

УДК 550.34.06

Техногенно–индуцированные сейсмические события на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона по данным полевых наблюдений

© 2020 г. И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова, А.Е. Великанов

РГП ИГИ МЭ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Аннотация. Исследована сейсмичность в районе Семипалатинского испытательного полигона вблизи мест ранее проведённых ядерных испытаний, а также на территории действующих карьеров в районе полигона. Для изучения техногенных событий на полигоне были использованы данные полевых сейсмических наблюдений 2005–2010 гг., 2018–2020 гг. Кроме того, привлекались данные стационарной сейсмической группы «Курчатов-Крест», трёхкомпонентной станции «Курчатов» IRIS-IDA, а также инфразвуковой станции «Курчатов». В работе показано, что в период проведения подземных ядерных взрывов на территории Семипалатинского испытательного полигона, а также в последние годы в районе проведения ядерных взрывов наблюдались индуцированные землетрясения малой энергии. В районе месторождений твёрдых полезных ископаемых, где проводятся интенсивные взрывные работы, зарегистрированы техногенные землетрясения, инициированные длительным воздействием промышленных взрывов.

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон, техногенные землетрясения.

Для цитирования: Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е. Техногенно-индуцированные сейсмические события на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона по данным полевых наблюдений // Российский сейсмологический журнал. — 2020. — Т. 2, № 4. — С. 7–15. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.01>

Введение

В последние десятилетия Национальным ядерным центром Республики Казахстан (НЯЦ РК) проводится большой комплекс исследований территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП), в первую очередь, с точки зрения безопасности проведения на этой территории хозяйственной деятельности, функционирования ответственных объектов атомной отрасли, потенциальной радиационной опасности. Важным разделом в этом комплексе является изучение сейсмической опасности как в связи с возможными природными землетрясениями, так и в отношении возникновения вероятных техногенных событий.

Известно, что, согласно имеющимся картам общего сейсмического районирования территории Казахстана на начало исследований [СНП ..., 2006], эта территория относилась к асейсмичным районам. Но уже первые детальные исследования на основе информации из Международных центров данных, архивных литературных данных, анализа исторических

сейсмограмм показали, что здесь ранее происходили землетрясения, среди которых были достаточно сильные события с магнитудой около 6. Открытие новых стационарных сейсмических станций сети Института геофизических исследований НЯЦ РК позволило на новом уровне организовать сейсмический мониторинг территории СИП. Сейчас уже нет сомнения, что в этом районе происходят землетрясения, связанные с активными тектоническими процессами [Михайлова и др., 2020; Соколова, Михайлова, 2020].

Но кроме природных землетрясений, вполне вероятно, что на СИП могут происходить и техногенные события. В настоящее время, спустя три десятилетия после окончания ядерных испытаний на СИП, большой интерес вызывает вопрос существования или отсутствия геодинамической активности в районе инфраструктуры полигона — мест проведения в прошлом подземных ядерных взрывов. Возможность наличия на этой территории индуцированной сейсмичности определяется двумя факторами: 1 — наличием различных явлений в полостях, штольнях, где ранее были проведены подземные ядерные взрывы;

2 — наличием современной активной взрывной деятельности в карьерах на месторождениях полезных ископаемых на территории СИП.

Для изучения вопроса о техногенных событиях на полигоне были организованы полевые наблюдения сейсмическими станциями, привлекались данные стационарной сейсмической станции «Курчатов», а также инфразвуковой станции «Курчатов». Результаты этих исследований посвящена настоящая работа.

Некоторые данные об индуцированной сейсмичности в районе ядерных полигонов Мира

В настоящее время накоплено большое количество материалов, свидетельствующих об индуцированной сейсмичности в районе проведения мощных подземных ядерных испытаний. Одним из последних таких примеров является шестой по счёту подземный ядерный взрыв (ПЯВ), проведённый в районе Северокорейского испытательного полигона «Пунгери» 3 сентября 2017 г. ($m_b=6.3$). Первое землетрясение последовало сразу после ядерного взрыва через 8 мин ($m_b=4.1$). В течение пяти месяцев в районе полигона было зарегистрировано 12 слабых сейсмических событий с магнитудами от 2.3 до 3.6 [Kim et al., 2018]. Сейсмические события были зарегистрированы региональными станциями в Южной Корее, России и Северо-Восточном Китае, включая сейсмические группы Международной системы мониторинга ОДВЗЯИ (МСМ) [Kim et al., 2018; Маловичко и др., 2018]. Основываясь на времени и близости этих событий к подземному ядерному испытанию, их можно рассматривать как афтершоки ядерного взрыва [Маловичко и др., 2018].

Другими хорошо задокументированными индуцированными землетрясениями были сейсмические события на острове Амчитка (США). Специально для регистрации сильных подземных ядерных взрывов — «Милроу» 2 октября 1969 г. мощностью около 1 Мм, «Канникин» 6 ноября 1971 г. мощностью около 5 Мм, — а также индуцированных землетрясений была установлена сеть чувствительных сейсмических станций, а также несколько донных станций [Engdahl, 1972]. Исследователями были рассмотрены три типа воздействий: 1 — сейсмическая активность, связанная с разрушением полости взрыва; 2 — индуцированная тектоническая активность в верхней части коры острова; 3 — воздействие на природную сейсмичность региона [Engdahl, 1972]. Сейсмическая активность, связанная с разрушением полости взрыва или феноменом обрушения, проявилась в виде отдельных

событий с магнитудой от 2 до 3.8. Полное разрушение полости взрыва «Канникин» произошло как сложное множественное событие примерно через 38 ч после взрыва ($m_b\sim 4.9$) [Engdahl, 1972]. Слабые события с магнитудой меньше 1 продолжались несколько недель в непосредственной близости от эпицентра взрыва. В случае со взрывом «Милроу» наблюдалось такое же явление, связанное с разрушением полости, которое произошло примерно через 37 ч после взрыва ($m_b\sim 4.3$) [Engdahl, 1972].

