

УДК 550.34

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СЛАБОСЕЙСМИЧНЫХ РАЙОНОВ КАЗАХСТАНА

Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Соколова И.Н., Аристова И.Л., Султанова Г.С., Мукамбаев А.С.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Обсуждаются новые данные по распознаванию промышленных взрывов и землетрясений. Важным результатом является полевое обследование активных карьеров, создание баз данных карьеров, промышленных взрывов, эталонных событий и атласов записей. Показано особое значение работы по идентификации зарегистрированных событий для слабоактивных сейсмических областей Казахстана.

ВВЕДЕНИЕ

С созданием сети стационарных высокочувствительных сейсмических станций НЯЦ РК началось планомерное изучение сейсмичности тех территорий Северного, Западного и Центрального Казахстана, которые традиционно не относились к сейсмически активным. С помощью стационарных и полевых сейсмических наблюдений, а также в результате работ с сейсмическими архивами выявлены новые зоны, в которых происходят землетрясения [1]. Ежедневная рутинная обработка данных сейсмического мониторинга показала, что общее число обрабатываемых и локализуемых сейсмических событий в таких зонах доходит до нескольких тысяч в год. Из этого числа большая часть связана не с природной сейсмичностью, а с промышленными взрывами на карьерах (реже подземных рудниках) и на других объектах (при прокладке газопроводов, при весенней ликвидации ледяных заторов на реках, на военных полигонах и др.). Часто взрывы и землетрясения близки по местоположению. Для составления каталогов землетрясений необходима точная идентификация природы регистрируемых событий. Решение этого вопроса для Казахстана имеет особо важное значение, так как Республика располагает огромной территорией и богатейшими запасами полезных ископаемых. Активность взрывных работ при добыче руд и строительных материалов год от года возрастает. В большинстве случаев такие работы происходят именно в асейсмичных районах Казахстана. Относительное число взрывов в общем количестве сейсмических событий для активных районов составляет первые проценты, тогда как для асейсмичных районов оно доходит до 100 процентов. Ошибки в идентификации событий для асейсмичных районов грозят ложными выводами и искаженной оценкой сейсмической опасности.

В Институте геофизических исследований НЯЦ РК решение задачи разделения регистрируемых событий на промышленные взрывы и землетрясения ведется в двух направлениях:

- исследования по разработке методики распознавания промышленных взрывов на действующих карьерах по сейсмическим записям, поиск дискриминантов и критериев;

- полевое изучение промышленных взрывов на действующих карьерах и других объектах с созданием базы данных промышленных взрывов, атласа эталонных записей взрывов.

1. РАСПОЗНАВАНИЕ ПРИРОДЫ ИСТОЧНИКОВ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ЗАПИСЯМ

Для распознавания сейсмических событий по записям сейсмических станций изучается 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 [2 - 5]. Каждый из перечисленных параметров в отдельности не может являться 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 позволяет отнести событие, например, близость его эпицентра к известному карьере, малая глубина, характерная запись инфразвуковой станцией, а также время события относительно времени суток. Наибольшую эффективность при распознавании событий имеют спектральные отношения поперечных и продольных волн и особенности волновой картины. В качестве дополнительных критериев рассматриваются характерные для каждого карьера диапазоны энергетических классов. Конкретные количественные критерии распознавания могут различаться в различных регионах Казахстана, а также для разных станций регистрации, что обуславливает необходимость их детального изучения.

Пример такого анализа приводится для угольного карьера Каражыра в Восточном Казахстане. Координаты карьера $\varphi = 50.0183^\circ$ и $\lambda = 78.7266^\circ$. Карьер расположен вблизи трехкомпонентной сейсмической станции Курчатов-KURK (78 км) и сейсмической группы Курчатов-Крест-KUR (69 км до центральной точки группы). На рисунке 1 приведена гистограмма взрывов, произведенных за 2007 г., по массе заряда.

