

УДК 550.34.06

Аристова И.Л., Соколова И.Н., Великанов А.Е.
Филиал "Институт геофизических
исследований" НЯЦ РК, г. Алматы Казахстан

ИНДУЦИРОВАННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ В РАЙОНАХ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА ПО ДАННЫМ СЕТИ KZNET

Аннотация. На основе анализа сейсмических бюллетеней сети ИГИ НЯЦ РК (KZNET) было выявлено значительное количество землетрясений в районах, которые традиционно считались асейсмичными. Ряд землетрясений приурочен к местам активного антропогенного воздействия на недра, например, на угольных месторождениях в Восточном Казахстане. Рассмотрены землетрясения на угольных разрезах «Каражыра» и «Экибастуза».

Ключевые слова: сейсмический мониторинг, индуцированная сейсмичность, техногенное воздействие, сейсмическая опасность.

KZNET МААЛЫМАТТАРЫ БОЮНЧА ЧЫГЫШ КАЗАКСТАНДЫН КӨМҮР КЕНДЕРИНДЕГИ СЕЙСМИКАЛЫК

Кыскача мазмуну. КР УЯК ИГИ тармагынын (KZNET) сейсмикалык бюллетендерин талдоонун негизинде салттуу түрдө сейсмикалык эмес деп эсептелген аймактарда жер титирөөлөрдүн олуттуу саны аныкталган. Бир катар жер титирөөлөр жер казынасына активдүү антропогендик таасир тийгизген жерлерде, мисалы, Чыгыш Казакстандагы көмүр кендеринде гана чектелет. «Каражыранын» жана «Экибастузду» көмүр кендериндеги жер титирөөлөр каралган.

Негизги сөздөр: сейсмикалык мониторинг, индукцияланган сейсмикалык, техногендик таасир, сейсмикалык коркунуч.

INDUCED SEISMICITY AT THE REGIONS OF COAL DEPOSITS IN THE EAST OF KAZAKHSTAN BY DATA OF KZNET NETWORK

Abstract. The analysis of seismic bulletins of the IGR NNC RK (KZNET) network has revealed large number of earthquakes at the regions that before were considered as aseismic. A range of earthquakes is related to the regions of active anthropogenic activity, for example, coal deposits in the east of Kazakhstan. The earthquakes at two quarries, «Karazhyra» and «Ekibastuz» are considered.

Key words: seismic monitoring, induced seismicity, anthropogenic effect, seismic hazard

Введение. В последние годы в связи с интенсификацией горнодобывающей деятельности на угольных месторождениях, где проводятся регулярные взрывные работы, начали наблюдаться опасные геодинамические проявления [1-4]. Например, на юге Западной Сибири (вблизи Восточного Казахстана), на территории Кузнецкого угольного бассейна в последние годы были зарегистрированы достаточно сильные природно-техногенные землетрясения: Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г. ($M_w=6.3$) [1], другие землетрясения из района: 17 октября 2020 г. ($m_b=4.6$), 2 августа 2021 г. ($m_b=4.0$), 12 августа 2021 г. ($M_w=5.0$). Кроме того, в Центральном Казахстане 21.06.2014 г. сейсмические станции ИГИ НЯЦ РК зарегистрировали довольно сильное землетрясение на территории Карагандинского угольного бассейна (в районе Карабасского карьера по добыче щебня) с $m_{pva} = 5.2$ [3]. Основные факторы,

провоцирующие возникновение техногенной сейсмичности в районе угольных карьеров, это перераспределение нагрузок на поверхности земной коры в связи с созданием крупных котлованов и отвалов, влияние динамических нагрузок, таких как регулярные мощные взрывы.

Кроме техногенных землетрясений, проведение интенсивных взрывных работ может вызвать опасные экзогенные процессы. Одно из таких катастрофических событий произошло 14 сентября 2020 г. в районе угольного месторождения «Кара-Кече» в Нарынской области Кыргызстана, где сошёл оползень объёмом 800-900 тысяч кубометров [4].

В Центральной Азии наибольшее количество карьерных взрывов производится в Казахстане, в год порядка 6 тысяч. На территории Казахстана Институт геофизических исследований НЯЦ РК проводит непрерывный сейсмический мониторинг событий различной природы, начиная с 1994 г. В настоящее время сеть наблюдений ИГИ НЯЦ РК включает в себя 5 сейсмических групп, 8 трёхкомпонентных сейсмических станций и 3 инфразвуковых группы [5]. На Рисунке 1 приведена схема расположения сейсмических станций, сейсмических групп (СГ) сети ИГИ НЯЦ РК (KZNET) [5]. С началом работы сети KZNET намного улучшился мониторинг районов Восточного Казахстана и прилегающих территорий. Кроме стационарных станций на территории исследований для детального мониторинга выставляются сети полевых сейсмических станций. В последние годы возросло внимание к изучению сейсмического режима районов Восточного Казахстана. Интерес обусловлен прежде всего наличием на этой территории действующих исследовательских атомных реакторов, инфраструктуры бывшего ядерного Семипалатинского полигона, Банка низкообогащённого урана, опасных хвостохранилищ, добывающих производств и др. В связи с этим, оценка сейсмической опасности региона является актуальной задачей. В нашей работе рассмотрена индуцированная сейсмичность в районе угольных карьеров Восточного Казахстана по данным сети мониторинга KZNET (ИГИ НЯЦ РК). Восточный Казахстан богат полезными ископаемыми, и горнодобывающая промышленность развита в больших масштабах (Рисунки 2, 3).

