

Индукцированная сейсмичность в районах месторождений твердых полезных ископаемых Казахстана по данным сети KZNET

И. Н. Соколова, Н. Н. Михайлова, А. Е. Великанов

Филиал «Институт геофизических исследований» НЯЦ РК, 071100, Казахстан, г. Курчатов, площадка Меридиан, email: sokolova@kndc.kz

Аннотация

Проведен анализ сейсмических бюллетеней сети ИГИ НЯЦ РК (KZNET), выявлено значительное количество землетрясений в районах, которые традиционно считались асейсмичными. Ряд землетрясений приурочен к местам активного антропогенного воздействия. Исследованы техногенные и природно-техногенные землетрясения на месторождениях твердых полезных ископаемых на Жезказганском месторождении в Центральном Казахстане, золоторудных карьерах Северного Казахстана, угольных месторождениях Восточного и Центрального Казахстана – Карагандинском, Каражыра, Экибастузском и др. Рассматриваются возможные причины их возникновения.

Ключевые слова:

Сейсмический мониторинг, месторождения полезных ископаемых, техногенные землетрясения

Введение

Начиная с 1994 года, на территории Казахстана успешно функционирует сеть мониторинга Института геофизических исследований Национального ядерного Центра РК (ИГИ НЯЦ РК), состоящая в основном из чувствительных сейсмических групп различной конфигурации. Сейсмические станции сети ИГИ НЯЦ РК (в основном сейсмические группы) расположены по периметру Казахстана, и одна трехкомпонентная станция расположена в центре [1]. Начиная с 2003 г. в ИГИ НЯЦ РК проводится систематическое обнаружение и обработка сигналов, составление сейсмических бюллетеней в Центре данных. Уже в первые годы сейсмического мониторинга Казахстана новой сетью выявлено значительное количество событий на территории Казахской платформы, в Западном и Восточном Казахстане, то есть в районах, которые традиционно считались асейсмичными. Большую часть этих событий, безусловно, составляют промышленные взрывы [8] (рисунок 1), используемые при разработке полезных ископаемых – именно в последние десятилетия произошел скачок количества промышленных взрывов. Но регистрировались и события, которые не являлись взрывами. Ряд землетрясений Центрального, Западного, Северного и Северо-Восточного Казахстана приурочен к местам активного антропогенного воздействия, таким как месторождения твердых полезных ископаемых, нефтегазовые месторождения, Семипалатинский испытательный полигон [2]. Причины таких землетрясений могут быть разными: на месторождениях твердых полезных ископаемых – это динамические проявления горного давления, вследствие которого происходят обрушения породы, горные удары [3]. Вблизи крупных активных карьеров могут возникать природно-техногенные землетрясения с очагами, приуроченными к активным разломам [2, 4-7]. В нефтегазоносных провинциях техногенные землетрясения связаны, как правило, со

снижением пластового давления в нефтяной толще [2, 3], а в районах проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) – с обрушением полостей, образовавшихся после взрывов [6].

Авторы настоящей работы исследовали техногенную и индуцированную сейсмичность на месторождениях твердых полезных ископаемых на территории Казахстана по мировым и региональным данным. По собранным архивным данным о сейсмологической истории районов, где они произошли, проведено исследование природы таких событий.

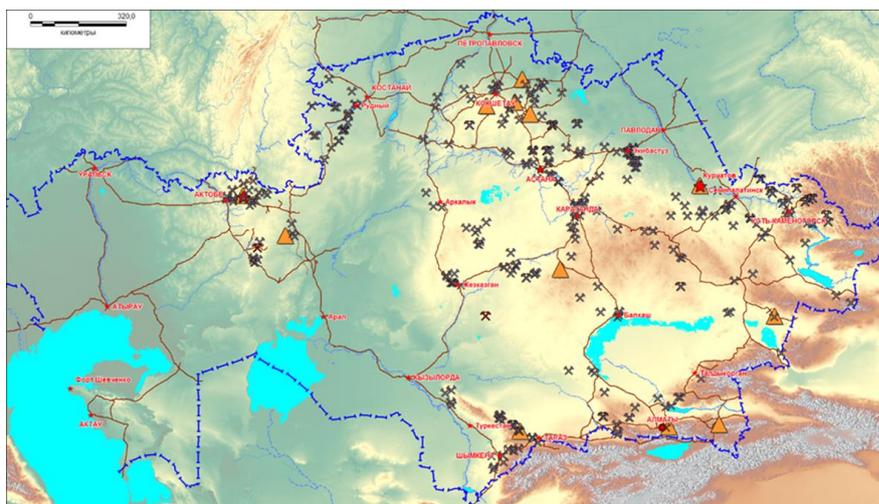


Рис. 1. – Действующие карьеры Казахстана.

Жезказганское месторождение в Центральном Казахстане. Длительная разработка Жезказганского месторождения меди (более 160 лет) привела к существенным геодинамическим изменениям в геологической среде, которые проявились мощными техногенными землетрясениями. Самое сильное из них, с $m_b=4.8$, $M_s=4.5$, произошло 1 августа 1994 г. на территории карьера Златоуст-Беловский вблизи г. Жезказган (рисунок 2).