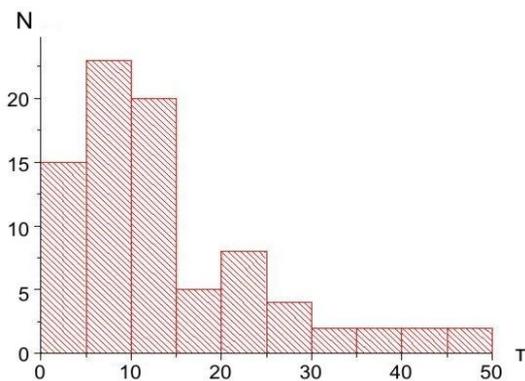


Рисунок 1. Распределение взрывов, произведенных на карьере Каражыра, по массе ВВ

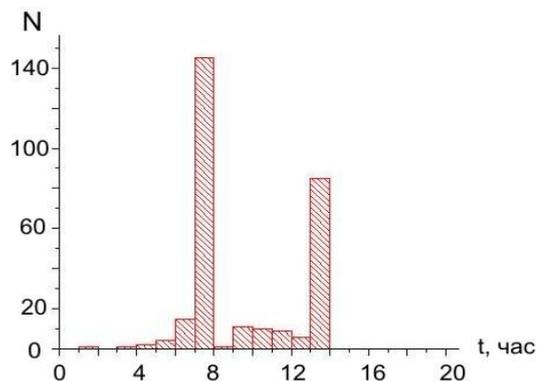


Рисунок 2. Распределение взрывов на карьере Каражыра по времени суток

Видно, что большинство взрывов, произведенных на карьере Каражыра, имеет массу ВВ 5 - 15 т, но есть отдельные взрывы с массой заряда около 50 т. На рисунке 2 приведена гистограмма взрывов по времени суток. Большинство взрывов на этом карьере производится в 7 - 8 ч GMT (в 13 - 14 ч по местному времени) и в 13 - 14 ч GMT (19 - 20 ч по местному времени). На рисунке 3 приведена гистограмма взрывов по энергетическому классу. Как видно из рисунка 3, большинство взрывов имеет энергетический класс 5 - 7. Рисунок 4 иллюстрирует характер волновой картины взрыва, произведенного на карьере Каражыра 06.29.2008 г., и землетрясения 04.18.2004 г., зарегистрированных сейсмической станцией Курчатова (KURK).

Как следует из сопоставления сейсмограмм на рисунке 4, 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.

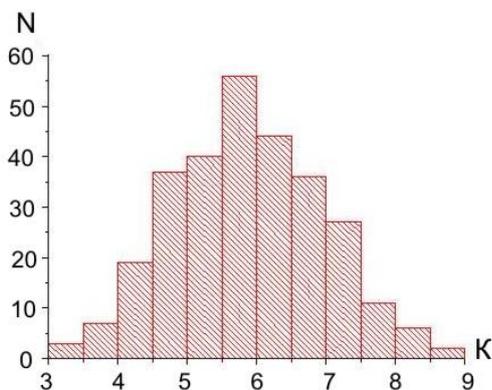


Рисунок 3. Распределение взрывов на карьере Каражыра по энергетическим классам

При анализе сейсмограмм основное внимание было уделено методу амплитудных отношений S и P волн как наиболее эффективному и универсальному методу распознавания химических взрывов и землетрясений [5]. 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. На рисунке 5 приведен пример такого анализа для карьера Каражыра и близких к нему землетрясений.

Четко видно, что по данным станций Курчатова 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. Их результаты позволили из общего количества обработанных сейсмических событий за 2004 - 2010 гг. выделить более 25 300 взрывов с энергетическими классами от 1.3 до 9.0 (рисунок 6), в том числе: в 2004 г. - 1464 взрыва, в 2005 г. - 1770 взрывов, в 2006 г. - 3144 взрыва, в 2007 г. - 4604 взрыва, в 2008 г. - 4844 взрыва, в 2009 г. - 4 374 взрыва, в 2010 г. - 5152 взрыва.

