акад. М.В. Курлени (3-6 октября 2011). Новосибирск: ИГД СО РАН. 2011. С. 68-73.
11. *Уломов В.И., Богданов М.И.* Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-2016. Масштаб: 1:8 000 000. 2016.
12. Учалинское техногенное землетрясение 5 сентября 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 21. 2018. С. 387-391.
13. *Шебалин П.Н., Гвишиани А.Д., Дзедобоев Б.А., Скоркина А.А.* Почему необходимы новые подходы к оценке сейсмической опасности? // Доклады Российской академии наук. Науки о земле. 2022. Т. 507. № 1. С. 91-97.

## THE IMPACT OF MINE BLASTING ON THE OCCURRENCE OF HUMAN-INDUCED TECTONIC EARTHQUAKES IN THE EASTERN ORENBURG REGION

M. Yu. Nesterenko<sup>1,#</sup>, V. S. Belov<sup>1</sup>, E. R. Galeeva<sup>2,##</sup>

<sup>1</sup>*Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Department of Geoecology), ul. Naberezhnaya 29, Orenburg, 460014 Russia*

<sup>2</sup>*Orenburg State University, pr. Pobedy 13, Orenburg, 460018 Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: n\_mu@mail.ru*

<sup>##</sup>*E-mail: galeevskoe@mail.ru*

The geodynamic situation is analyzed in the area of the eastern Orenburg region for 2006-2022. The number of recorded seismic events averages 742 events per /year. The impact of mining works on the increase of technogenic seismicity is considered. It is established that most of seismic events occur in the territories near the developed mineral deposits. The technogenic earthquakes with a magnitude  $M_I > 3.0$  were analyzed. The reasons of intensifying technogenic-tectonic seismicity are revealed. The specific features of strong ( $M_I \geq 3.0$ ) technogenic-tectonic earthquakes under the dynamic effects of blasting operations upon mining are described. The time dependence between the explosions carried out at industrial sites and the recorded seismic events (correlation coefficient 0.89) is found. The types of technogenic seismicity, static and dynamic, are considered. Recurrent dynamic impacts of blasting operations can trigger the stress state discharge in tectonic structures. Geodynamic events with magnitude  $M_I \geq 4.0$  exert the most

hazardous impact on industrial and civil buildings and structures; they also affect the environmental situation in the region and the population safety. The zoning of territory was carried out, and two separate areas were distinguished with an elevated number of recorded seismic events with a magnitude of  $M_I > 3.0$ , i.e., Adamovsky and Yasnensky districts.

**Keywords:** *geodynamics, technogenic-tectonic seismicity, technogenic earthquakes, Orenburg region*

## REFERENCES

1. Abenov, A.M., Myngzhasarov, B., Kyrgyzbaeva, G.M., Nurpeisova, M.B. [Monitoring deformations of the Earth's surface using satellite systems and processing of its results]. *Molodoi uchenyi*, 2022, no. 18 (413), pp. 102-106. (in Russian)
2. Adushkin, V.V. [The impact of blasting operations on the occurrence of catastrophic techno-genic-tectonic earthquakes in Kuzbass]. In: [Trigger effects in geosystems. Proc. V-th Intern. Conf.]. 2019. pp. 203-218. (in Russian)
3. Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V. [Bachatskoe technogenic earthquake on June 18, 2013 with  $M_L = 6.1$ ,  $I_0 = 7$  (Kuzbass)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal*, 2020, pp. 48-61. (in Russian)
4. Kazakhstan National Data Center. [Electronic resource]. URL: <https://www.kndc.kz> (accessed 02.02.2023)
5. Kozyrev, A.A., Kagan, M. M., Konstantinov, K.N., Zhirov, D.V. [Deformation precursors of a technogenic earthquake at the united Kirov mine of JSC Apatit]. In: [Geodynamics and the stress state of the Earth's interior. Proc. All-Russian conference dedicated to the 80th anniversary of academician M.V. Kurlenya, October 3-6, 2011], Novosibirsk, IGD SB RAS, 2011, pp. 228-234. (in Russian)
6. Kozyrev, A.A., Lovchikov, A.V., Kuz'min, I.A. [The strongest technogenic earthquake at Russian mines, August 17, 1999, Umbozero mine (Kola Peninsula)]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2000, no. 6, pp. 169-173 (in Russian)
7. Meshcheryakov, Yu.A. [Map of modern vertical movements of the Earth's crust in Eastern Europe. Scale: 1 : 10000000]. International Geodetic and Geophysical Union. International Association of Geodesy. Commission on Modern Movements of the Earth's Crust. The Subcommittee on the Map of Eastern Europe. The Main Directorate of Geodesy and Cartography. 1971. pp. 68-73. (in Russian)
8. Nesterneko, M.Yu., Aleshin, I.M., Goev, A.G. et al. [Oernburg regional network "Neftegaz-seismika"]. *Seismicheskie pribory*, 2023, vol. 59, no. 2, pp. 5-17. <https://doi.org/10.21455/si2023.2-1>. (in Russian)
9. Nesterneko, M.Yu., Kapustina, O.A. [Assessment of the representativeness of the catalog of seismic events in the Orenburg region]. *Problemy nedropol'zovaniya*, 2019, issue 2, pp. 52-55. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.02.052> (in Russian)
10. Tomilin, N.G., Voinov, K.A., Selivonik, V.G., Glotov, S.V. [Technogenic earthquake as a result of mine field instability]. In: [Geodynamics and the stress state of the Earth's interior. Proc. All-Russian conference dedicated to the 80th anniversary of academician M.V. Kurlenya, October 3-6, 2011]. Novosibirsk, IGD SB RAS, 2011, pp. 68-73. (in Russian)
11. Ulomov, V.I., Bogdanov, M.I. [A set of maps of the general seismic zoning of the Russian Federation OSR-2016. Scale: 1:8000000]. 2016. (in Russian)
12. [Uchaly human-induced earthquake, September 5, 2012]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii*, issue 21, 2018, pp. 387-391. (in Russian)
13. Shebalin, P.N., Gvishiani, A.D., Dzeboev, B.A., Skorkina, A.A. [Why are new approaches to seismic hazard assessment necessary?]. *Doklady Rossiiskoi Akademii nauk, nauki o Zemle*. 2022, vol. 507, no. 1, pp. 91-97. (in Russian)