

УДК 550.344

## СЕЙСМИЧНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н.

*Институт геофизических исследований. Курчатов, Казахстан*

Впервые в Казахстане взрывная деятельность, осуществляемая в промышленных целях, рассматривается в аспекте сейсмичности и сейсмической опасности. Проведен анализ результатов регистрации взрывов на территории Казахстана станциями сети РГП ИГИ за последние 10 лет. Выявлено примерно 60 000 взрывов, определены районы, где взрывы составляют основную массу сейсмических источников, изучено относительное количество высвобожденной сейсмической энергии от взрывов по сравнению с землетрясениями, определен класс событий, относящихся к природно-техногенным землетрясениям.

### ВВЕДЕНИЕ

Станции сети РГП ИГИ ежедневно регистрируют большое количество сейсмических событий, среди которых весомое место занимают события, связанные с взрывной деятельностью. На обширной территории Республики Казахстан производятся взрывные работы в целях разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Кроме этого, проводятся и другие взрывные работы, не связанные с добычей природного сырья, например, учебные взрывы на военных полигонах, взрывы при прокладке трубопроводов, при строительстве дорог, плотин, промышленных объектов, для ликвидации ледяных затворов на реках в весенний период, а также специальные калибровочные взрывы в научных целях.

Регистрация взрывов, их распознавание на записях сейсмических станций, параметризация и идентификация в бюллетенях сейсмических событий являются важной частью работ по оценке сейсмической опасности. Ранее на взрывы в этой проблеме главное внимание фокусировалось с точки зрения того, чтобы не включать их в расчеты параметров сейсмического режима, чтобы избежать искаженных представлений о сейсмopotенциале тех или иных сейсмогенерирующих зон. Именно эта сторона изучения взрывов была важна, когда исследования проводились на высокоактивных сейсмических территориях. Но в последние годы возникли и другие аспекты изучения взрывной деятельности в связи с проблемой сейсмической опасности. Большое количество объектов, где производятся взрывные работы, расположено на асейсмичной территории Республики Казахстан. Там именно взрывы составляют основные источники генерации сейсмической энергии. Кроме того, в этих районах существуют риски, связанные с возможным возникновением индуцированных и триггерных землетрясений. Приходится выделять не взрывы на фоне большого количества землетрясений, а именно землетрясения на фоне большого количества взрывов. Это сложная работа, но очень важная для получения достоверной оценки сейсмической опасности слабоактивных сейсмических районов. Настоящая работа посвящена анализу результатов регистрации взрывов на станциях сети РГП ИГИ за последние 10 лет.

### ВЗРЫВНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Для решения задач сейсмической опасности необходимо уметь разделять сейсмические события по их природе. Для надежного распознавания природы сейсмического события нужно применять различные методы, один из них – независимое изучение самих карьеров, на которых производятся взрывные работы. Поэтому с 2007 по 2013 гг. Институт геофизических исследований в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» по разделу 04 «Комплексные научные исследования по геолого-геофизическим аспектам ядерно-энергетической отрасли и режима нераспространения» проводились работы по изучению активных карьеров промышленных взрывов во всех регионах Казахстана.

Важно было получить информацию об источниках взрывов и сопоставить ее с записями, полученными на станциях, и в совокупности с методами распознавания, которые базируются на информации о записях, более точно и надежно идентифицировать взрывы. Идентификация взрывов позволяет составлять корректные каталоги землетрясений, которые в свою очередь используются в различных задачах сейсмологии.

В результате экспедиционных работ с 2007 г. по 2013 г. обследовано 320 объектов промышленных взрывов на 190 горнодобывающих предприятиях Казахстана. 24 из них относились к временным объектам, связанным со строительством автодорог, газопроводов, цементного завода, водохранилищ и др.