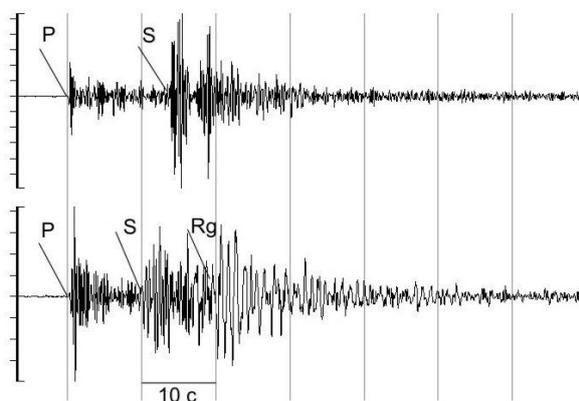


Рисунок 4. Сейсмограммы землетрясения 4.18.2004, $\varphi=49.99^\circ$, $\lambda=77.42^\circ$, $mb=3.8$ (верхняя) и взрыва на карьере Каражыра 6.29.2008, $\varphi=50.00^\circ$, $\lambda=78.63^\circ$, $mb=3.3$ (нижняя). Станция KURK

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ ПРИ ОЦЕНКЕ
СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СЛАБОСЕЙСМИЧНЫХ РАЙОНОВ КАЗАХСТАНА**

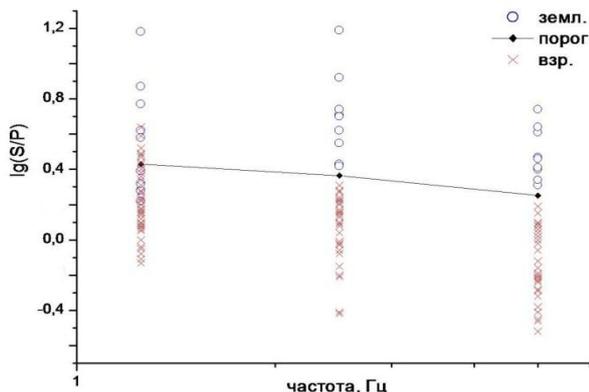


Рисунок 5. Распределение спектральных отношений максимальных амплитуд S/P для взрывов на карьере Каражыра и для близких к нему землетрясений

**2. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА ТЕРРИТОРИИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Полевое изучение промышленных взрывов на действующих карьерах и других объектах с созданием базы данных по ним и созданием атласа эталонных записей взрывов проведено в 2007 – 2010 гг. в Западном, Южном, Северном и в Центральном Казахстане, а также в районе Семипалатинского испытательного полигона. На рисунке 7 приведена карта Казахстана с контурами покрытия детальными исследованиями карьеров промышленных взрывов. Перед полевыми работами для выделения возможных объектов промышленных взрывов анализировались изданная карта полезных ископаемых Казахстана, справочная литература по рудным месторождениям и строительным материалам, а также имеющиеся материалы космических съёмок.

На рисунке 8 приведён фрагмент спутниковой фотографии, на которой хорошо видны контуры

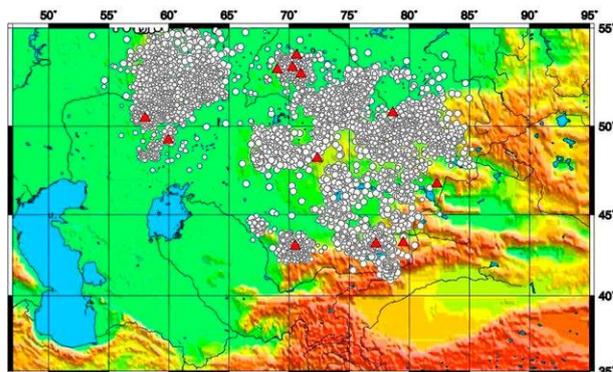
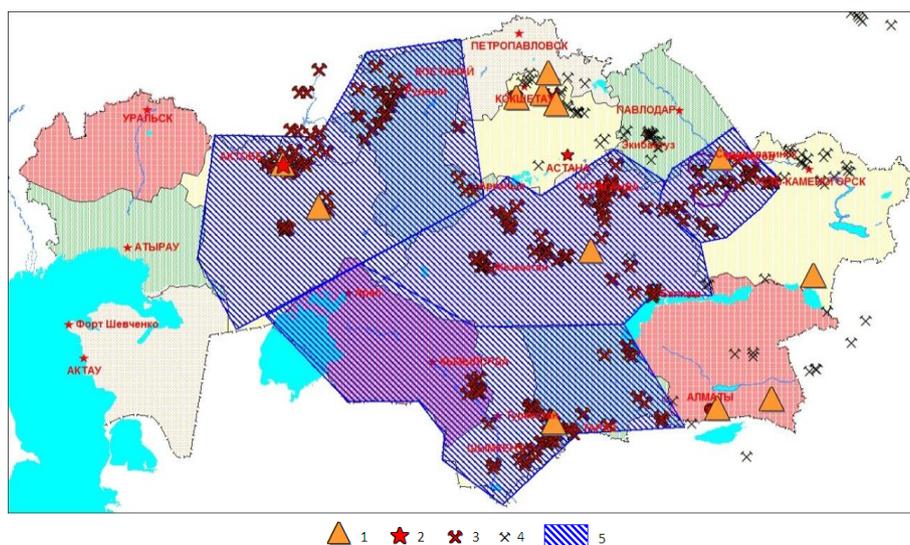