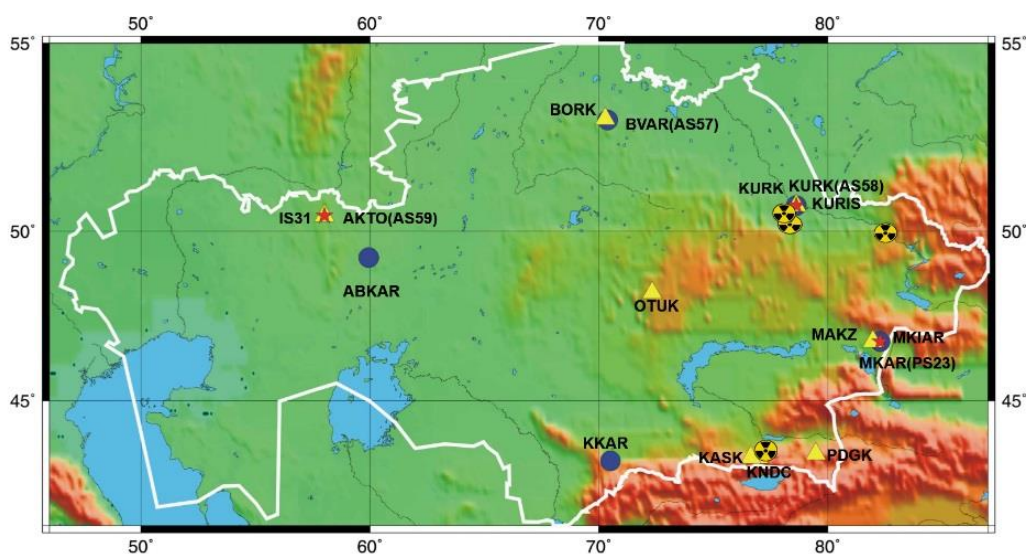


Рисунок 1. Карта расположения сейсмических станций ИГИ НЯЦ РК. Треугольники - трёхкомпонентные станции, кружки- сейсмические группы, звёздочки- инфразвуковые группы, значок радиации – атомные объекты РК [6].

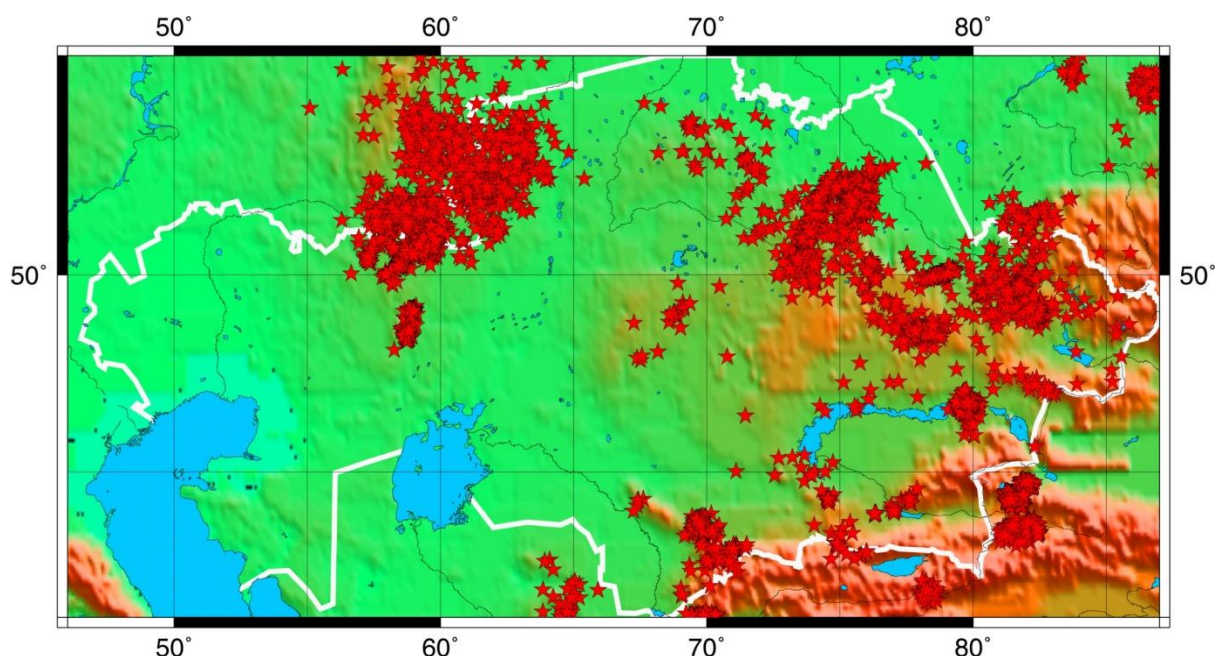


Рисунок 2. Карта эпицентров промышленных взрывов на территории Казахстана и соседних государств за 2021 год (6798 взрывов).