После взрыва «Милроу» произошло 12 тектонических событий, десять из которых — в течение 41 дня после взрыва. Все имели магнитуду меньше 3. После взрыва «Канникин» было обнаружено 22 тектонических события. Все имели магнитуду меньше 4 и все, в основном, произошли в течение 23 дней после взрыва, глубины событий варьировались в основном от 3.7 до 7.5 км [Engdahl, 1972]. Внимательное изучение природной сейсмичности до и после взрыва «Милроу» и слабых событий до и после взрыва «Канникин» не выявило взаимосвязи этих взрывов с временным и пространственным распределением природной сейсмичности [Engdahl, 1972].

Другим описанным в литературе примером является мультимегатонный взрыв мощностью 4.2 Мм, произведённый на Новоземельском полигоне 27 октября 1973 г., с магнитудой $m_b=6.9$ [Khalturin et al., 2005; Адушкин, Спивак, 2007]. В течение 14 ч после ПЯВ глобальными сетями мониторинга было зарегистрировано 19 землетрясений, наиболее сильное из которых имело магнитуду $m_b=4.8$. Было отмечено, что проведение подземных ядерных взрывов не сопровождалось катастрофическими тектоническими явлениями, их действие было скорее противоположным — локальное снятие напряжения в регионе за счёт серии индуцированных малых землетрясений [Адушкин, Спивак, 2007]. Тектоническая энергия была высвобождена за счёт как релаксации тектонических напряжений в зоне разрушений вокруг заряда, так и тектонических подвижек по разлому [Адушкин, Спивак, 2007].

Регистрация индуцированной сейсмичности в районе СИП

Первая регистрация ядерного испытания в районе сейсмической станции «Курчатов» была осуществлена в 1960 г. сотрудниками Семипалатинской лаборатории специального контроля [Васильев и др., 2008]. В период 1961–1962 гг., когда на СИП проводилось большое количество атмосферных ядерных взрывов, станция

регистрировала взрывы в ближней зоне. К концу 1969 г. на территории Семипалатинского полигона была установлена экспериментальная сейсмическая группа «Курчатов-Крест» [Васильев и др., 2008]. К сожалению, в настоящее время в архиве Института геофизических исследований Министерства энергетики Республики Казахстан (РГП ИГИ МЭ РК) осталось небольшое количество сейсмограмм подземных ядерных взрывов, произведённых на СИП. Из-за малого эпицентрального расстояния и большой мощности взрывов все сейсмограммы «зашкалены», исследовать феномен афтершоков взрывов не представляется возможным. Найдена лишь одна сейсмограмма с записью афтершока ПЯВ, произведённого на площадке «Дегелен» 5 октября 1975 г., $t_0=04:27:00.0$, $\varphi=49.7831^\circ\text{N}$, $\lambda=78.0867^\circ\text{E}$ (рис. 1) [Соколова и др., 2017].

В течение 2005–2010 гг. (в 2009 г. исследования не проводились) ИГИ МЭ РК проводил мониторинг сейсмичности территории полигона с помощью временной сети локальных станций [Морговская и др., 2006]. На каждом из участков — «Балапан» (2005, 2006, 2010 гг.), «Дегелен» (2006, 2007, 2010 гг.) и «Сары-Узень» (2007, 2008, 2010 гг.) — были созданы временные сети, включающие от одной до пяти полевых станций, укомплектованных дигитайзером DAS-6102 (PMD/Eentec Scientific, Inc., USA) и узкополосным сейсмометром СК-1П («Казгеофизприбор», СССР). На рис. 2 представлена карта расположения сети сейсмических станций в 2010 году. Была

проведена круглосуточная регистрация сейсмических событий в течение полевых сезонов. За 546 суток непрерывных наблюдений были зарегистрированы 1613 сейсмических событий из района СИП и прилегающих территорий, из которых большая часть идентифицирована как карьерные взрывы и только 36 событий отнесены к землетрясениям. Большая часть землетрясений была зарегистрирована только станциями полевой сети наблюдений, и только менее 30% событий регистрируется стационарной сетью наблюдений ИГИ МЭ РК. В табл. 1 приведён состав сети наблюдения на территории СИП по годам, а также количество зарегистрированных сейсмических событий. Одной из задач проведённого мониторинга был анализ индуцированной сейсмичности в районах испытательных площадок «Балапан», «Сары-Узень» и «Дегелен».

В 2010 г. полевой сейсмической станцией DEG1 были зарегистрированы слабые поверхностные события. В связи с тем, что станция DEG1 — трёхкомпонентная, нами был рассчитан азимут на эпицентр, по разнице вступлений P - и S -волн оценено расстояние до сейсмических событий и, таким образом, определены координаты событий. Параметры обработанных событий представлены в табл. 2. Все события, зарегистрированные станцией DEG1, можно разделить на два класса — землетрясения (рис. 3а) и обрушения (рис. 3б). Энергетические параметры точно рассчитать не удалось, известно только, что магнитуда этих событий была менее 1.0.