Рисунок 6. Эпицентры установленных промышленных взрывов на территории Казахстана и приграничных государств за 2004 – 2010 гг.

Сарбайского и Соколовского карьеров и их отвалы. Наличие эпицентров фиксируемых сейсмических событий около возможных объектов промышленных взрывов давало возможность составлять предварительные таблицы и схемы расположения действующих карьеров в исследуемых районах.

Предварительный анализ материалов не мог дать полной информации о промышленных взрывах на выявленных карьерах, так как отработка рудных объектов могла быть законсервирована, или могла быть изменена на подземный способ шахтами с мизерными объемами взрывных работ с массой взрывчатого вещества менее 300 - 500 кг, не фиксируемых сейсмическими станциями. В некоторых единичных карьерах добыча руды в нетвёрдых породах ведётся без взрывных работ. Существуют также временные объекты промышленных взрывов, например, связанные с прокладкой автомобильных дорог, газопроводов, со строительством промышленных объектов, а также с ликвидацией ледяных заторов в весенний период.



1 – сейсмические станции НЯЦ РК; 2 – инфразвуковая станция; 3 – обследованные и изученные карьеры и объекты промышленных взрывов; 4 – необследованные карьеры; 5 – контуры покрытия детальными исследованиями промышленных взрывов

Рисунок 7. Карта Казахстана с контурами покрытия детальными исследованиями промышленных взрывов



Рисунок 8. Фрагмент спутниковой фотографии Сарбайского и Соколовского железорудных карьеров вблизи г. Рудный

Самую достоверную и детальную информацию о промышленных взрывах позволили получить полевые выезды на горнодобывающие предприятия и встречи с администрацией рудников, карьеров, а также со специалистами организаций, производящих буровзрывные работы. Всего в 2007 – 2010 гг. в Западном, Южном, Северном и Центральном Казахстане, а также в районе Семипалатинского испытательного полигона обследованы 191 карьер (и подземных рудников), а также 12 других объектов (прокладка газопровода, ликвидация ледяных затворов на реках и др.). Это позволило уточнить местоположение действующих карьеров и других объектов промышленных взрывов, собрать информацию о технологии буровзрывных работ и параметрах взрывов за фиксированный период (1 - 1.5 года) 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, где приводились их активность по количеству взрывов в год и максимальная мощность 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. Создан атлас эталонных сейсмических записей взрывов. База данных разработана и реализована на СУБД Microsoft Access в среде Microsoft Windows и обеспечивает накопление, хранение, быстрое и удобное предоставление запрашиваемой информации. На рисунке 9 показана структура этой базы данных.



Рисунок 9. Структура базы данных промышленных взрывов и действующих карьеров в Казахстане

База данных содержит информацию по следующим областям: Костанайской, Актыубинской, Акмолинской, Кызылординской, Карагандинской, Жымбылской, ЮКО, ВКО. Фрагмент базы данных и информации по Актыубинской области показан на рисунке 10. База данных активно пополняется, легка и удобна для использования.