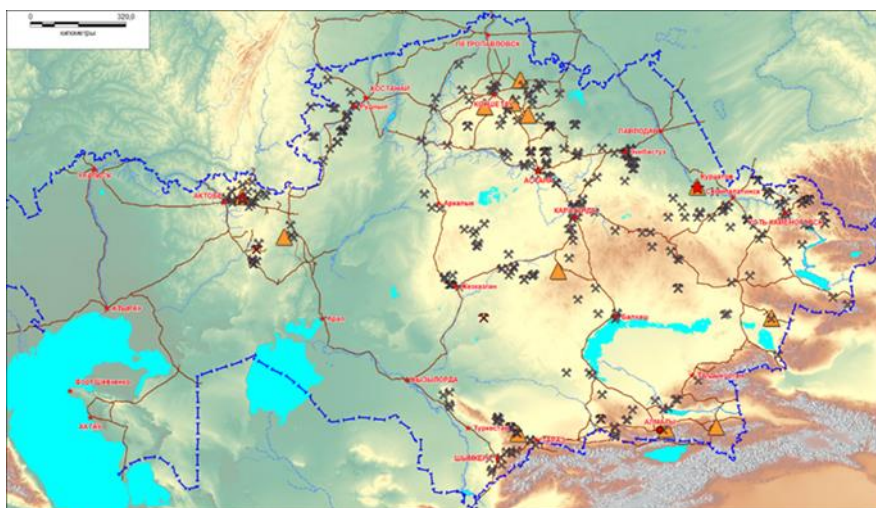


Рисунок 3. Карта расположения карьеров Казахстана [7].

Большое количество карьеров находится в слабосейсмичных районах, где кроме взрывов происходят землетрясения, но их мало. Причины таких землетрясений могут быть разными: на месторождениях твёрдых полезных ископаемых – это динамические проявления горного давления, вблизи крупных активных карьеров могут возникать природно-техногенные землетрясения с очагами, приуроченными к активным разломам [1-3].

Следует отметить, что исследованию сейсмичности в районах добычи полезных ископаемых предшествует достаточно непростая задача – распознавание природы сейсмического события, так как в таких районах возможны тектонические и техногенные землетрясения, карьерные взрывы, а также обрушения. В ИГИ НЯЦ РК распознаванию природы сейсмических событий уделяется большое внимание. Для этой задачи используется комплекс методов [7,8]:

1. Научные исследования по разработке методики распознавания промышленных взрывов на действующих карьерах по сейсмическим записям, поиск критериев распознавания [7].

2. Полевые работы по изучению промышленных взрывов на действующих карьерах и других объектах, с созданием базы данных промышленных взрывов и созданием базы данных эталонных записей взрывов. Использование функции взаимной корреляции «эталонной формы» с текущими записями соответствующей станции [7,8].

3. Использование инфразвуковых данных для уточнения местоположения взрывов и распознавания [8].

Используя комплекс методов вместе, можно достаточно точно идентифицировать природу сейсмических событий. На Рисунке 4 представлен пример обработки взрыва на угольном карьере Каражыра 14.06.2011 г. инфразвуковой группой KURI [8].

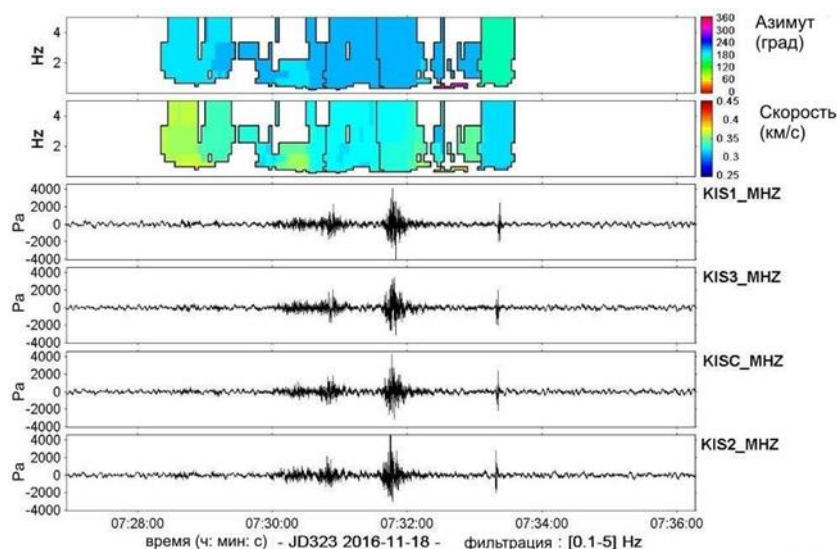


Рисунок 4. Результаты регистрации взрыва на угольном карьере «Каражыра» (СИП) 14.06.2011 г. инфразвуковой станцией KURIS [8].