Эти работы позволили уточнить местоположение действующих карьеров и других объектов промышленных взрывов, собрать информацию о технологии буровзрывных работ и параметрах взрывов для всех карьеров на территории Казахстана с датами, временем и местом взрывов, размерами взрывных блоков, геометрией рассредоточения и массой взрывчатого вещества – общей и по отдельным взрывным скважинам. Были составлены таблицы и схемы расположения действующих карьеров и других объектов промышленных взрывов. Получена информация об их активности по количеству взрывов в год и макси-

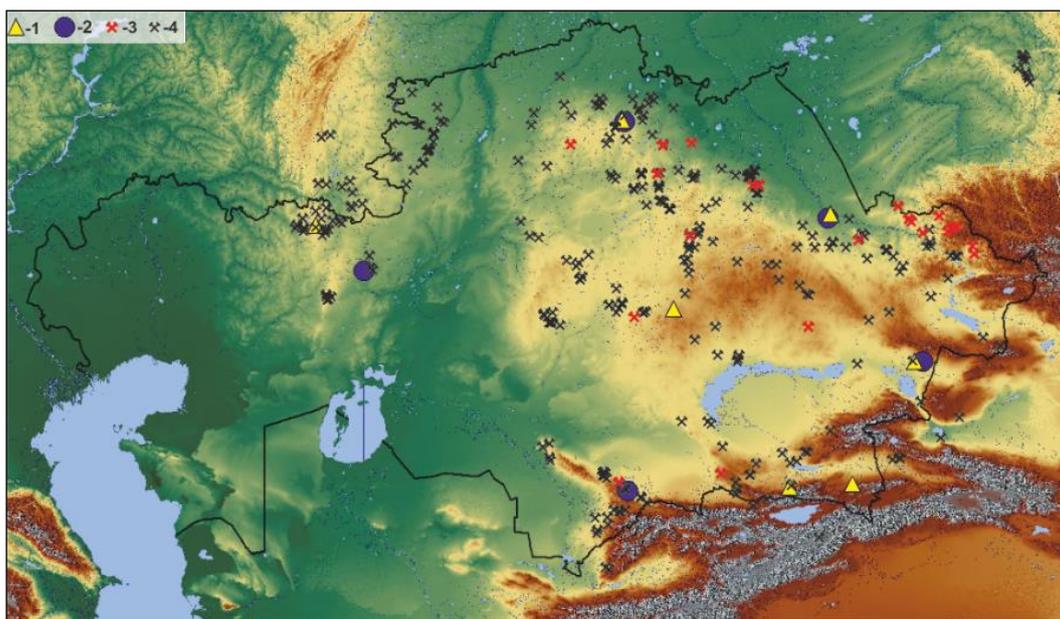
мальной мощности взрывов на фоне средней мощности для отдельных карьеров, а также параметры буровзрывных работ для отдельных промышленных взрывов. Учтены также единичные подземные рудники (шахты), использующие для «отпалки» (отделения) руды взрывчатые вещества массой более 1–2 тонн. Собранные сведения по карьерам и взрывам приведены к единому формату и занесены в специальную базу данных по промышленным взрывам и действующим карьерам (рисунок 1). База данных разработана и реализована на СУБД Microsoft Access в среде Microsoft Windows и обеспечивает накопление, хранение, быстрое и удобное предоставление запрашиваемой информации.

Основными местами проведения промышленных

взрывов в настоящее время являются карьеры горнодобывающих предприятий рудной отрасли и производства строительных материалов с активностью от 10–15 до 50–100 и более взрывов в год (рисунок 2). На большем количестве рудных и нерудных карьеров, а также на других объектах промышленных взрывов производится не более 5–10 взрывов в год. В активных карьерах мощность взрывов в среднем колеблется в пределах 15–40 тонн, редко достигает 70–80 тонн. Но на единичных карьерах-гигантах, таких как Житикаринский асбестовый, или железорудные карьеры Соколовско-Сарбайского объединения, даже средняя мощность взрывов достигает 100 и 200 тонн, а максимальная мощность взрывов может достигать до 578 и 625 тонн.



Рисунок 1. Фрагмент структуры базы данных



1 – 3-х компонентные станции, 2 – сейсмические группы, 3 – шахты, 4 – карьеры

Рисунок 2. Карта расположения станций сети ИГИ и активных объектов промышленных взрывов на территории Республики Казахстан и сопредельных стран

Существенный вклад в сейсмическую картину регистрируемых событий вносят также горнодобывающие предприятия соседних государств, особенно России. Информация о них собирается, в основном, по литературным источникам, интернету и космическим снимкам. Имеющиеся независимые данные позволили выбрать ряд эталонных событий и подобрать сейсмограммы взрывов по каждому карьеру.