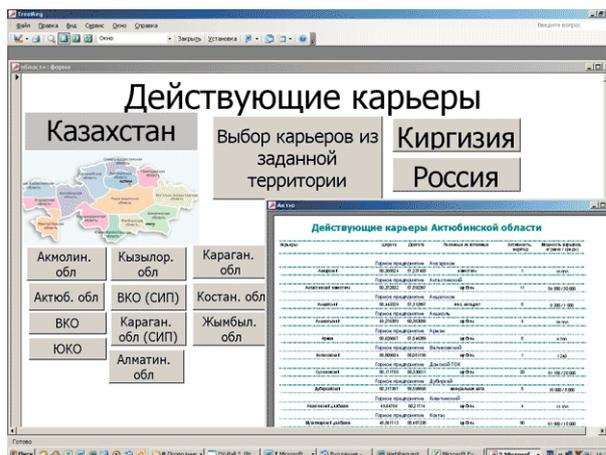
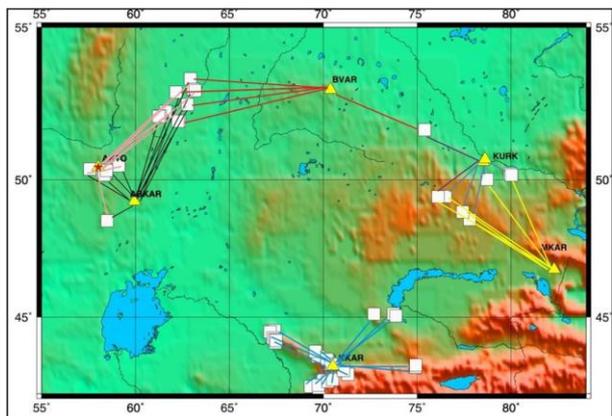


Рисунок 10. Фрагмент базы данных и информации по Актыубинской области

Основными местами 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. На большем количестве рудных и нерудных карьеров, а также на других объектах промышленных взрывов производятся 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 578 и 625 тонн. Существенный вклад в проведение промышленных взрывов 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 отобразить сейсмограммы взрывов по каждому карьеру. Определена группа опорных станций-индикаторов взрывов (рисунок 11).



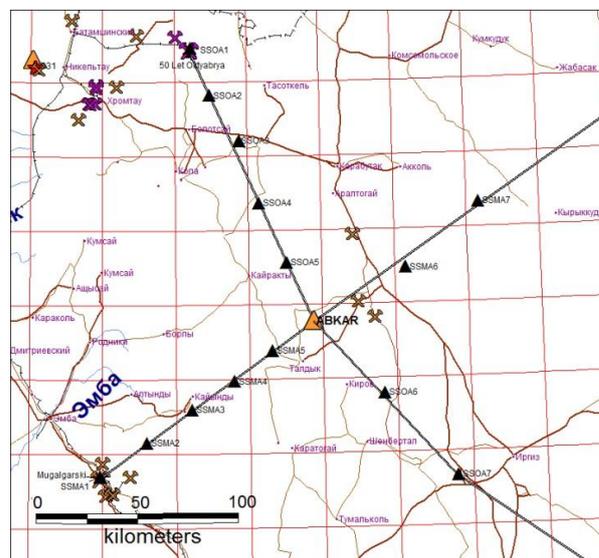
Квадрат – карьер; треугольник - сейсмическая станция; звездочка - инфразвуковая станция; линия - трасса «опорная станция - карьер»

Рисунок 11. Расположение группы опорных станций - индикаторов

Создается атлас сейсмограмм по опорным станциям. Особое внимание уделяется поиску эталонных взрывов, по которым имеются точные параметры взрыва, привязка к определенному карьеру и соответствующие записи на станциях. 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 взрыва (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, более ценный класс событий, - когда известны не только точные координаты взрыва, но и точное время взрыва (точные координаты взрывов измерены GPS-приборами, а точное время взрыва определено до сотых долей секунд, например, с помощью цифровых акселерометров, установленных в непосредственной близости от места взрыва). Таких событий всегда мало, но они представляют ценность не толь-

ко для данного региона, но и для мирового сообщества-сейсмологов. В созданной базе эталонных событий к этому классу взрывов относятся 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 [6], 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» [7]. Кроме того, в базу эталонных событий включено несколько экспериментальных химических взрывов на карьерах в Западной Казахстане, проведенных в июне 2010 г. при финансовой поддержке АФТАС силами ИГИ НЯЦ РК. Регистрация взрывов проведена стационарной и временной сетью станций (рисунок 12) с целью уточнения региональных годографов для Центрального, Южного и Западного Казахстана.