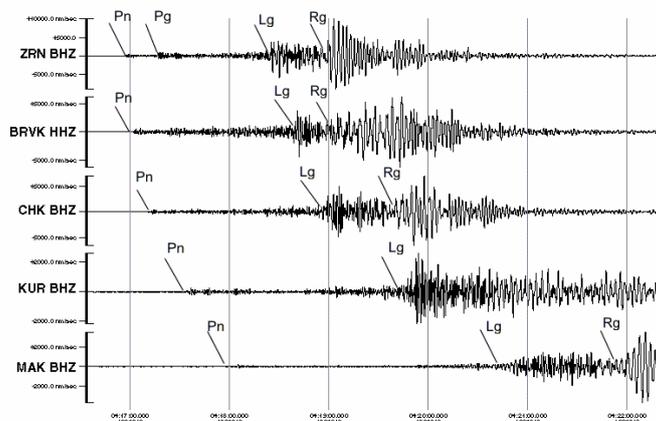


Рис. 2. – Район Жезказгана. Сейсмические записи события 1 августа 1994 г. $t_0=04:15:39.7$, $\varphi=47.833^\circ$, $\lambda=67.451^\circ$, $m_b=4.8$, $K=12.2$. Станции ИГИ. Z-компонента.

Это было крупномасштабное обрушение, которое унесло жизни 6 человек, вызвало разрушение множества действующих подземных выработок и зданий на поверхности. Проявления землетрясения были столь сильными, что практически привели к полной остановке работ на одном из рудников, закрытию ряда шахт и переносу поверхностных строений из опасной зоны. Были искорежены рельсовые пути, опрокинуты вагоны [9, 10]. На рисунке 3 приведена схема обрушения налегающей толщи с выходом на дневную поверхность [9].

Другое событие, произошедшее 23.06.1996 г. в районе Жезказганского месторождения ($M_s=3.7$), ощущалось в п. Каражал (эпицентрального расстояние $\Delta=243$ км), п. Агадырь ($\Delta=398$ км) с интенсивностью 3 балла. Станциями ИГИ зарегистрированы также события 09.09.2002 ($M_s=4.4$) и 23.06.2005 ($M_s=4.0$). На рисунке 4 показаны эпицентры наиболее сильных сейсмических событий ($m_{pv}\geq 3.7$) вблизи г. Жезказган [2].

После 2009 г. сильных событий в районе Жезказганского месторождения не было. Это связано с тем, что, начиная с 2010 г. изменилась технология подземной добычи руды с исключением опасной отработки богатым содержанием металла горных целиков (оставшихся со времен СССР), которые к тому времени были все отработаны. В настоящее время подземная добыча проводится в меньших объемах, большая часть добычных работ проводится с поверхности в открытых горных выработках (карьерах) [2].

Золоторудные карьеры в Северном Казахстане. В Северном Казахстане землетрясения происходят очень редко. Наиболее заметным является землетрясение вблизи курорта Боровое ($m_{pv}=3.5$, энергетический класс 8.6), произошедшее 08.05.2003 г. в 16:08:13.3, $\varphi=52.825^\circ N$, $\lambda=70.807^\circ E$.

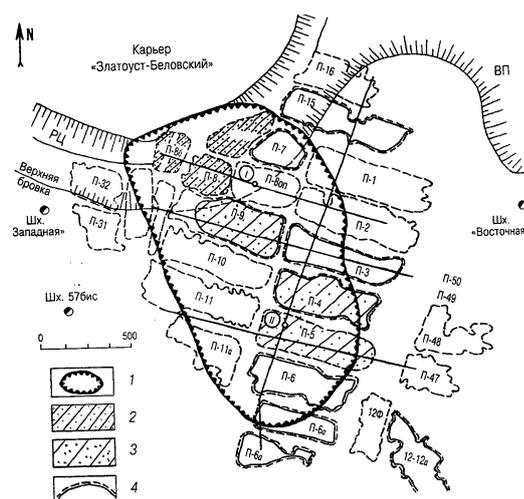


Рис. 3. – Карьер Златоуст-Беловский Жезказганского месторождения. Схема реализации процесса обрушения, произошедшего 1 августа 1994: 1 – контур обрушения, 2–4 – панели соответственно заложенные, частично заложенные и ослабленные [9].

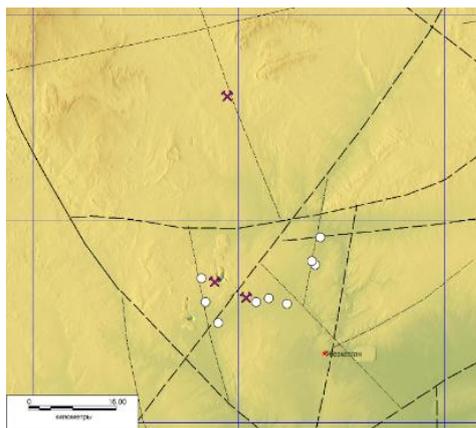


Рис. 4. – Карта расположения эпицентров сейсмических событий в районе Жезказганского месторождения (1994-2009 гг.). Пунктирная линия – разрывные нарушения; кружок – эпицентр события, скрещенные молоты – карьер.