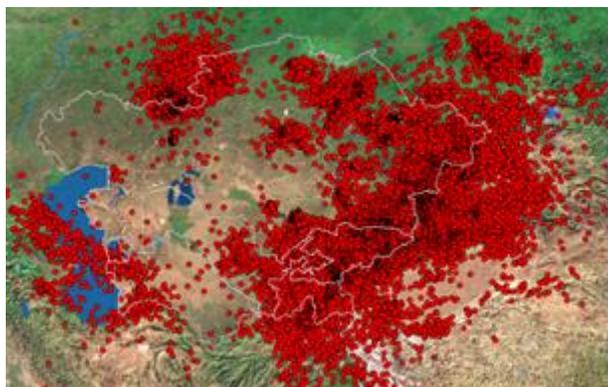
Создается атлас сейсмограмм по опорным станциям. Особое внимание придается поиску эталонных взрывов, по которым имеются точные параметры взрывания, привязке к определенному карьере и подбору соответствующих записей на станциях РГП ИГИ. Эталонные события используются для изучения скоростных характеристик среды, повышения точности локализации и проверки возможностей сетей мониторинга, а их сейсмограммы служат образцами волновых форм для распознавания взрывов из данного карьера.

Эталонные взрывы могут быть разделены на два типа. Первый тип – когда известны точные координаты карьера, на котором проведен взрыв, но неизвестно точное время взрывания (в этом случае для определения координат взрывов используются GPS-приборы). По этим эталонным взрывам ведется отбор сейсмограмм, служащих образцами для распознавания событий и для оценки параметров колебаний. Второй тип эталонных взрывов является более ценным классом событий – когда известны не только точные координаты взрыва, но и точное время взрывания (точные координаты взрывов измерены GPS-приборами, а точное время взрыва определено до сотых долей секунды, например, с помощью цифровых акселерометров, установленных в непосредственной близости от места взрыва). Таких событий всегда мало, но они представляют ценность не только для данного региона, но и для мирового сообщества сейсмологов. В созданной базе эталонных событий к этому классу взрывов относятся, например, калибровочные взрывы, проведенные на СИП в

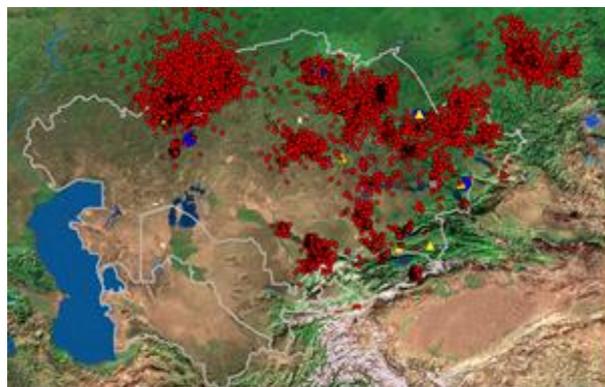
1997–2002 гг. мощностью от 2 до 100 т, мощные химические взрывы на карьере Каражыра, точное время и координаты которых были получены в ходе полевого эксперимента по инспекции на месте, а также мощный промышленный взрыв (2.8 кТ) 22 декабря 2009 г., произведенный в Кыргызстане для перекрытия реки Нарын при создании плотины на ГЭС «Камбарата». Кроме того, в базу эталонных событий включено несколько экспериментальных химических взрывов на карьерах в Западном Казахстане, проведенных в июне 2010 г. Регистрация этих взрывов проведена стационарной и временной сетью станций с целью уточнения региональных годографов для Центрального, Южного и Западного Казахстана.

#### СЕТЬ РГП ИГИ И ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ

С созданием стационарной высокочувствительной сети сейсмических станций РГП ИГИ (рисунок 2), расположенных не только в сейсмичных, но и в асейсмичных районах Казахстана – на севере, западе, в центральной части Республики – началось планомерное изучение сейсмичности территории, которая традиционно не относилась к сейсмически активной [1]. Ежедневная рутинная обработка сейсмических данных мониторинга показала, что общее число обрабатываемых и локализуемых сейсмических событий в таких зонах доходит до нескольких тысяч в год. Из этого числа большая часть событий связана не с природной сейсмичностью, а с промышленными взрывами на карьерах (реже подземными на рудниках и других объектах) (рисунки 3, 4). Часто взрывы и землетрясения близки по местоположению, что делает актуальным для Казахстана решение вопроса о повышении точности идентификации природы регистрируемых событий, особенно с учетом активности взрывных работ при добыче руд и строительных материалов, возрастающей год от года (рисунок 5).