1 – стационарная сейсмическая станция; 2 – инфразвуковая станция; 3 – рудный карьер; 4 – карьер по добыче щебня и строительных материалов; 5 – сейсмическая станция временной сети; 6 – региональный профиль

Рисунок 12. Схема расположения станций при проведении эталонных взрывах в карьерах Западного Казахстана

Таким образом, комплексное изучение сейсмических записей и карьеров, в которых производятся промышленные взрывы, дает возможность сейсмологам с большей точностью производить идентификацию сейсмических событий, отрабатывать методики распознавания, составлять качественные каталоги землетрясений, что в конечном итоге существенным образом влияет на правильность оценок сейсмической опасности на территории Казахстана.

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. Годзиковская, А.А. Местные взрывы и землетрясения / А.А. Годзиковская. - М., 2000. - 110 с.
3. Габсатарова, И.П. Методика выявления взрывов в ряде районов действующих карьеров Северного Кавказа / И.П. Габсатарова // Землетрясения Северной Евразии в 2000 г. - Обнинск, 2006. – С. 347 - 358.
4. Годзиковская, А.А. Проблема «засорения» региональных каталогов землетрясений местными взрывами / А.А. Годзиковская, А.Г. Бугаевский, И.И. Афанасьева // Изв. РАН: Физика Земли, 1993. – № 1. – С. 53 - 61.
5. 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.
6. Михайлова, Н.Н. Определения энергетических и магнитудных характеристик по сейсмическим записям химических взрывов 1997 - 2000 гг. на Семипалатинском полигоне / Н.Н. Михайлова, Т.И. Германова, И.Л. Аристова // Вестник НЯЦ РК. Геофизика и проблемы нераспространения, 2001. – Вып. 2 – С. 90 - 95.
7. Абдрахматов, К.Е. Развитие сейсмического мониторинга в Кыргызстане / К.Е. Абдрахматов, А.В. Березина // Вестник НЯЦ РК, 2010. – Вып. 3 – С. 17 - 23.

**ҚАЗАҚСТАННЫҢ БАЯУ СЕЙСМИКАЛЫҚ АУДАНДАРЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ
ҚАУІПІН БАҒАЛАУЫНДА ӨНЕРКӘСІПТІК ЖАРЫЛЫСТАРЫН СӘЙКЕСТЕНДІРУ**

Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Соколова И.Н., Аристова И.Л., Султанова Г.С., Мукамбаев А.С.

ҚР ҰЯО геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Өнеркәсіптік жарылыстар мен жерсілкінулерді тану бойынша жаңа нәтижелері талқылануда. Оларды алуына маңызды негізі болып табылатыны – істегі карьерлерді далалық тексеру, карьерлер, өнеркәсіптік жарылыстар, эталондық оқиғалар бойынша жасалған деректер базалары, сондай-ақ жазбалардың атластары. Қазақстанның баяу белсенді сейсмикалық облыстары үшін оқиғаларды сәйкестендіру бойынша жұмыстардың ерекше маңыздылығы туралы баса айтылады.

**IDENTIFICATION OF INDUSTRIAL BLASTS WHEN ESTIMATING SEISMIC
HAZARD OF REGIONS OF KAZAKHSTAN WITH LOW SEISMISITY**

N.N. Mikhailova, A.E. Velikanov, I.N. Sokolova, I.L. Aristova, G.S. Sultanova, A.S. Mukambaev

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper provides new information on discriminating industrial blasts and earthquakes. The important result is field examination of active quarries at which explosions are conducted, creation of database for quarries, industrial blasts, ground-truth events and atlases of seismic records. The works on identification are very significant for Kazakhstan regions of low seismic activity.