После проведения работ по сейсмическому распознаванию, часть сейсмических событий была идентифицирована как землетрясения. Например, землетрясения были обнаружены в районах угольных карьеров «Каражыра» и «Экибастуз».

Месторождение «Каражыра» было открыто в 1967 году, но только в середине 90-х годов была организована добыча угля. Это было связано с тем, что оно расположено в районе испытательной площадки «Балапан» Семипалатинского полигона [2]. Промышленные запасы угля месторождения «Каражыра» составляют 1 миллиард 231 млн. тонн. На Рисунке 5 приведены спутниковый снимок карьера и его общий вид. Угольный разрез имеет один общий большой карьер с фронтальной полосой отработки шириной 300 м, длиной 2100 м и глубиной 40 м, которая перемещается по мере отработки на ЮЮВ по азимуту 155°. 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_{trv} превышает 3, а энергетический класс K_p больше 8 [2]. Следует отметить, что вблизи карьера находятся глубинные тектонические разломы: Калба-Чингизский, Чинрауский, Жананский, Сиректасский, Кызыл-Адырский (Рисунок 6). Интенсивное техногенное воздействие в виде регулярных мощных взрывов может вызвать подъём флюидов и спровоцировать или ускорить процесс подготовки тектонических землетрясений. Также следует учесть большой растущий объём внутренних отвалов вскрышных дроблённых пород, что ведёт

к быстрому перераспределению нагрузок на поверхности земной коры и в недрах под карьером. Одно из таких землетрясений было зарегистрировано 25 октября 2019 года в районе карьера (Рисунок 7) в 01 час. 09 мин. по Гринвичу. Координаты эпицентра: 49.9979 градуса северной широты, 78.8628 градуса восточной долготы, с магнитудой $m_{prv}=3.2$ и энергетическим классом $K=8.0$. Всего с 2008 по 2021 год на территории карьера «Каражыра» зарегистрировано 5 землетрясений. На Рисунке 8 представлен график суммарной сейсмической энергии в ГДж взрывов по годам. Наибольшая активность была зафиксирована в 2015 году и 2010 году.



Рисунок 5. Спутниковый снимок карьера «Каражыра» и его общий вид.

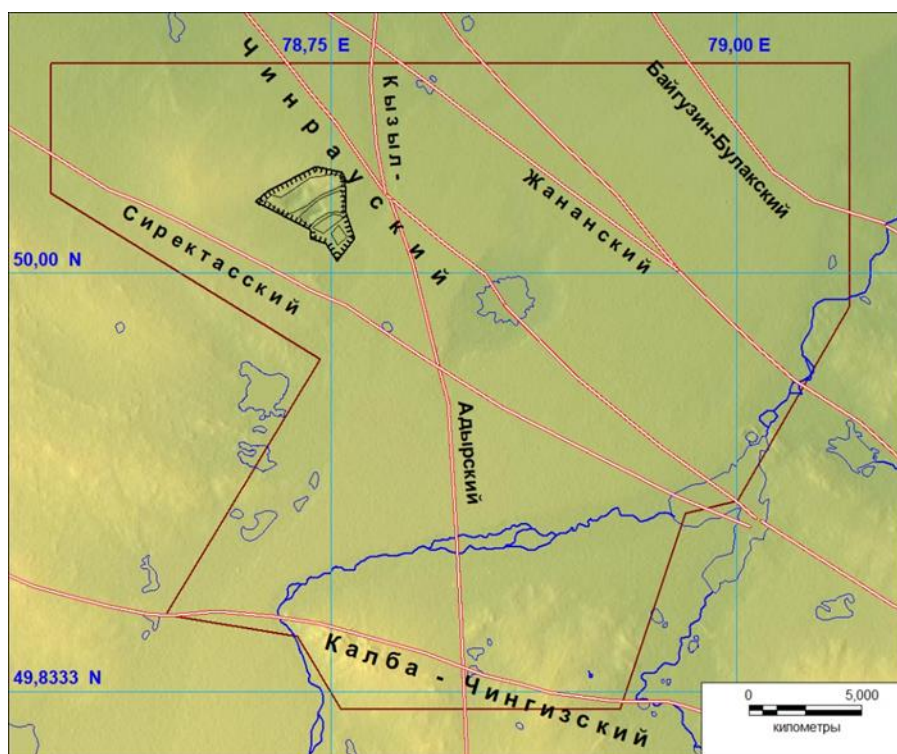


Рисунок 6. Схема тектонических разломов на территории площадки Балапан (СИП). Чёрный контур – карьер «Каражыра».