В г. Степняк, находящемся в 6 км от эпицентра, колебания достигали интенсивности 4 балла [10]. По словам очевидцев, землетрясение ощущалось как удар и сильное раскачивание. Во многих дворах на земле появились трещины различного размера. Землетрясение ощущалось также в других ближайших поселках и некоторыми жителями г. Астаны ($\Delta = 193$ км) с интенсивностью 2 балла.

На рисунке 5 показано расположение эпицентра землетрясения 08.05.2003 г., а также тектонические и разрывные нарушения. Землетрясение произошло в месте, где возникновение тектонических землетрясений маловероятно. Однако вблизи эпицентра расположены шахты и забои золотодобывающего рудника. Добыча золота здесь началась сотни лет назад. В 1928 г. золотодобывающий прииск стал рудником, а в 30-е годы прошлого века в шахтах и забоях уже велась интенсивная добыча руды с использованием механизмов горнодобывающей промышленности. В настоящее время добыча на месторождении законсервирована, а вблизи шахт не проводится мониторинг их состояния. На рисунке 6 представлены сейсмограммы сейсмического события 08.05.2003 г., зарегистрированные станциями ИГИ, расположенными вблизи п. Боровое на расстояниях от 15 до 1080 км. С большой вероятностью можно утверждать, что рассматриваемое событие является обрушением горных пород, о чем свидетельствует характерная форма записи события: мощные поверхностные волны, все знаки первых вступлений на вертикальных компонентах являются минусами.

Природно-техногенные (индуцированные) землетрясения

Район г. Рудный. Известно, что вблизи крупных активных карьеров могут возникать природно-техногенные землетрясения с очагами, приуроченными к активным тектоническим разломам [2, 4] в непосредственной близости от районов длительного техногенного воздействия. В апреле 2004 г. и в апреле 2016 г. в Северном Казахстане вблизи г. Рудный произошли землетрясения с магнитудой более 3, которые ощущались в г. Рудный с интенсивностью 3 балла. Землетрясения в обоих случаях произошли в ночное время, имели глубину менее 10 км, у некоторых имелись афтершоки [2].

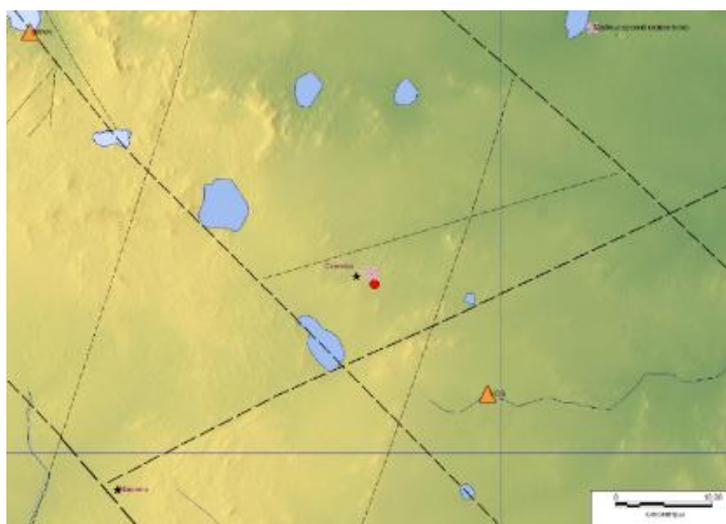


Рис. 5. – Расположение эпицентра землетрясения 08.05.2003 г. $t_0=16:08:13$, тектонических и разрывных нарушений. Кружок – эпицентр землетрясения, треугольник – сейсмическая станция ИГИ; звездочка – г. Степняк, крестик – карьер или рудник.

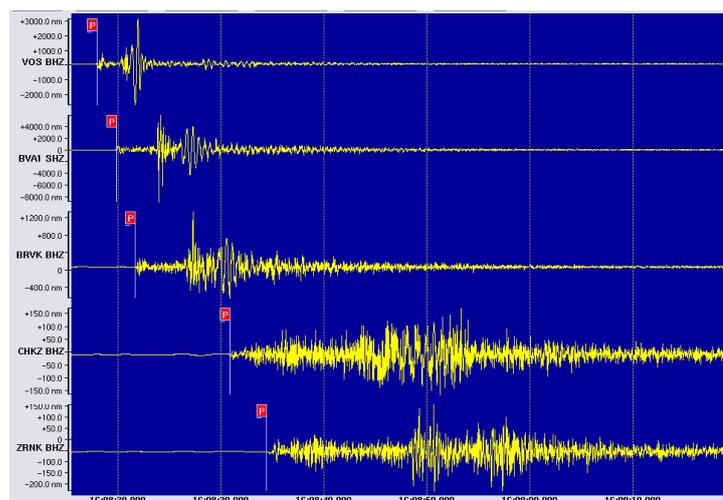


Рис. 6. – Сейсмограммы сейсмического события 08.05.2003 г. станций ИГИ НЯЦ РК, расположенных вблизи Борового (Z-компонента).