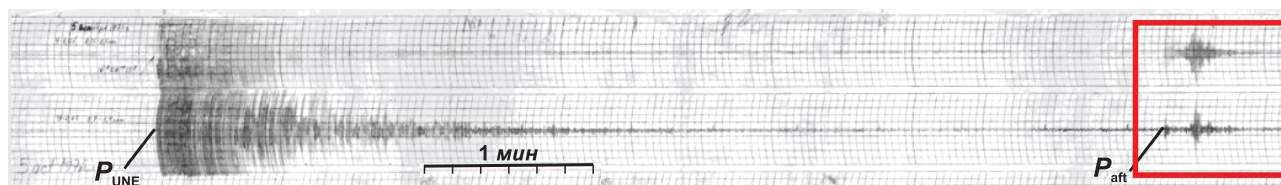


Рис. 1. Сейсмограмма ПЯВ 05.10.1975 г., $t_0=04:27:00.0$, $\varphi=49.7831^\circ\text{N}$, $\lambda=78.0867^\circ\text{E}$, площадка «Дегелен», станция «Курчатов»

Рис. 2. Расположение полевых сейсмических станций на СИП в 2010 г. Треугольники — сейсмические станции

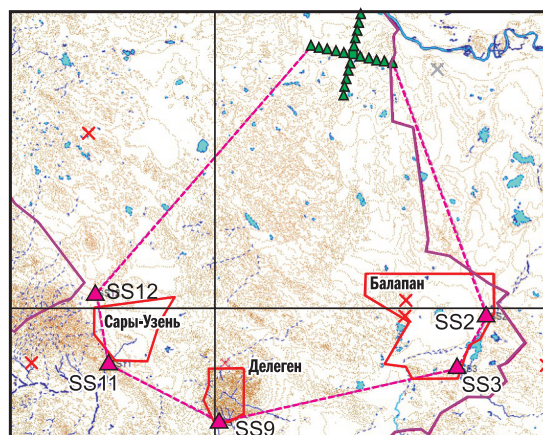


Таблица 1. Результаты сейсмического мониторинга территории СИП и его окрестностей временной сетью полевых станций 2005–2010 гг.

Даты проведения мониторинга, <i>дд.мм.–дд.мм.гггг</i>	Мониторинг площадок	Количество полевых станций	Продолжительность, <i>сут.</i>	Зарегистр. сейсмические события		
				всего	в том числе: промышленные взрывы	землетрясения
27.08.–09.11.2005	Балапан	5	75	165	160	5
29.06.–10.11.2006	Дегелен, Балапан	10	135	259	256	3
06.06.–11.11.2007	Сары-Узень, Дегелен, Балапан	8	158	456	444	12
10.08.–05.11.2008	Сары-Узень, Балапан	6	87	376	371	5
08.05.–07.08.2010	Сары-Узень, Дегелен, Балапан	5	91	357	346	11
Итого:			546	1613	1577	36

Таблица 2. Параметры сейсмических событий на площадке «Дегелен»

Дата, <i>дд.мм.гггг</i>	t_0	φ° , N	λ° , N	h , км	MPVA
15.05.2010	14:08:10.0	49.7563	78.0123	0	<1
19.05.2010	04:51:25.2	49.8181	78.0937	0	<1
22.05.2010	01:07:22.2	49.7548	78.0262	0	<1
23.05.2010	23:17:27.9	49.7802	78.0336	0	<1
29.05.2010	18:13:18.5	49.6945	78.0252	0	<1
22.06.2010	22:12:49.3	49.7473	78.0375	0	<1
24.07.2010	20:12:55.8	49.6978	78.0440	0	<1
24.07.2010	20:16:48.9	49.6993	78.0410	0	<1
28.07.2010	16:57:47.7	49.7282	78.0732	0	<1