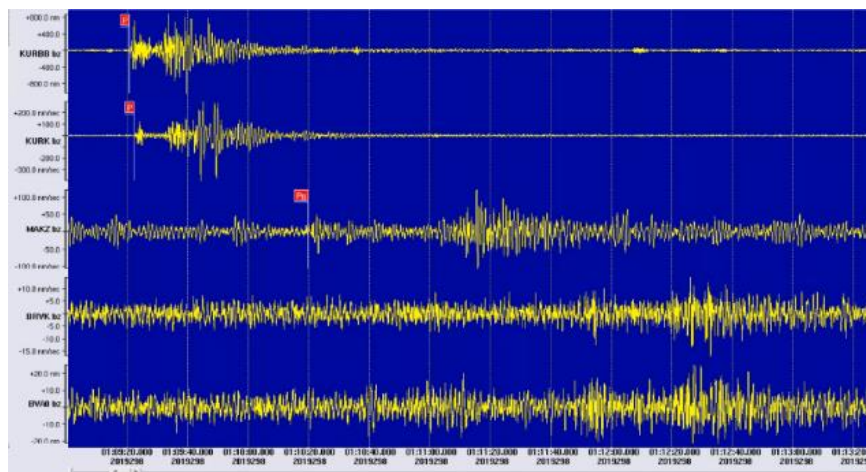


Рисунок 7. Сейсмограммы землетрясения в районе карьера «Каражыра» 25 октября 2019 года.

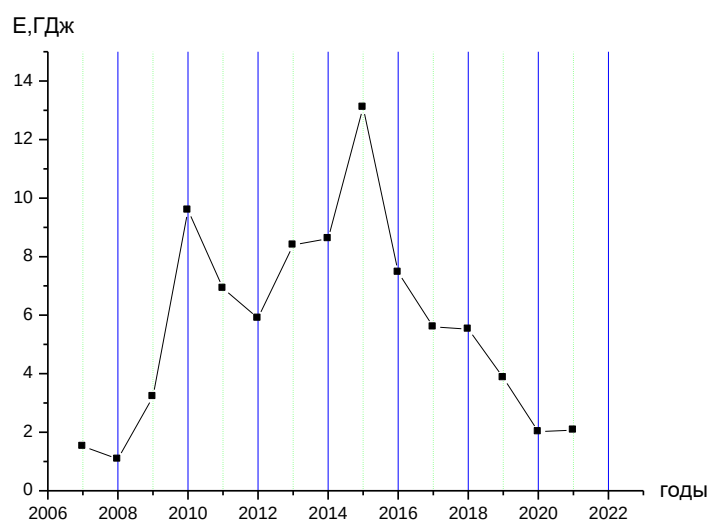


Рисунок 8. График суммарной энергии взрывов на карьере «Каражыра» по годам.

Карьеры Экибастуза. К северо-западу от СИП расположен угольный бассейн «Экибастуз». В ходе полевых наблюдений на СИП в 2010 году в районе Экибастуза было зарегистрировано землетрясение 19.05.2010 г. в 20:25:38.091 с координатами $\varphi=51.541^\circ$, $\lambda=75.995^\circ$, $m_{pva}=2.0$, $K=5.95$ (Рисунок 9). Событие было слабым, никто его не ощущал, однако спустя несколько лет вблизи г. Экибастуз произошло ощутимое землетрясение с $I_0=2-3$ балла. Сейсмическое событие произошло 23 августа 2019 года $t_0=14:27:10.2$, $\varphi=51.6391^\circ$, $\lambda=75.4829^\circ$, $K=10.7$. Его зарегистрировали все сейсмические станции KZNET, станции СОМЭ МЧС РК, многие станции России и мира. На Рисунке 10 представлены записи станций ИГИ НЯЦ РК. Анализ сейсмических записей показал, что произошло «двойное» землетрясение, то есть за первым толчком через 52 секунды произошёл второй толчок немного меньшей энергии, но с источником практически в том же месте.

Экибастузское месторождение является одним из крупнейших угольных месторождений Казахстана (Рисунок 11). Оно расположен в Павлодарской области. Общие геологические запасы углей около 10 млрд тонн [9]. Экибастузское месторождение угля было открыто во второй половине XIX века. Летом 1948 года началось строительство первого угольного разреза и города Экибастуз. На территории

На Рисунке 18 приведены графики повторяемости землетрясений в районе Экибастуза и Джунгарии. Видно, что по отношению к району Джунгарии график повторяемости Экибастузских взрывов находится гораздо ниже, угол наклона тоже ниже, такая особенность связана с относительно более низким уровнем сейсмической активности в районе Экибастуза, в отличие от тектонически активного региона.

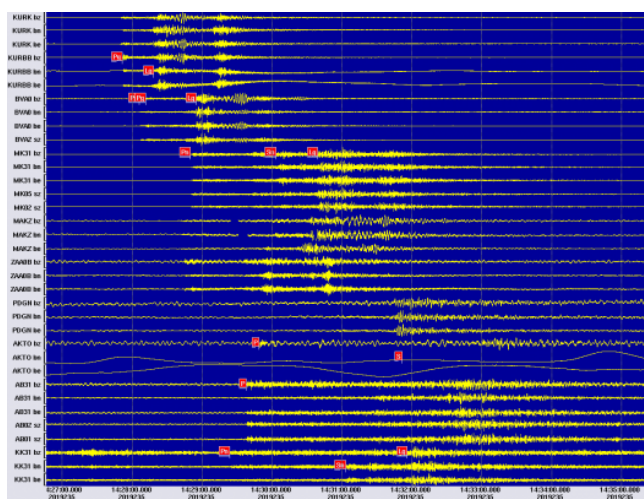
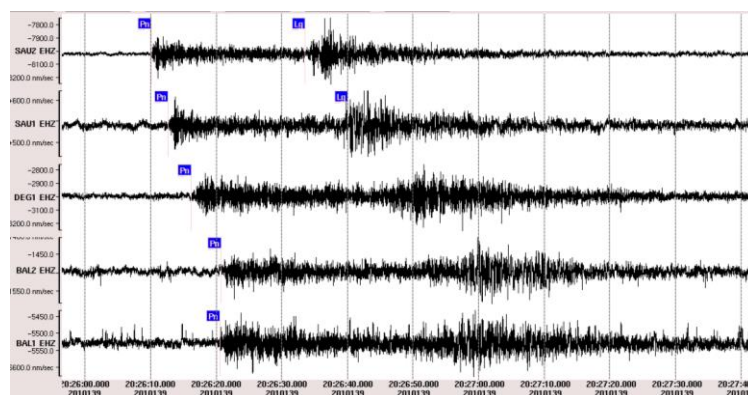