Район г. Рудный является асейсмичным, однако вблизи него расположены крупные карьеры, такие как, Соколовский, Сарбайский и Качарский, где производятся взрывы с максимальной мощностью, достигающей 500–600 т при средней мощности 200 т. Сеть станций ИГИ регистрирует большое количество взрывов из этого района с энергетическими классами $K=4.2\div 8$. Суммарная сейсмическая энергия карьерных взрывов в радиусе 50 км от эпицентров землетрясений достигает 3 ГДж (2010, 2012 г.). Вполне вероятно, что регулярное интенсивное техногенное воздействие могло вызвать подъем флюидов и спровоцировать или ускорить процесс подготовки тектонических землетрясений.

Район оз. Балхаш. Север оз. Балхаш традиционно считается асейсмичным, однако в этом районе и ранее происходили землетрясения, самое сильное из которых ($m_b=4.5$) было 27.09.1988 г. к западу от г. Балхаш. 02.08.2003 г. в 00:53:08.2 GMT на берегу оз. Балхаш, вблизи крупного медного месторождения Коунрад произошло мощное землетрясение, которое ощущалось в г. Балхаш силой 3–4 балла [2]. Координаты события $\varphi=46.8032^\circ\text{N}$, $\lambda=74.9628^\circ\text{E}$, $m_p v=4.8$, $K=11.3$ (рисунок 7). Землетрясение 02.08.2003 г. имеет тектоническую природу: его очаг приурочен к тектоническому разлому, механизм очага – сдвиг, глубина события ~ 13 км, волновая картина характерна для тектонического события из этого района (рисунок 8). Однако землетрясение 02.08.2003 г. произошло в непосредственной близости от Коунрадского месторождения медных руд, где регулярное антропогенное воздействие на среду могло ускорить процесс подготовки этого землетрясения.

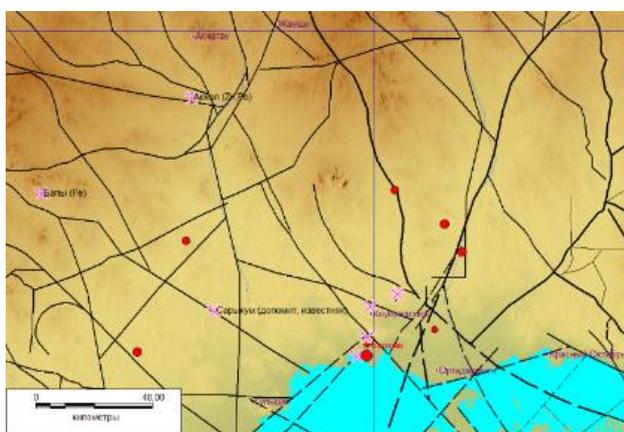


Рис. 7. – Расположение эпицентров событий, тектонических и разрывных нарушений вблизи Коунрадского месторождения. Звездочка – г. Балхаш; крестик – карьер или рудник; кружок – эпицентр события; черная сплошная линия и пунктир – нарушение (тектоническое, разрывное).

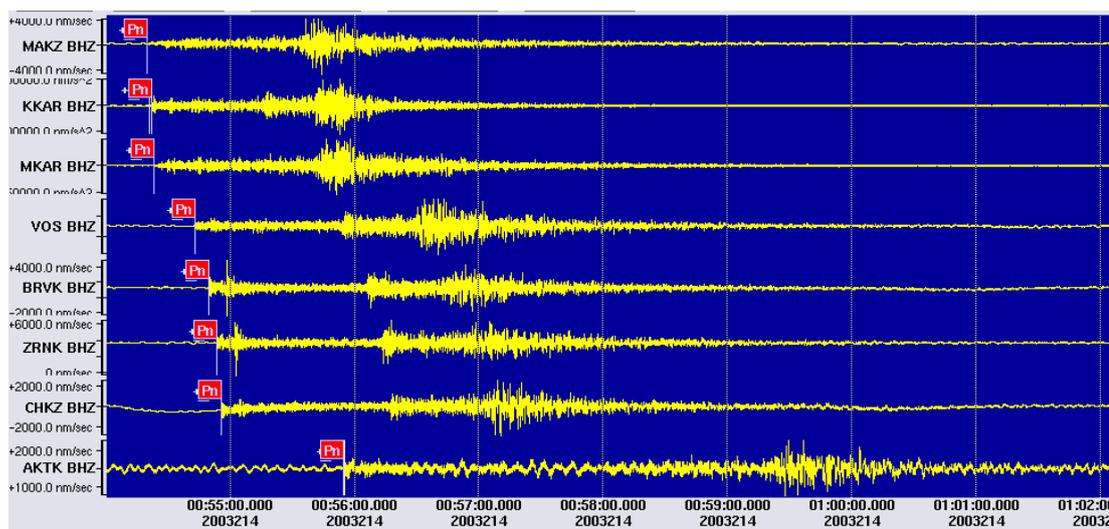


Рис. 8. – Сейсмограммы землетрясения 02.08.2003 г. в 00:53:08.2, зарегистрированные станциям ИГИ (Z-компонента).