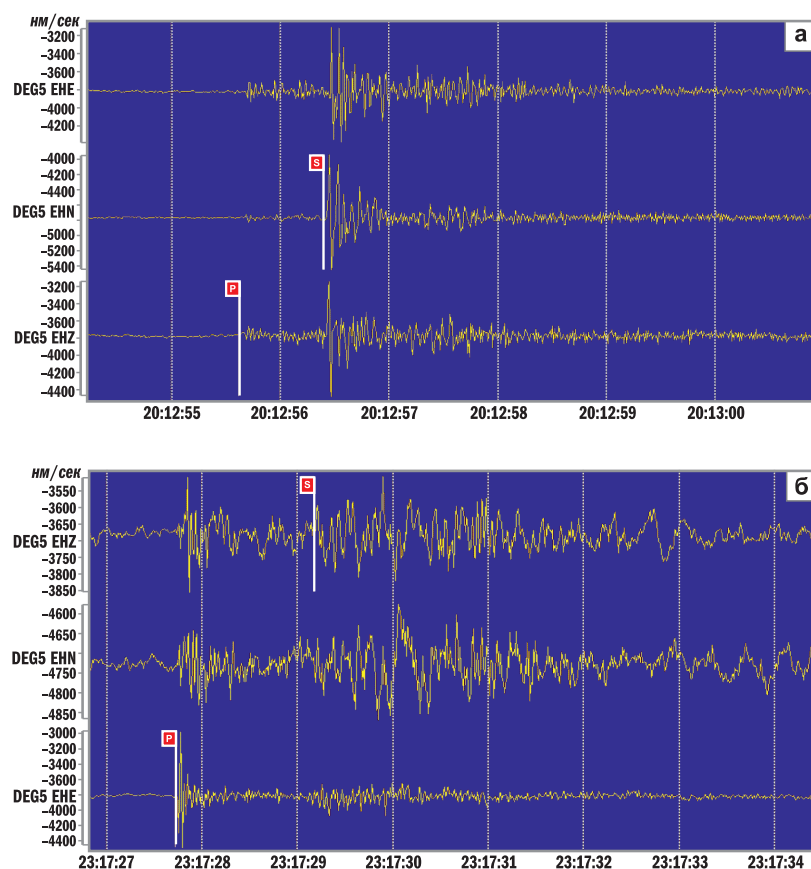


Рис. 3. Записи на площадке «Дегелен»: а – землетрясения 24.07.2010 г., $t_0=20:12:55.8$, $\varphi=49.6978^\circ\text{N}$, $\lambda=78.044^\circ\text{E}$; б – обрушения 23.05.2010 г., $t_0=23:17:27.9$, $\varphi=49.7802^\circ\text{N}$, $\lambda=78.0336^\circ\text{E}$

На рис. 4 представлена карта расположения эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных станцией DEG1 в 2010 году. Отмечено, что все обрушения локализованы в районах штолен, в которых ранее проводились ПЯВ. Этот факт свидетельствует о том, что в штольнях происходят интенсивные обрушения.

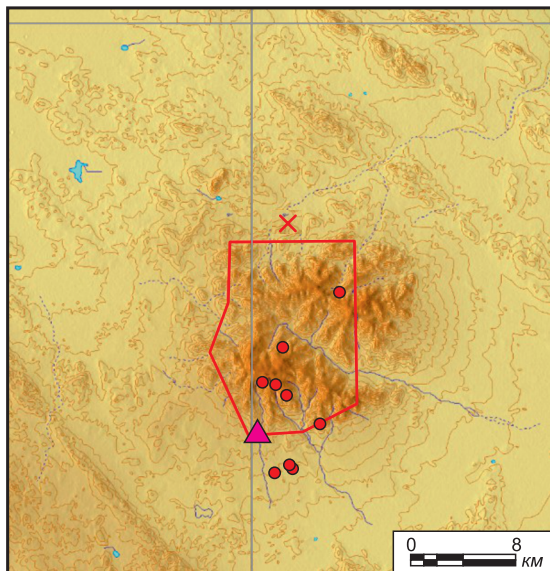


Рис. 4. Карта расположения эпицентров сейсмических событий в районе испытательной площадки «Дегелен».

Кружки — эпицентры, треугольник — сейсмическая станция DEG1, крестик — карьер

После длительного перерыва работы по исследованию сейсмичности СИП сетью локальных станций возобновились в 2018 году. Наблюдения проводились в течение трёх лет на площадках «Дегелен» — в 2018 г., «Балапан» — в 2019 г. и «Сары-Узень» — в 2020 г. (табл. 3). На станциях

была установлена аппаратура: дигитайзеры DAS-6502 (PMD/Eentec Scientific, Inc., США) и широкополосные сейсмометры CMG40T (GURALP, Соединённое Королевство). На рис. 5 представлена карта расположения сети сейсмических станций в 2018 году. В течение полевого периода 2018 г. были зарегистрированы землетрясения из района площадки «Дегелен» вблизи станции DEG1 (рис. 6). Наличие очагов землетрясений вблизи боевых штолен подтверждает вывод о продолжающихся процессах в районе площадки. Интересно, что при проведении полевых наблюдений в районе испытательных скважин на площадке «Балапан» землетрясений зарегистрировано не было.

Таблица 3. Сейсмический мониторинг территории СИП и его окрестностей временной сетью полевых станций

Даты проведения мониторинга, <i>дд.мм.—дд.мм.гггг</i>	Мониторинг площадок	Кол-во полевых станций	Продолжительность, сут.
25.02.—26.09.2018	Дегелен	5	125
17.06.—10.10.2019	Балапан	4	116
01.07.—08.10.2020	Сары-Узень	5	100
Итого:			341

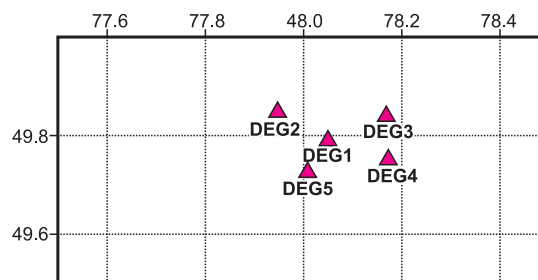


Рис. 5. Расположение полевых сейсмических станций на площадке «Дегелен» СИП в 2018 г.