а)



б)

Рисунок 3. Карта эпицентров всех сейсмических событий (а) и промышленных взрывов (б), зарегистрированных сетью РГП ИГИ за 2012–2016 гг.

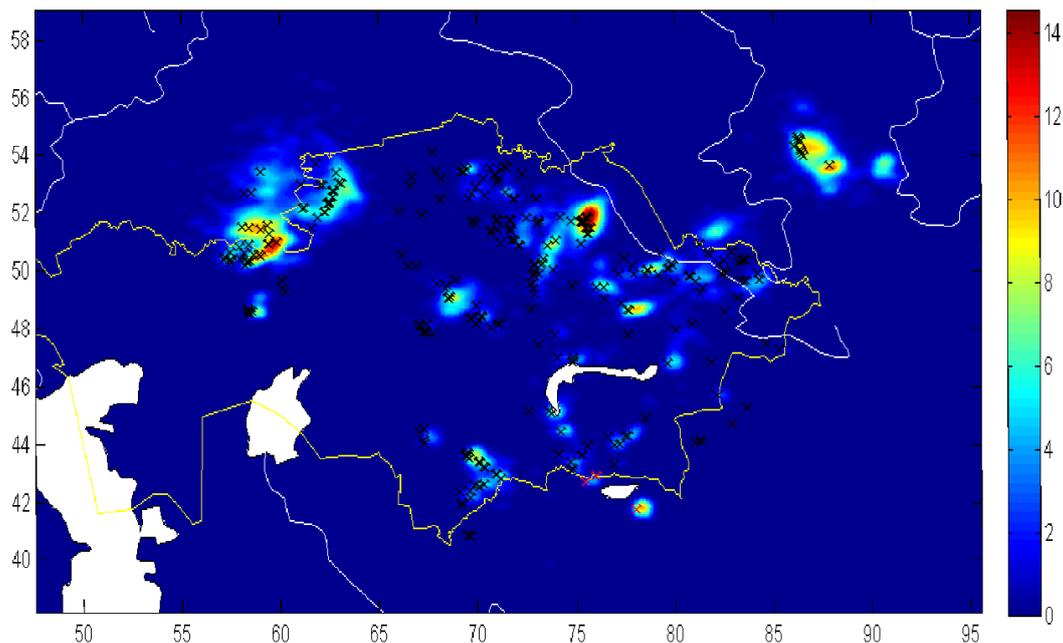


Рисунок 4. Карта плотности эпицентров карьерных взрывов, регистрируемых сетью РГП ИГИ

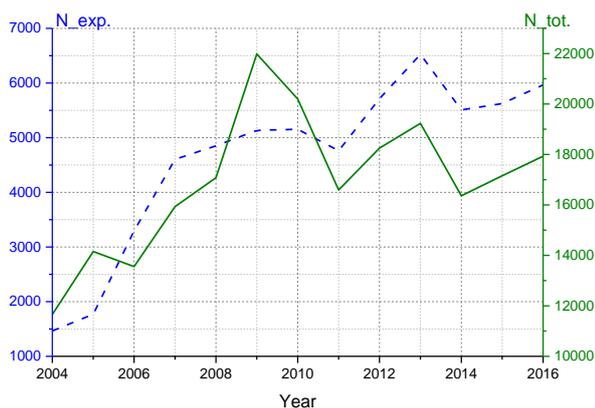


Рисунок 5. График изменения общего количества сейсмических событий (зеленый) и количества промышленных взрывов (синий) за различные годы по данным РГП ИГИ

По данным сети ИГИ за последние 10 лет было зарегистрировано около 194 000 сейсмических событий, из которых примерно 60 000 связаны со взрывными работами. В среднем каждый год регистрируются 18000 событий, 6000 из которых – взрывы (рисунок 5).

**КРИТЕРИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ (РАСПОЗНАВАНИЯ) ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ**

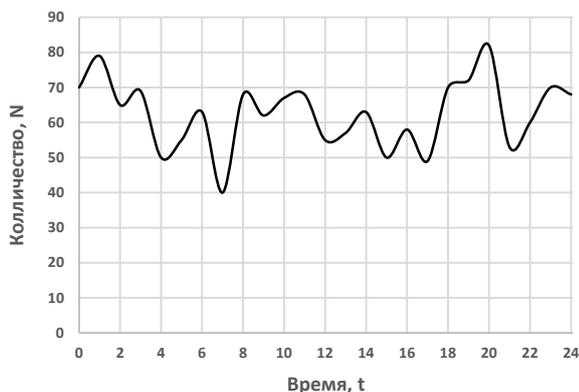
Для распознавания природы сейсмических событий по записям сейсмических станций используется следующий комплекс параметров: 1 – координаты события и близость к известным карьерам; 2 – глубина события; 3 – особенности записей волновой картины; 4 – время события относительно суток; 5 – наличие сигнала, зарегистрированного инфразвуковой станцией; 6 – диапазон энергетических классов; 7 – спектральное отношение амплитуд в различных

волновых группах; 8 – характеристики спектров разных волновых групп. Каждый из перечисленных параметров в отдельности не может являться универсальным и надежным признаком для разделения сейсмических событий на взрывы и землетрясения. Анализ нескольких признаков в комплексе повышает шанс правильного определения природы события. Так, к классу карьерных взрывов позволяют отнести событие, например, близость его эпицентра к известному карьере, малая глубина, характерная запись инфразвуковой станции, а также время события относительно времени суток. Возникновение землетрясения равновероятно в любое время суток, а карьерные взрывы можно довольно жестко привязать к рабочему времени (рисунок 6).

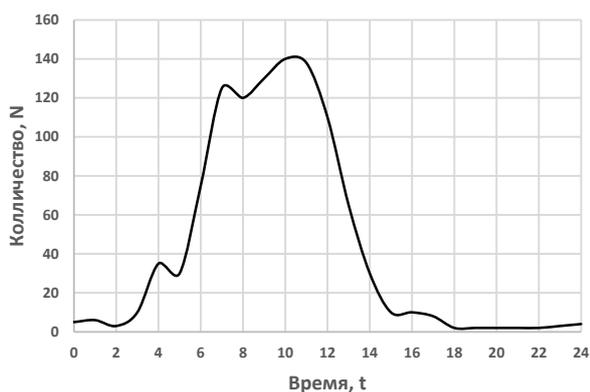
Конкретные количественные критерии распознавания могут различаться в различных регионах Казахстана, а также для разных станций регистрации. Как следует из сопоставления сейсмограмм на рисунке 7 из работы [2], записи взрыва и землетрясения существенно различаются. На сейсмограмме взрыва наблюдается четкое вступление Р волны, сравнительно небольшая по амплитуде S волна и доминирующие низкочастотные поверхностные волны, тогда как на сейсмограмме землетрясения поверхностные волны отсутствуют, а по амплитуде доминирует волна S.

В работе [2] приводился пример анализа сейсмограмм по изучению амплитудных отношений S и Р волн, как наиболее эффективному и универсальному методу распознавания химических взрывов и землетрясений. Методика обработки сейсмограмм включала измерение десятичных логарифмов отношения амплитуд S/P на вертикальной компоненте при узкополосной фильтрации. Использовались фильтры с

центральными частотами 1.25, 2.5, 5 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы на уровне -3 Дб от максимума. Четко видно, что по данным станции Курчатов довольно уверенно может быть идентифицирована природа события с использованием методики спектральных отношений амплитуд S- и P-волн. Аналогичные исследования проведены для взрывных работ во всех районах Казахстана.



а)



б)

Рисунок 6. График распределения землетрясений (а) и взрывов (б) по времени суток

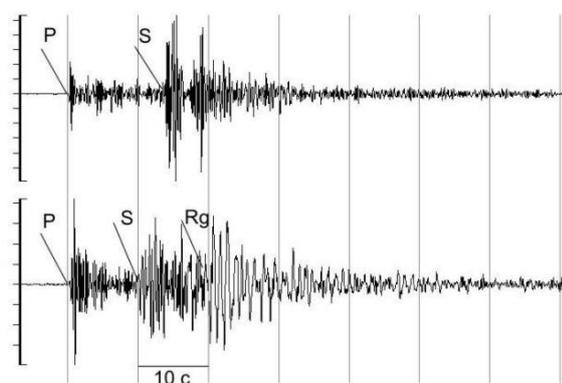
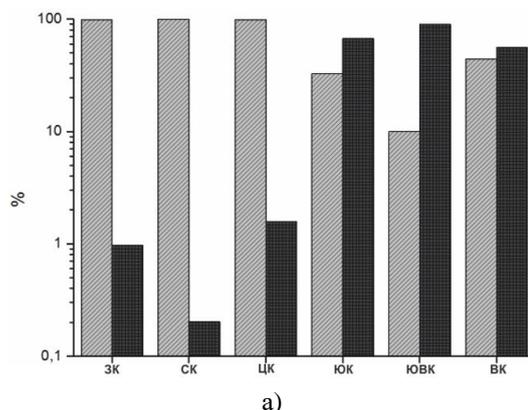