Рисунок 11. Спутниковый снимок карьеров Экибастуза.

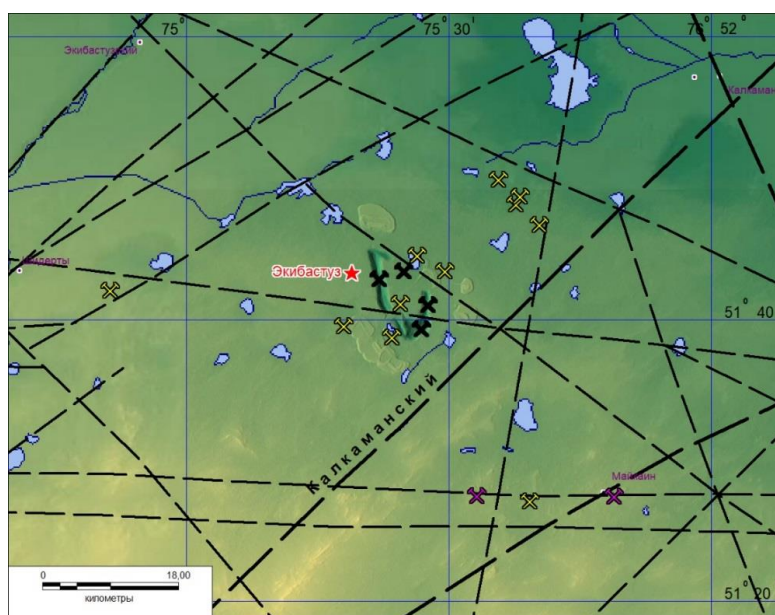


Рисунок 12 Карта тектонических разломов района расположения карьеров Экибастуза и Майкаина.

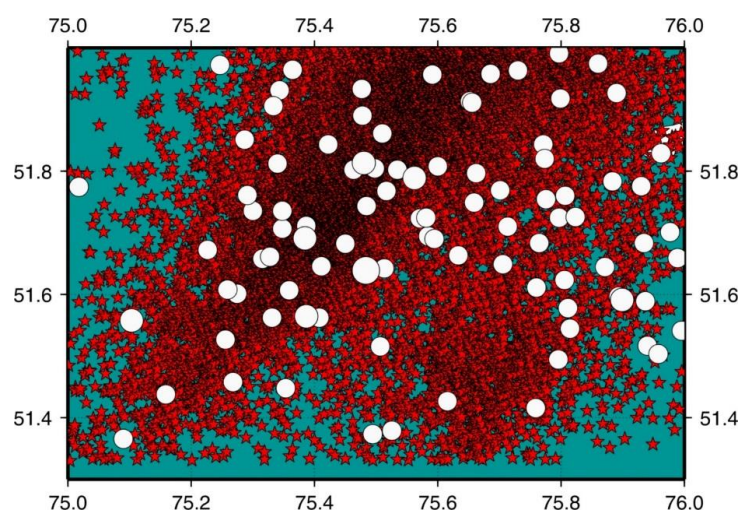


Рисунок 13. Карта эпицентров взрывов и землетрясений на карьерах Экибастуза за 2011-2022 годы.

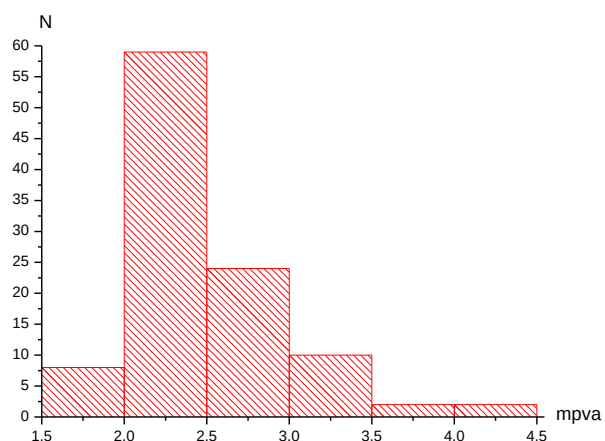


Рисунок 14. Гистограмма магнитуд землетрясений на Экибастузских карьерах за 2011-2022 годы.