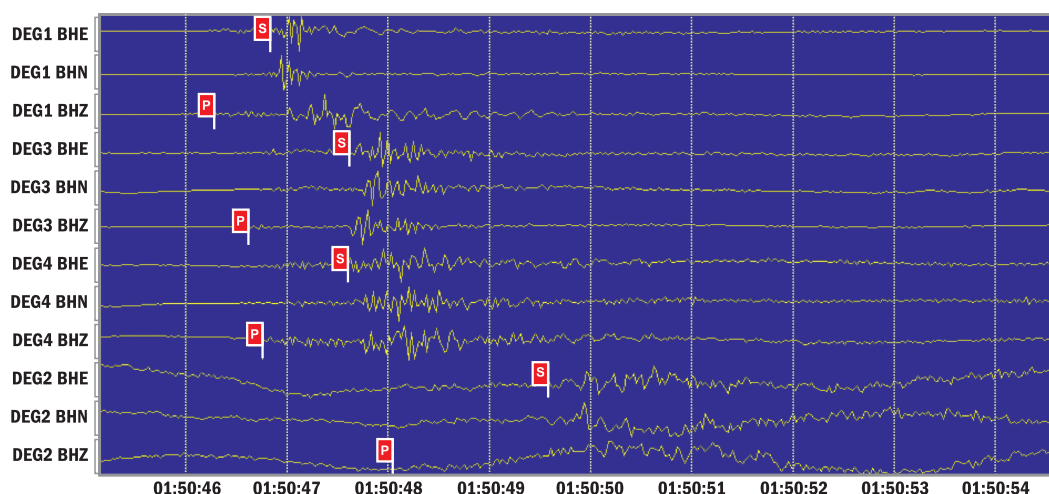


Рис. 6. Записи обрушения на площадке «Дегелен» 15.07.2018 г., $t_0=01:50:45$, $\varphi=49.7922^\circ\text{N}$, $\lambda=78.1088^\circ\text{E}$, $MPVA=1.4$, $K=2.3$

Итак, во время полевых наблюдений в районе площадки «Дегелен» удалось зарегистрировать десять сейсмических событий с эпицентрами рядом с боевыми штольнями. Во время аналогичных наблюдений на площадке «Балапан» не было зарегистрировано ни одного события вблизи скважин, где проводились испытания. В отличие от описанных выше данных на полигонах мира, на СИП события регистрируются спустя почти 30 лет после проведённых взрывов.

Сейсмичность в районе карьеров на СИП и вблизи него

Известно, что вблизи крупных активных карьеров могут возникать природно-техногенные землетрясения с очагами, приуроченными к активным тектоническим разломам в непосредственной близости от районов длительного техногенного воздействия [Соколова и др., 2017; Еманов и др., 2014]. В настоящее время на территории СИП действует много карьеров по добыче полезных ископаемых. Один из них — угольный карьер «Каражыра», расположенный на участке «Балапан». Активность карьера высокая, за год производится примерно 165 взрывов, средняя мощность взрывов — 10 т, но некоторые взрывы имеют мощность до 50 т. Достаточно часто магнитуда карьерных взрывов MPV превышает 3, а энергетический класс K_p — больше 8. Регулярное интенсивное техногенное воздействие может вызвать подъём флюидов и спровоцировать или ускорить процесс подготовки тектонических землетрясений. Одно из таких землетрясений было зарегистрировано сравнительно недавно в районе карьера «Каражыра» (рис. 7). Его пара-

метры: 25.10.2019 г., $t_0=01:09:07.8$, $\varphi=49.9979^\circ N$, $\lambda=78.8628^\circ E$, $h=10$, $MPV=3.2$, $K=8$.

Недалеко от СИП расположен другой угольный карьер — «Экибастуз». В ходе полевых наблюдений на СИП в 2010 г. в районе «Экибастуза» было зарегистрировано землетрясение 19.05.2010 г., $t_0=20:25:38.09$, $\varphi=51.541^\circ N$, $\lambda=75.995^\circ E$, $MPVA=2.0$, $K=5.95$ (рис. 8). Событие было слабым, никто его не ощущал, однако спустя несколько лет вблизи г. Экибастуза произошло ощутимое землетрясение $I_0=2-3$ балла. Сейсмическое событие произошло 23 августа 2019 г. в 20 ч 27 мин по местному времени, его зарегистрировали все сейсмические станции ИГИ МЭ РК, станции ТОО «СОМЭ», многие станции России и мира. На рис. 9 представлены записи полевых станций на площадке «Балапан».

Этот район считается асейсмичным, здесь практически не происходят сильные природные тектонические землетрясения. Поэтому, чтобы точно сделать вывод о природе зарегистрированного события, необходимо было провести дополнительный анализ. Были детально изучены сейсмические записи по станциям ИГИ МЭ РК, данные других центров, а также записи инфразвуковых станций Казахстана.

Для того, чтобы убедиться, что это не взрыв в угольных разрезах, были проанализированы записи и данные о более 1700 карьерных взрывах. Время проведения взрывов отличается от времени зарегистрированного события. Обычно взрывы в карьерах Экибастуза проводятся в рабочее время суток с 13 до 18 часов. Изучаемое событие произошло поздно вечером в 20 ч 27 мин. Кроме того, магнитуда данного события