Рисунок 7. Сейсмограммы землетрясения 04.18.2004,  $\phi=49.99^\circ$ ,  $\lambda=77.42^\circ$ ,  $mb=3.8$  (верхняя) и взрыва на карьере Каражыра 6.29.2008,  $\phi=50.00^\circ$ ,  $\lambda=78.63^\circ$ ,  $mb=3.3$  (нижняя). Станция KURK

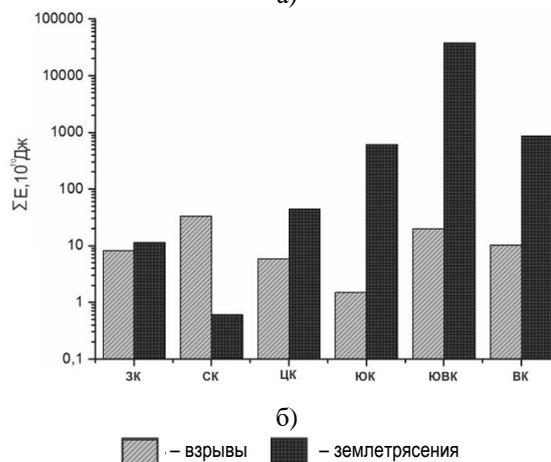
Комплекс критериев распознавания был применен к анализу сейсмических записей событий по станциям ИГИ. Все события классифицированы по природе источников. Составлен каталог взрывов для всей территории Казахстана, включающий почти 60 000 источников взрывов. Для каждого взрыва определены параметры, характеризующие его очаг и высвобожденную сейсмическую энергию. Это позволило изучить системно массив данных о взрывах, выявить различные пространственно-временные закономерности их проявления, сопоставить их энергию с энергией землетрясений и др.

**СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ, СВЯЗАННАЯ С КАРЬЕРНЫМИ ВЗРЫВНЫМИ РАБОТАМИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Проведено относительное сравнение двух типов сейсмических источников – взрывов и землетрясений для разных регионов Казахстана. Рассматривалось отношение количества событий – взрывов и землетрясений, а также отношение суммарной высвобожденной сейсмической энергии взрывов и землетрясений для каждого региона. На рисунке 8 представлены гистограммы распределения количества взрывов и землетрясений и суммарной сейсмической энергии для различных регионов Казахстана за последние 10 лет.



а)



б)

■ — взрывы ■ — землетрясения

Рисунок 8. Распределение количества взрывов и землетрясений (а) и суммарной сейсмической энергии (б) для различных регионов Казахстан

В Западном Казахстане (ЗК) количество взрывов достигает 99 % от общего количества всех сейсмических событий, но при этом суммарная сейсмическая энергия землетрясений почти равна суммарной энергии взрывов.

Возрастающие масштабы и интенсификация освоения земных недр в современных условиях привели к появлению двух проблем, а именно: необходимости решения задач по прогнозированию чрезвычайных ситуаций, вызванных техногенной сейсмичностью, и исследованию возможности активизации природных явлений за счет долговременных техногенных воздействий.

Сейсмические явления, возникающие вследствие техногенного воздействия на геологическую среду, принято называть наведенной сейсмичностью, которую подразделяют на индуцированную и триггерную. Индуцированная сейсмичность проявляется в виде относительно слабых толчков при внешних возмущениях, эпицентры которых располагаются в пределах области воздействия техногенного источника. Триггерная сейсмичность возникает за счет высвобождения запасенной энергии тектонических деформаций геологической средой под воздействием внешних источников возмущений [3] и, следовательно, может проявляться на активизированных структурах в областях с высокой естественной природной сейсмичностью. Энергия образующихся при этом землетрясений может достигать естественного фона сейсмической активности.