Карьер Каражыра и Экибастуз. В настоящее время на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (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 тонн, но некоторые взрывы имеют мощность до 50 т. Достаточно часто магнитуда карьерных взрывов m_{prv} превышает 3, а энергетический класс K_p больше 8. Регулярное интенсивное техногенное воздействие может вызвать подъем флюидов и спровоцировать или ускорить процесс подготовки тектонических землетрясений. Одно из таких землетрясений было зарегистрировано сравнительно недавно в районе карьера Каражыра (рис.9). Его параметры: 25.10.2019, $t_0=01:09:07.8$, $\varphi=49.9979^\circ$, $\lambda=78.8628^\circ$, $h=10$ км, $m_{prv}=3.2$, $K=8$.

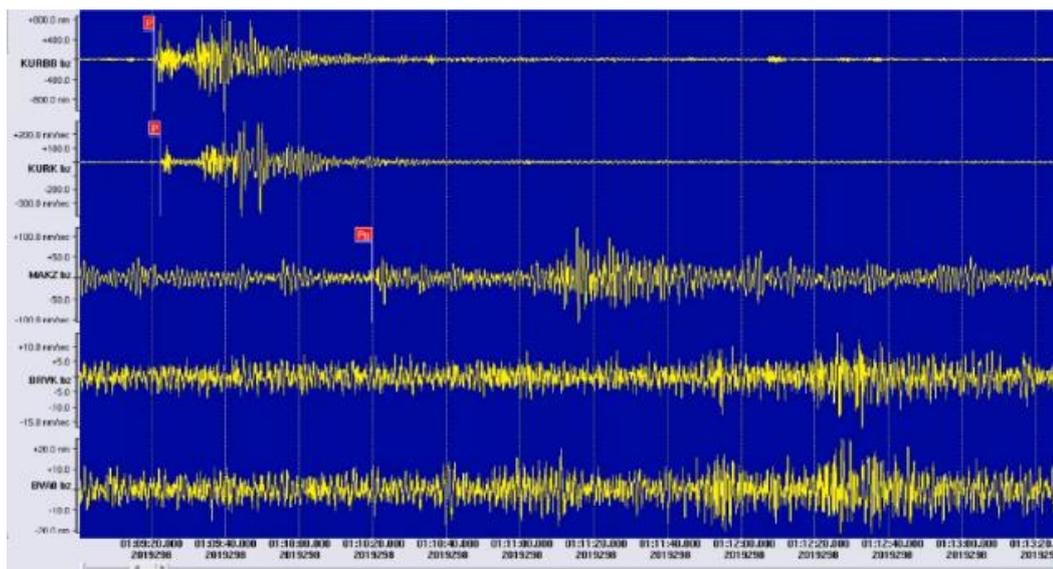


Рис. 9. – Сейсмограммы землетрясения в районе карьера Каражыра 25.10.2019, $t_0=01:09:07.8$, $\varphi=49.9979^\circ$, $\lambda=78.8628^\circ$, $h=10$ км, $m_{prv}=3.2$, $K=8$.

Недалеко от СИП, расположен другой угольный карьер, Экибастуз. В ходе полевых наблюдений на СИП в 2010 в районе Экибастуза было зарегистрировано землетрясение 19.05.2010, 20:25:38.091 с координатами $\varphi=51.541^\circ$, $\lambda=75.995^\circ$, $m_{prv}=2.0$, $K=5.95$. Событие было слабым, никто его не ощущал, однако спустя несколько лет вблизи г. Экибастуз произошло ощутимое землетрясение $I_0=2-3$ балла. Сейсмическое событие произошло 23 августа 2019 года $t_0=14:27:10.2$, $\varphi=51.6391^\circ$, $\lambda=75.4829^\circ$, $K=10.7$ (рисунок 10). Его зарегистрировали все сейсмические станции ИГИ НЯЦ РК, станции СОМЭ МОН РК, многие станции России и мира. Анализ сейсмических записей показал, что произошло «двойное» землетрясение, то есть за первым толчком через 52 секунды произошел второй толчок немного меньшей энергии, но с источником практически в том же месте. Отметим, что примерно через два часа, произошло еще одно более слабое землетрясение с энергетическим классом 8.2, то есть афтершок первого землетрясения. На рис. 11 показано положение эпицентров зарегистрированных землетрясений по данным нашего центра KNDC и центра данных Геофизической службы РАН.