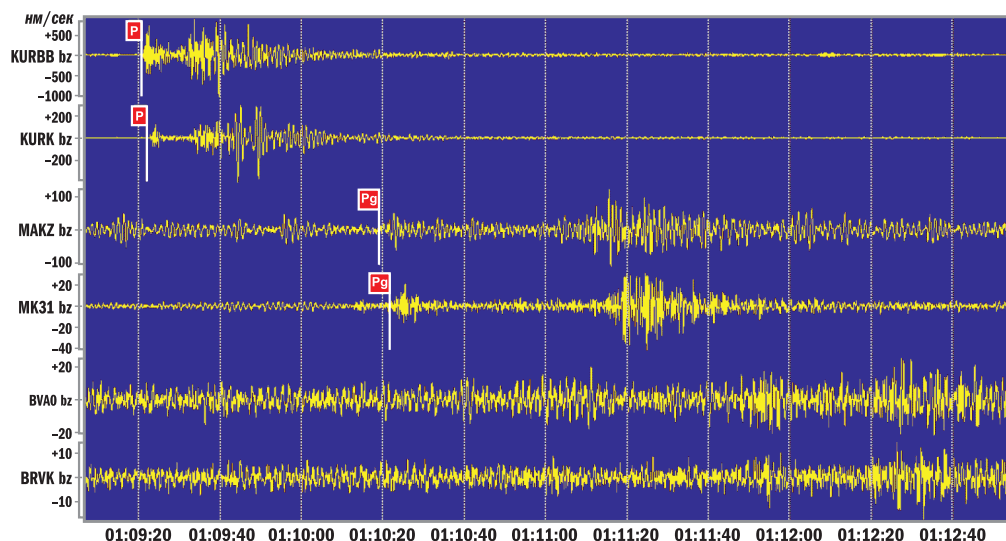


Рис. 7. Записи землетрясения в районе карьера «Каражыра» 25.10.2019 г., $t_0=01:09:07.8$, $\varphi=49.9979^\circ N$, $\lambda=78.8628^\circ E$, $h=10$, $MPV=3.2$, $K=8$

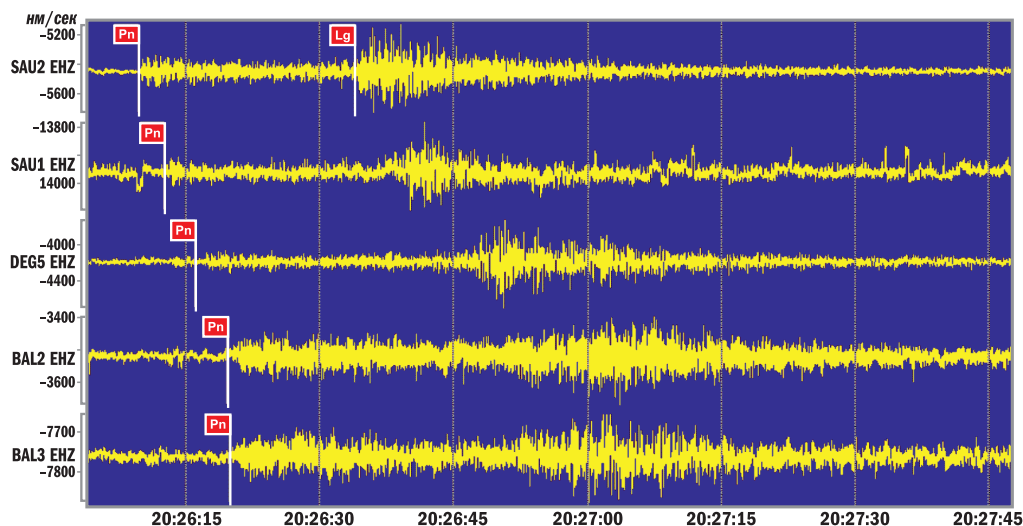


Рис. 8. Записи землетрясения 19.05.2010 г., $t_0=20:25:38.09$, $\varphi=51.541^\circ\text{N}$, $\lambda=75.995^\circ\text{E}$, $MPVA=2.0$

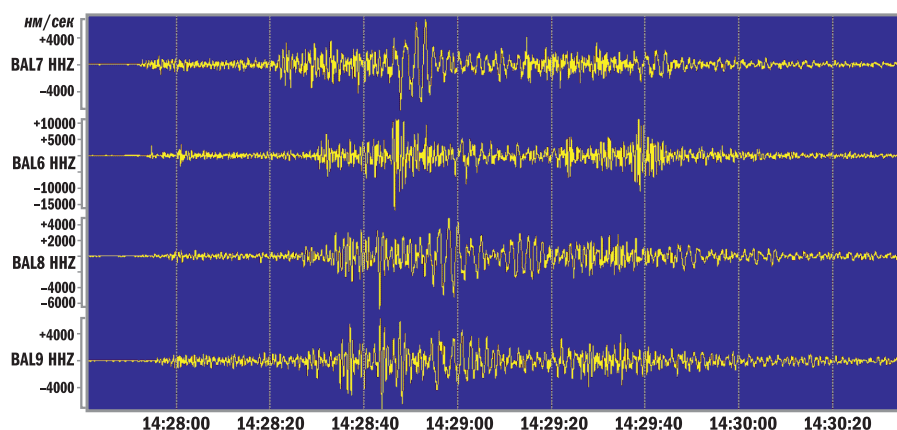


Рис. 9. Записи землетрясения 23.08.2019 г., $t_0=14:27:10.2$, $\varphi=51.6391^\circ\text{N}$, $\lambda=75.4829^\circ\text{E}$, $K=10.7$ полевыми сейсмическими станциями на площадке «Балапан»

— значительно выше магнитуд карьерных взрывов. У обычных взрывов по энергетическому классу значения никогда не превышают 8.0–8.5. В данном случае энергетический класс составил $K=10.7$, что намного выше.

Обычно при проведении карьерных взрывов на «Экибастузе» чётко регистрируется приход инфразвуковой волны. Инфразвуковые станции не регистрировали это событие, записей не обнаружено даже при тщательном анализе. Анализ сейсмических записей показал, что произошло «двойное» землетрясение, то есть за первым толчком через 52 с произошёл второй толчок немного меньшей энергии, но с источником практически в том же месте. Отметим, что примерно через два часа произошло ещё одно более слабое землетрясение с энергетическим классом 8.2, то есть афтершок первого землетрясения. На рис. 10 показано положение эпицентров зарегистрированных землетрясений по данным КНЦД ИГИ МЭ РК и ФИЦ ЕГС РАН.