В мире известны крупные техногенные землетрясения, связанные с взрывной деятельностью. Пример такого события – 8-ми балльное техногенное землетрясение, произошедшее 18.06.2013 г. на территории РФ и получившее свое название от разреза Бачатский (Кузбасский карьер), к борту которого приурочен эпицентр (рисунок 9). В результате этого землетрясения в ближайших к эпицентру населенных пунктах интенсивность сотрясений достигла 7 баллов, наблюдались разрушения зданий [4].

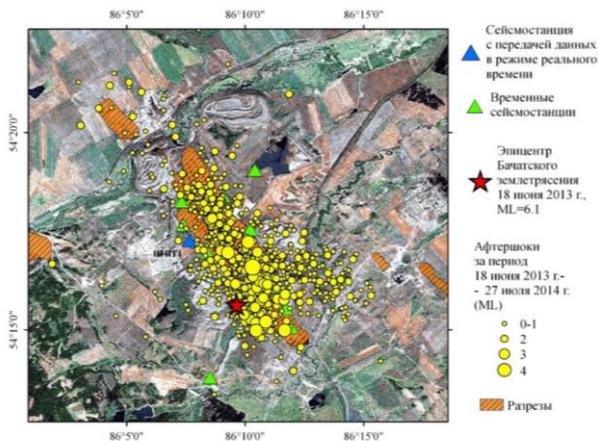


Рисунок 9. Карта эпицентров главного толчка и афтершоков Бачатского землетрясения [4]

Также известны 5–6-ти балльное Кукисвумчоррское техногенное землетрясение, которое произошло в пределах рудного поля, действующего с 1929 г. рудника им. С.М. Кирова АО «Апатит». При детальном изучении Кукисвумчоррского техногенного землетрясения было выявлено, что его сейсмограмма практически идентична сейсмограмме техногенного Умбозерского землетрясения 17.08.1999 г. на Умбозерском руднике в Ловозерском горном массиве, когда произошел взбросо-сдвиг с выходом сместителя на поверхность массива, и вслед за ним произошло обрушение подземных выработок на площади 650 тыс. м<sup>2</sup> [5].

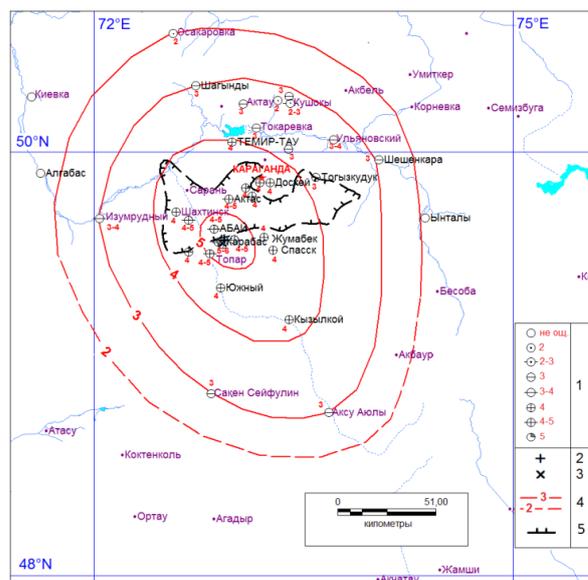


Рисунок 10. Карта изосейст Карагандинского землетрясения 21.07.2014 г. [7]

Примером таких природно-техногенных землетрясений в Казахстане могут служить землетрясения на месторождении Жезказган 01.08.1994 г., с  $m_b=4.8$ , 23.06.1996 г., с  $m_b=3.7$ , 10.09.2002 г., с  $m_b=4.5$ , 24.06.2005 г., с  $m_b=4.2$ , которые привели к крупным обрушениям и провалам на поверхности Земли и человеческим жертвам [6], а также недавнее Карагандинское землетрясение 21.07.2014 г. с  $m_b=5.2$ , где интенсивность сотрясения в эпицентральной зоне составил 5–6 баллов (рисунок 10) по шкале MSK 64 [7]. Это землетрясение спровоцировано активной взрывной деятельностью в рядом расположенных карьерах.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Сейсмическая сеть РГП ИГИ, созданная в последние десятилетия, позволила получить полное представление о взрывной деятельности на всей территории Республики и о вкладе событий взрывной природы в общую сейсмичность. Районирование территории по соотношению количества естественных и искусственных сейсмических источников показало существенное различие разных регионов по