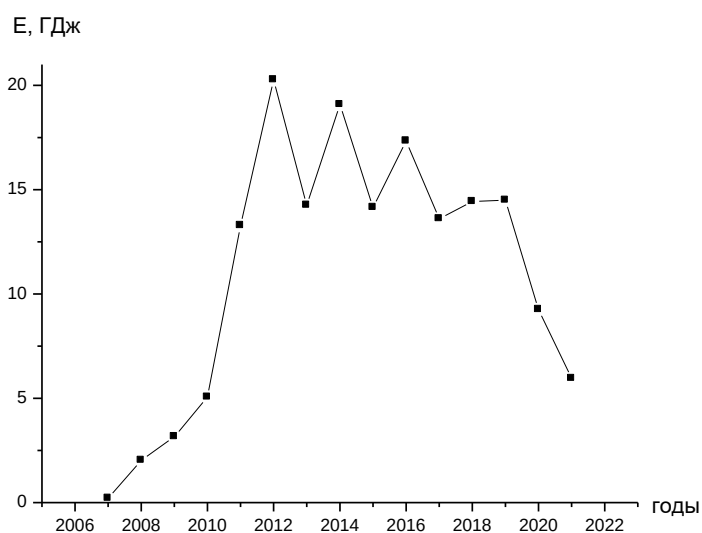


Рисунок 15. График суммарной энергии взрывов по годам на карьере Экибастуза.

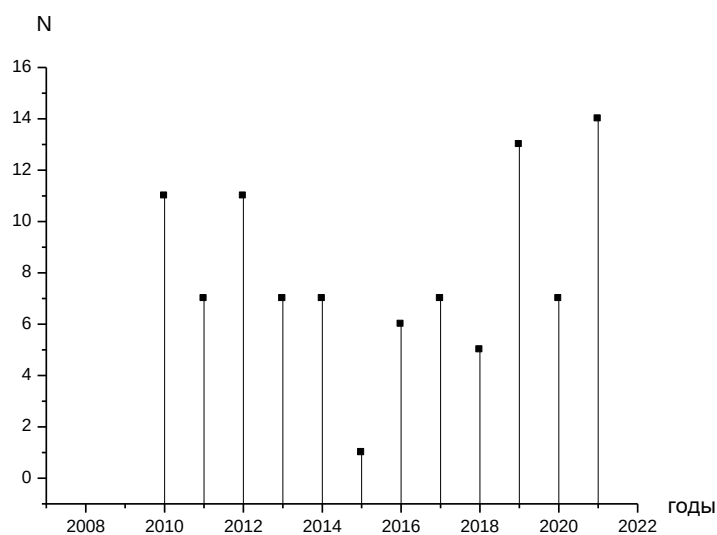


Рисунок 16. График количества землетрясений по годам.

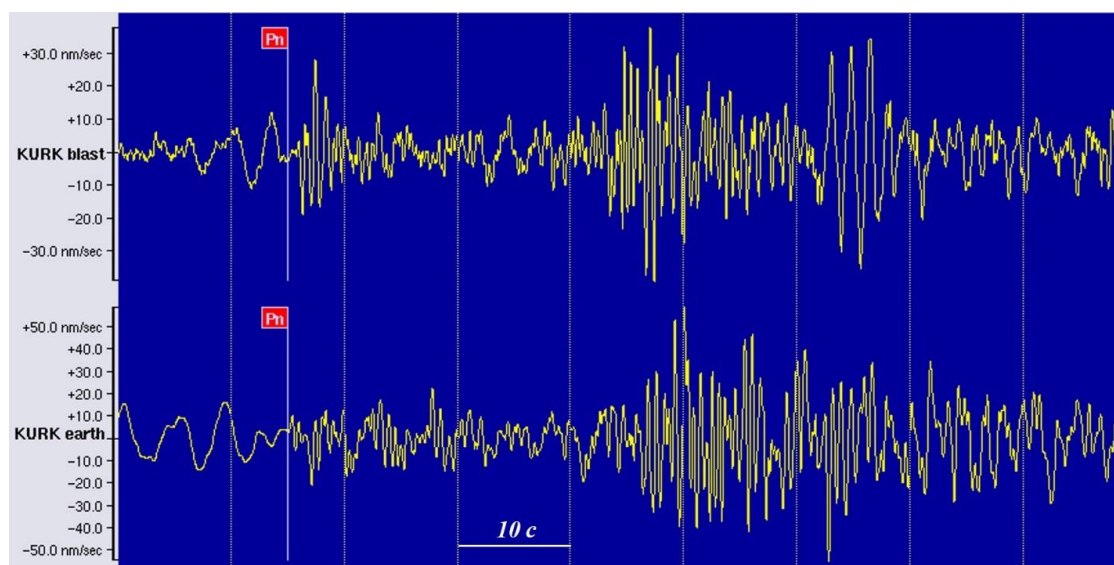


Рисунок 17. Сейсмограммы: а) взрыва на карьере Экибастуза 29 сентября 2021 года и б) землетрясения 12 января 2020 года.