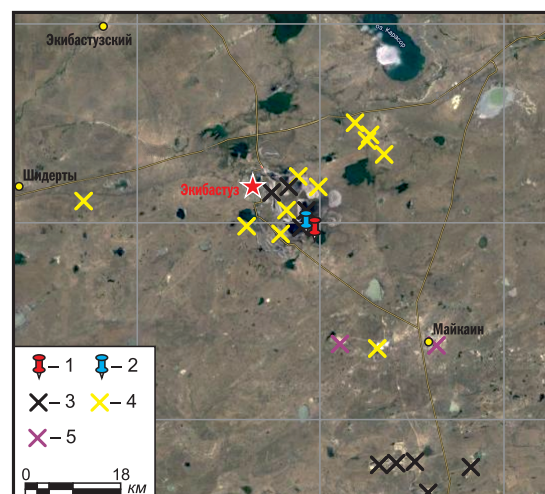


Рис. 10. Эпицентр землетрясения 23.08 2019 г. с координатами:

- 1 — решение КНЦД ИГИ МЭ РК,
- 2 — решение ФИЦ ЕГС РАН;
- 3 — угольные разрезы, 4 — щебенистые карьеры,
- 5 — золоторудные карьеры

Таблица 4. Параметры землетрясений в районе карьера «Экибастуз»

Дата, дд.мм.гггг	t_0	φ° , N	λ° , E	h , км	MPV	K
23.08.2019	14:27:10.2	51.6391	75.4829	5	4.2	10.7
23.08.2019	14:28:06.0	51.6391	75.4829	5	4.0	10.3
23.08.2019	16:24:44.1	51.5649	75.3869	5	3.3	8.2

В табл. 4 приведены параметры серии землетрясений в районе карьера «Экибастуз».

Заключение

В работе показано, что как в период проведения ПЯВ на территории Семипалатинского испытательного полигона, так и спустя 30 лет после испытаний в районе их проведения наблюдались индуцированные землетрясения малой энергии. В настоящее время в районе площадки «Дегелен» регистрируются сейсмические события вблизи боевых штолен.

В районе месторождений твёрдых полезных ископаемых, где проводятся интенсивные взрывные работы для добычи полезных ископаемых, наблюдается природно-техногенная сейсмичность, инициированная длительным техногенным воздействием.

Единичные зарегистрированные техногенные землетрясения во время эпизодических полевых наблюдений не отражают картину геодинамических проявлений в целом. Необходима организация специальных сетей мониторинга на СИП в районе испытательных площадок ПЯВ, а также в районах крупных месторождений твёрдых полезных ископаемых на регулярной основе, так как возможные последствия сильных природно-техногенных землетрясений могут вызвать разрушения, жертвы, а также экологические проблемы в регионе.

Литература

Адушкин В.В., Спивак А.А. Подземные взрывы. — М.: Наука, 2007. — 579 с.
Васильев А.П., Востриков А.А., Ерастов В.В., Данилов Б.М., Малышев Ю.К. История Семипалатинской лаборатории // Вестник НЯЦ РК. — 2008. — Вып. 1. — С. 78–92.

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.

Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Коломиец М.В. Регистрация подземных ядерных испытаний и наведённой сейсмичности в Северной Корее в 2016–2017 гг. российскими сейсмическими станциями // Вестник НЯЦ РК. — 2018. — Вып. 2. — С. 20–26.

Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Полешко Н.Н. Историческая и современная сейсмичность территории Семипалатинского испытательного полигона // Геофизические процессы и биосфера. — 2020. — Т. 19, № 2. — С. 117–134.

Морговская М.К., Соколова И.Н., Неделков А.И., Султанова Г.С., Казаков Е.Н. Изучение локальной сейсмичности Семипалатинского испытательного полигона // Вестник НЯЦ РК. — 2006. — Вып. 3. — С. 62–69.

СНиП РК 2.03-30-2006. Строительство в сейсмических районах. — Алматы: ТОО «Издательство LEM». — 2006. — 80 с.

Соколова И.Н., Михайлова Н.Н. Исторические данные и архивные сейсмограммы как подтверждение сейсмичности территории семипалатинского испытательного полигона // Вестник НЯЦ РК. — 2020. — Вып. 3. — С. 73–80.

Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н. Техногенная сейсмичность на территории Казахстана // Вестник НЯЦ РК. — 2017. — Вып. 2. — С. 47–57.

Engdahl E.R. Seismic effects of the MILROW and CANNIKIN nuclear explosions // Bulletin of the Seismological Society of America. — 1972. — V. 62, N 6. — P. 1411–1423.

Khalturin V.I., Rautian T.G., Richards P.G., Leith W.S. A Review of nuclear testing by the Soviet Union at Novaya Zemlya, 1955–1990 // Science and Global Security. — 2005. — V. 13. — P. 42.

Kim W.-Y., Schaff D., Richards P.G. Location and identification of seismic events around north Korean Nuclear test site following the 3 September 2017 underground nuclear test // Вестник НЯЦ РК. — 2018. — Вып. 2. — С. 11–19.