Район г. Караганда (Карабасское). 21.06.2014 г. сейсмические станции ИГИ зарегистрировали довольно сильное землетрясение ($m_{prv}=5.2$) в Центральном Казахстане близ г. Караганды (Таблица).

У события 21.06.2014 г. зарегистрировано 3 афтершока, а 19.06.2014 г. в этом же районе зарегистрировано более слабое землетрясение с $m_{pva}=2.6$ (Таблица, рис. 12, 13).

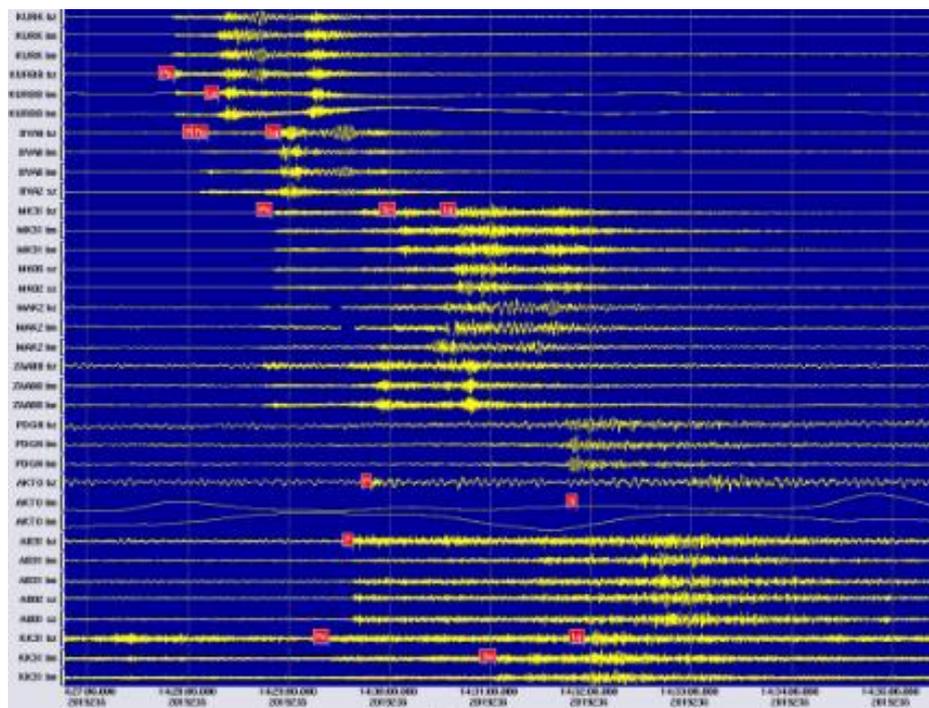


Рис. 10. – Сейсмограммы станций Института Геофизических Исследований НЯЦ РК землетрясения 23.08.2019, $t_0=14:27:10.2$, $\varphi=51.6391^\circ$, $\lambda=75.4829^\circ$, $K=10.7$.

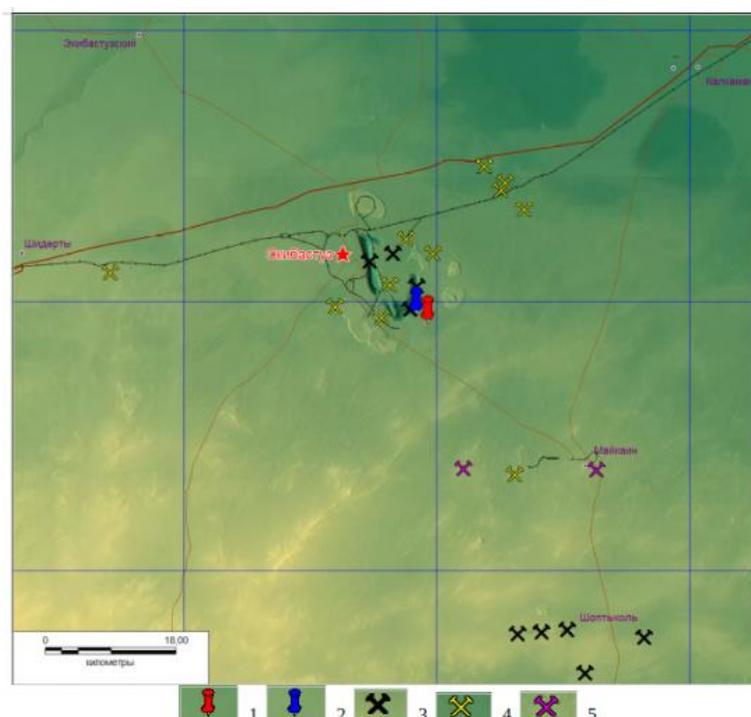


Рис. 11. – Эпицентр землетрясения 23.08 2019 с координатами 1 – решения КНЦД, 2 – решения ГС РАН; 3 – угольные разрезы, 4 – щебенистые карьеры, 5 – золоторудные карьеры.