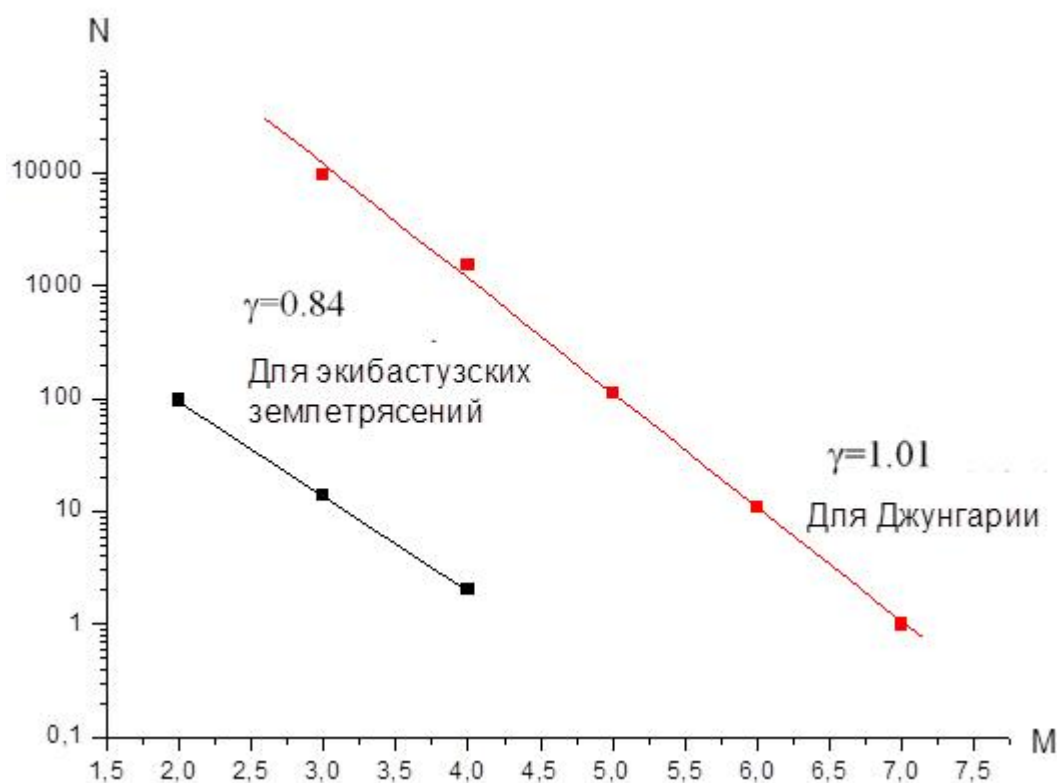


Рисунок 18. Графики повторяемости землетрясений (чёрная линия) в районе Экибастуза, (красная линия) – для района Джунгарии.

Таким образом, в районе Восточного Казахстана, в последние годы наблюдается рост землетрясений, зарегистрированных в районах угольных месторождений, где наблюдаются интенсивные взрывные работы, а также перемещение больших объёмов грунта. Энергия этих землетрясений невелика, но учитывая то, что магнитуда природно-техногенного Бачатского землетрясения, произошедшего в районе Кузбасса, достигала 6.3, в районе Экибастуза и Каражыры возможны более сильные, ощутимые

землетрясения в будущем. Этот факт необходимо учитывать при строительстве инфраструктуры в районах карьеров.

Данные исследования финансировались Министерством энергетики Республики Казахстан в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – BR09158470).

Заключение

В настоящее время большое внимание должно быть уделено сейсмическому мониторингу разрабатываемых карьеров, где ведутся постоянные взрывные работы, т.к. взрывные работы могут служить триггером тектонических землетрясений.

При изучении сейсмического режима Восточного Казахстана был выявлен ряд землетрясений, приуроченных к местам активного техногенного воздействия, таких как месторождения твёрдых полезных ископаемых.

Литература

1. Еманов А.Ф. и др. Техногенная сейсмичность разрезов Кузбасса (Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г.) // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2014. – N 2. – С. 41 - 46.
2. 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.
3. 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.
4. Берёзина А.В., Соколова И.Н., Першина Е.В., Соколова Н.П. Регистрация крупного оползня вблизи угольного месторождения Кара-Кече сейсмическими станциями Кыргызстана // Вестник Института сейсмологии НАН КР. - 2020. - № 2(16). - С. 23-30.
5. 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, - 2019, p. 27-38.
6. Аристова И.Л., Соколова И.Н., Великанов А.Е., Соколов А.Н. Использование данных сети мониторинга ИГИ НЯЦ РК для безопасности объектов атомной отрасли. Вестник Института сейсмологии НАН КР.- 2021. - № 2(18).- С. 11-22.
7. 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. 2013.2017.
7. Смирнов А.А., Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н. Методика распознавания сейсмических событий по комплексу инфразвуковых и сейсмических данных//Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып.2. С. 105.
8. Бергман Я. В., Бергман А. О., Аксенова Г. Г. Экибастузский каменноугольный бассейн // Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. М. 1973. т. 5 кн. 1. с.10.

Рецензент: к.ф-м.н. Фролова А.Г.