Сведения об авторах

Соколова Инна Николаевна, д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. Республиканского государственного предприятия «Институт геофизических исследований» Министерства энергетики Республики Казахстан (РГП ИГИ МЭ РК), г. Курчатов, Республика Казахстан. E-mail: sokolova@kndc.kz

Михайлова Наталья Николаевна, д-р физ.-мат. наук, директор Казахстанского национального центра данных (КНЦД), зам. ген. директора по науке РГП ИГИ МЭ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан. E-mail: mikhailova@kndc.kz

Великанов Александр Ефимович, ведущий геолог РГП ИГИ МЭ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан. E-mail: erdas@kndc.kz

Induced seismic events on the territory of the former Semipalatinsk Test Site (STS) according to the data of field observations

© 2020 I.N. Sokolova, N.N. Mikhailova, A.Ye. Velikanov

RSE IGR ME RK, Kurchatov, Republic of Kazakhstan

Abstract Seismicity in the area of the Semipalatinsk Test Site near the sites of previously conducted nuclear tests, as well as on the territory of operating quarries in the STS area was investigated. To study man-made events at the test site, the data of field seismic observations for 2005-2010, and 2018-2020 was used. In addition, data from the Kurchatov-Cross permanent seismic array, the Kurchatov IRIS IDA three-component station, and the Kurchatov infrasound station were used. It is shown that during the period of UNE conduction on the territory of the Semipalatinsk Test Site, as well as in recent years in the area of nuclear explosions, induced earthquakes with low-energy were observed. In the area of mineral mines, where intensive blasts are carried out, technogeneous earthquakes induced by the prolonged impact of industrial explosions have been recorded.

Keywords Semipalatinsk test site, induced earthquakes.

For citation Sokolova, I.N., Mikhailova, N.N., & Velikanov, A.Ye. (2020). [Induced seismic events on the territory of the former Semipalatinsk Test Site (STS) according to the data of field observations]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(4), 7-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.01>

References

- Adushkin, V.V., & Spivak, A.A. (2007). *Podzemnye vzryvy* [Underground explosions]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 579 p. (In Russ.).
- Emanov, A.F., Emanov, A.A., Fateev, A.V., Leskova, E.V., Shevkunova, E.V., & Podkorytova, V.G. (2014). [Man-made seismicity of the Kuzbass mine (Bachatsky earthquake on June 18, 2013)]. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of the development of minerals], 2, 41-46. (In Russ.).
- Engdahl, E.R. (1972). Seismic effects of the MILROW and CANNIKIN nuclear explosions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 62(6), 1411-1423.
- Khalturin, V.I., Rautian, T.G., Richards, P.G., & Leith, W.S. (2005). A Review of nuclear testing by the Soviet Union at Novaya Zemlya, 1955-1990. *Science and Global Security*, 13, 42 p.
- Kim, W.-Y., Schaff, D., & Richards, P.G. (2018). Location and identification of seismic events around North Korean Nuclear test site following the 3 September 2017 underground nuclear test. *Vestnik NJaC RK* [NNC RK Bulletin], 2, 11-19.
- Malovichko, A.A., Gabsatarova, I.P., & Kolomic, M.V. (2018). [Registration of underground nuclear tests and initiated seismicity in North Korea in 2016-2017 by Russian seismic stations]. *Vestnik NJaC RK* [NNC RK Bulletin], 2, 20-26. (In Russ.).
- Mihajlova, N.N., Sokolova, I.N., & Poleshko, N.N. (2020). [Historical and modern seismicity of the territory of the Semipalatinsk test site]. *Geofizicheskie processy i biosfera* [Geophysical processes and biosphere], 19(2), 117-134. (In Russ.).
- Morgovskaja, M.K., Sokolova, I.N., Nedelkov, A.I., Sultanova, G.S., & Kazakov, E.N. (2006). [Local seismicity study of Semipalatinsk test site]. *Vestnik NJaC RK* [NNC RK Bulletin], 3, 62-69. (In Russ.).
- SNiP RK 2.03-30-2006. (2006). [Construction in seismic areas]. Almaty, Kazakhstan: TOO "Izdatel'stvo LEM", 80 p. (In Russ.).
- Sokolova, I.N., & Mihajlova, N.N. (2020). [Historical data and archive seismograms as confirmation of Semipalatinsk test site seismicity]. *Vestnik NJaC RK* [NNC RK Bulletin], 3, 73-80. (In Russ.).
- Sokolova, I.N., Mihajlova, N.N., Velikanov, A.E., & Poleshko, N.N. (2017). [Induced seismicity on the territory of Kazakhstan]. *Vestnik NJaC RK* [NNC RK Bulletin], 2, 47-57. (In Russ.).
- Vasil'ev, A.P., Vostrikov, A.A., Erastov, V.V., Danilov, B.M., & Malyshev, Ju.K. (2008). [History of Semipalatinsk laboratory]. *Vestnik NJaC RK* [NNC RK Bulletin], 1, 78-92. (In Russ.).

Information about authors

Sokolova Inna Nikolaevna, Dr., Leading Researcher of the Republican State Enterprise "Institute of Geophysical Research" of the Ministry of Energetics of the Republic of Kazakhstan (RSE IGR ME RK), Kurchatov, Republic of Kazakhstan. E-mail: sokolova@kndc.kz

Mikhailova Natalya Nikolaevna, Dr., Director of the KNDC, Deputy Director of the RSE IGR ME RK, Kurchatov, Republic of Kazakhstan. E-mail: mikhailova@kndc.kz

Velikanov Alexandr Efimovich, Leading Geologist of the RSE IGR ME RK, Kurchatov, Republic of Kazakhstan. E-mail: erdas@kndc.kz