Землетрясение ощущалось с интенсивностью сотрясений от 2 до 5 баллов по шкале MSK-64 на площади 230×190 км [5, 7]. Макросейсмическое обследование эпицентральной территории

землетрясения проведено сотрудниками ИГИ. По результатам обследования составлена таблица макросейсмических данных и построена карта изосейст (рисунок 14). Изосейсты землетрясения имеют форму, близкую к изометричной, и чуть вытянуты в ССЗ направлении [5,7]. Сделан вывод о том, что землетрясение 21.06.2014 г. имеет тектоническую природу, о чем свидетельствуют приуроченность к тектоническому разлому, механизм взбросо-сдвиг, глубина события ~10 км, наличие афтершоков, особенность волновой картины и др. [5,7]. Однако вблизи эпицентра расположен один из крупнейших в мире Карагандинский угольный бассейн. Первая горная выработка была заложена здесь в 1857 г. В настоящее время в районе угольного бассейна производится большое количество мощных взрывов. Регулярное техногенное воздействие могло ускорить процесс подготовки Карбасского землетрясения.

Механизмы очагов самых сильных техногенных и природно-техногенных землетрясений Центрального Казахстана определены по знакам первых вступлений объемных волн для трех Жезказганских и двух Карагандинских землетрясений. Во всех случаях механизмы очагов подобны: тип подвижки характеризуется взбросо-сдвигом, плоскости разрывов имеют северо-западное и северо-восточное простирание, что соответствует ориентации сейсмоактивных разломов этого региона [2].

Таблица. Параметры сейсмических событий вблизи г. Караганда.

N	Дата	t0	φ°,N	λ°,E	h,км	mpv	Ms	K
1	13.11.2005	12:03:54.0	49.4299	73.3076	6	3.7		9.2
2	19.06.2014	1:25:35.9	49.5386	72.8669	зк	2.6		6.7
3	21.06.2014	6:30:3.364	49.5551	72.9682	9	5.2	4.8	11.65
4	21.06.2014	6:47:4.9	49.4914	72.999	зк	2.1		5.8
5	09.07.2014	22:47:15.3	49.4979	72.9043	зк	2.9		6.9
6	28.07.2014	3:13:33.2	49.4736	72.9509	зк	2.3		4.8

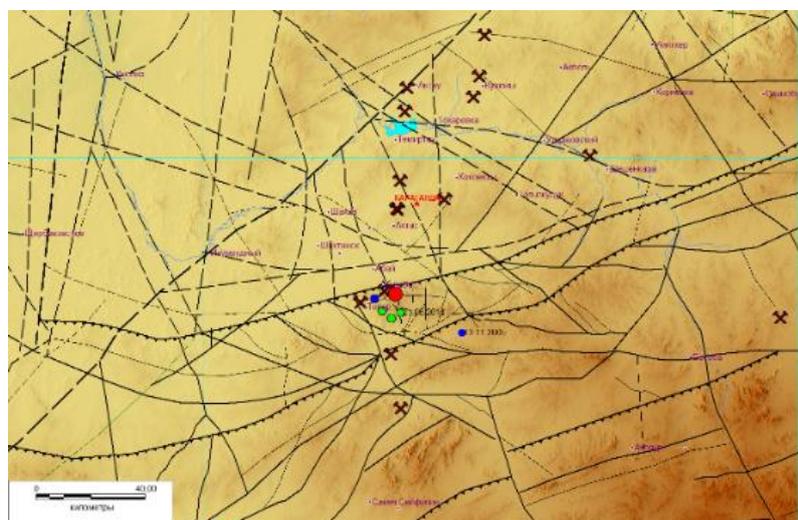


Рис. 12. – Эпицентры землетрясений, разломы и карьеры вблизи г. Караганда. Кругок – эпицентр события (из Таблицы): синий – № 1, 2; красный – № 3; зеленый – № 4–6.

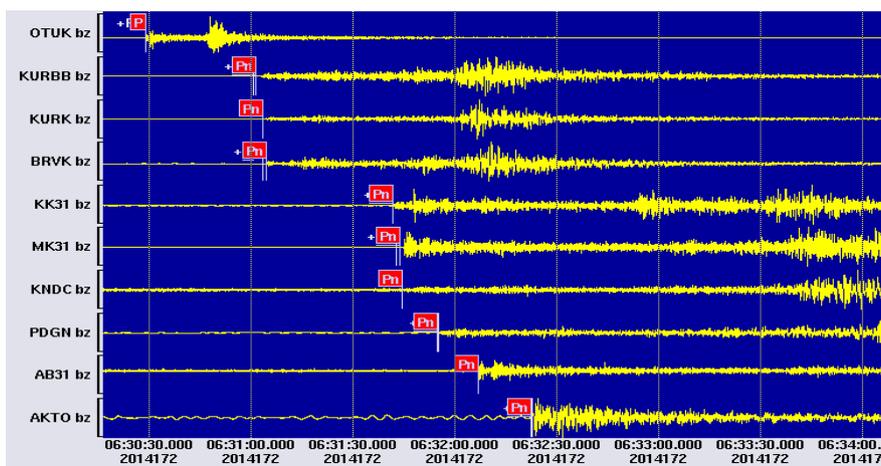


Рис. 13. – Сейсмограммы землетрясения 21.06.2014 г., зарегистрированного станциями ИГИ (Z-компонента).