этому параметру. Причем в Западном, Северном и Центральном Казахстане отмечено существенное превалирование взрывов над землетрясениями. Сейчас уже невозможно игнорировать сейсмическую энергию взрывов в общем потоке высвобождаемой сейсмической энергии и связанные со взрывами риски. Во-первых, с ними связан сейсмический риск вследствие прямого сейсмического воздействия на объекты и сооружения, находящиеся в поле непосредственного воздействия колебаний от взрывов. Во-вторых, опыт наблюдений за взрывами в разных странах показывает, что длительные воздействия от

взрывов могут привести к возбуждению на существующих рядом с карьерами разломах землетрясений, относящихся к классу природно-техногенных явлений, спровоцированных долговременной взрывной деятельностью. Их интенсивность может достигать значений до 8 баллов, примером которых является Бачатское техногенное землетрясение 18.06.2013 г. Необходимо создавать специальные сети мониторинга на разрабатываемых месторождениях и следить за развитием геодинамических процессов, чтобы не допустить возможных катастрофических последствий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова, Н.Н. Новая сеть казахстанских станций: новые данные о сейсмичности / Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова // Материалы Международной конференции, посвященной 10-летию выпуска сборника научных трудов «Землетрясения Северной Евразии». Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 180–185.
2. Соколова, И.Н. Распознавание сейсмических источников на территории Семипалатинского испытательного полигона по данным станций сейсмической сети НЯЦ РК / И.Н. Соколова, А.К. Мусин, Г.С. Султанова // Вестник НЯЦ РК. «Геофизика и проблемы нераспространения» Радиоэкология. Охрана окружающей среды: – 2003. – Вып. 2. – С. 61–67.
3. Николаев, А. В. Проблемы наведенной сейсмичности / А.В. Николаев // Наведенная сейсмичность. М.: Наука, 1994. – С. 5–15.
4. Еманов, А.Ф. Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 г. (ML = 6.1) в Кузбассе - сильнейшее в мире при добыче твердых полезных ископаемых / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – Т. 43. – № 4. – С. 34–60.
5. Асминг, В.Э. Кукисвумчорское техногенное землетрясение 21 октября 2010 г. с КР=10.1, Мl=4.1, I0=5–6 (Мурманская область) / В.Э.Асминг [и др.].
6. Герман, В.И. Техногенные землетрясения и прогноз обрушений на Жезказганском месторождении / В.И. Герман // Материалы Международной конференции «Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности». Институт земной коры Сибирского отделения РАН, 2015. – С. 194–199.
7. Михайлова, Н.Н. О землетрясении близ Караганды 21 июня 2014 года / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко, А.Н. Узбеков, А.А. Великанов // Вестник НЯЦ РК. – 2015. – Вып. 3. – С. 94–100.

### ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АУМАҒЫНДАҒЫ ЖАРЫЛЫС ЖҰМЫСТАРЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫ

А.С. Мукамбаев, Н.Н. Михайлова

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Қазақстанда бірінші рет өнеркәсіптік мақсатта жүргізілетін жарылыс қызметі сейсмикалық және сейсмикалық қауіпсіздік аспекті бойынша қарастырылады. Соңғы 10 жылда Қазақстан аумағында тіркелген жарылыстардың талдауы жүргізілді. Мөлшері 60 000-ға жуық жарылыс анықталды, сейсмикалық көздердің негізгі бөлігін құрайтын жарылыстар аудандары анықталды, жерсілкінулерден қарағанда жарылыстардан босатылған сейсмикалық қуаттың салыстырмалы көлемі зерттелді, табиғи-техногенді жерсілкінулер қатарына жататын оқиғалар анықталды.

### SEISMICITY FROM MINING BLAST ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

A.S. Mukambayev, N.N. Mikhailova

*Institute of Geophysical Researches, Kurchatov, Kazakhstan*

For the first time in Kazakhstan, blasting operations carried out for the industrial purposes is being considered in the aspect of seismicity and seismic danger. The analysis of results of mining blast recording at the stations of RSE IGR network over the last 10 years has been carried out. About 60 000 explosions have been revealed, areas where explosions make the bulk of seismic sources have been defined, relative amount of the released seismic energy from explosions in comparison with earthquakes has been studied, and the class of the events relating to natural and technogenic earthquakes has been defined.