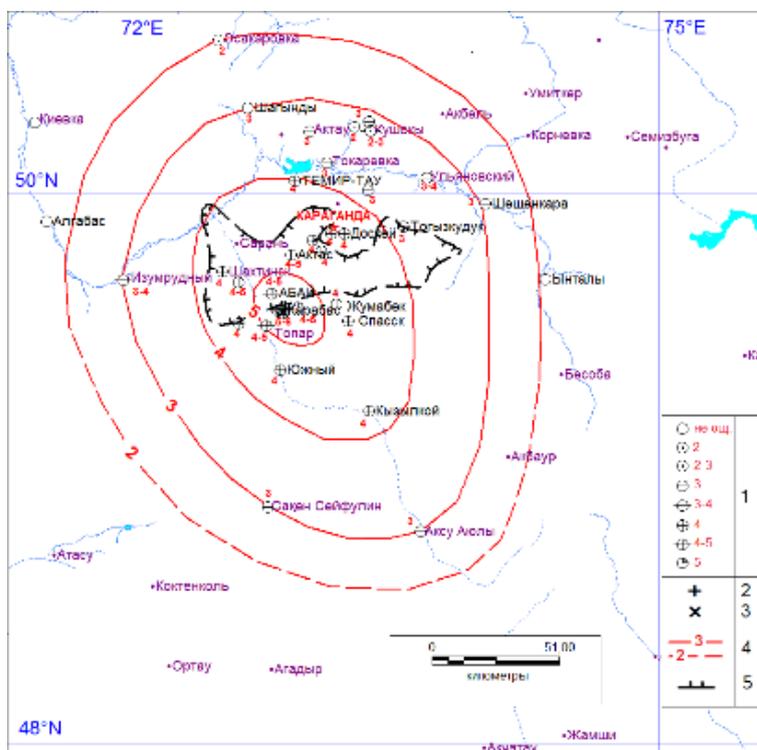


Рис. 14. – Карта изосейст землетрясения 21 июня 2014 г. 1 – пункты и значения интенсивности сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2, 3 – инструментальный и макросейсмический эпицентры соответственно; 4 – изосейсты и значения балльности; 5 – границы Карагандинского бассейна (Карбасса).

Выводы

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

Информация, приведенная в статье по районам Казахстана, где отмечены техногенные события, безусловно, не является исчерпывающей. В основном, описаны события, выявленные сетью станций ИГИ за последние десятилетия. Несмотря на большое их количество, они не отражают

общей картины геодинамической активности в районах интенсивного техногенного воздействия. В целом для огромной территории Казахстана представительная магнитуда m_{rv} по стационарной сети сейсмических наблюдений составляет 3.5, но происходят слабые и микроземлетрясения, регистрация которых пока ограничена. Необходима организация специальных сетей мониторинга с размещением высокочувствительных станций в районах крупных месторождений твердых полезных ископаемых, так как сильные землетрясения в таких районах опасны не только большим количеством жертв, разрушений и экономических потерь, но и возможными серьезными экологическими проблемами.

Список литературы

1. Mikhailova N.N., Sokolova I.N. Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre 2016 January-June. V. 53. Issue 1, p. 27–38. 2019.
2. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н. Техногенная сейсмичность на территории Казахстана // Вестник НЯЦ РК. Вып. 2. С. 47. 2017.
3. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы) М.: ИНЭК, 252 с. 2005.
4. Еманов А.Ф. и др. Техногенная сейсмичность разрезов Кузбасса (Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г.) // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. № 2. С. 41–46. 2014.
5. Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Узбеков А.Н., Соколова И.Н., Полешко Н.Н. Карагандинское (Карабасское) землетрясение 21 июня 2014 г. с $KP=11.7$, $MS=4.0$, $I_0p=5-6$ (Центральный Казахстан) // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 23 (2014 г.). Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, С. 334–343 2020. DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.34
6. 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. Т. 2, № 4. С. 7–15. 2020. DOI: 10.35540/2686-7907.2020.4.01
7. Узбеков А.Н., Михайлова Н.Н. Сейсмичность Центрального Казахстана и направления развития мониторинга этого региона // Вестник НЯЦ РК. Вып. 3. С.73–79. 2018.
8. Великанов А.Е., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Аристова И.Л., Мукамбаев А.С. Изучение источников промышленных взрывов на территории Казахстана // Вестник НЯЦ РК, Вып. 2. С. 77–85. 2013.
9. Сатов М.Ж. Мониторинг горного массива по данным сдвижения горных пород // Горный журнал, № 3. С. 44–47. 1999.
10. Сатов М.Ж. Сейсморайонирование месторождения по данным приборного контроля // Горный журнал, № 3. С. 14–16. 1999.