

УДК 550.348(511.66)

## МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ КАК КРИТЕРИЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ВЗРЫВОВ

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

На примерах зарегистрированных промышленных, калибровочных и ядерных взрывов, произведенных на территории Казахстана, выполнена оценка возможности использования механизмов очагов для распознавания природы сейсмического события. Установлено, что критерий распознавания по первым вступлениям Р-волн и механизмам очагов не является универсальным.

**ВВЕДЕНИЕ**

В Приложении 2 Протокола к Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [1] приведен Перечень параметров характеризации для стандартной фильтрации явлений. В состав рекомендуемых параметров входят первое движение Р-волны и механизм очага. В основе использования этих параметров для распознавания природы сейсмических событий лежит известный характер распределения волн сжатия и растяжения от источников разной природы. При землетрясениях в подавляющем большинстве случаев волны сжатия и растяжения имеют квадрантное распределение, силовым источником которых является двойная пара сил. Простое обрушение пород является источником волн растяжения, в этом случае во всех азимутах от источника в первых вступлениях на сейсмограммах регистрируются отрицательные смещения. Взрыв – это источник всестороннего расширения – во всех направлениях от эпицентра в первых вступлениях продольных волн должны наблюдаться положительные смещения. Однако практика показала, что не всегда можно распознать взрыв по этим критериям. В ряде случаев на сейсмограммах одного и того же взрыва, полученных в разных азимутах от эпицентра, в первых движениях наблюдаются как положительные, так и отрицательные смещения. Для некоторых из этих взрывов были определены фокальные механизмы по стандартной методике, в которой силовым источником является двойной диполь.

Цель статьи – выявить взрывы разного типа: ядерные, калибровочные, промышленные, – представляющие собой исключения от ожидаемых первых движений в продольных волнах и механизмов очага.

**ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ**

В Каталоге фокальных механизмов землетрясений А.О. Мострюкова, В.А. Петрова [2] содержатся сведения о фокальных механизмах 19 ядерных взрывов, произведенных на полигонах Прикаспийской впадины за период 1968 - 1983 гг. Фокальные механизмы для взрывов были получены с использованием стандартной методики, основанной на квадрантном распределении волн сжатия и растяжения при подавляющем числе землетрясений. Силовой моделью очага, используемой в этой методике, является двойной ди-

поль. На рисунке 1 приведена карта эпицентров изученных ядерных взрывов, а также показаны стереограммы решений фокальных механизмов.

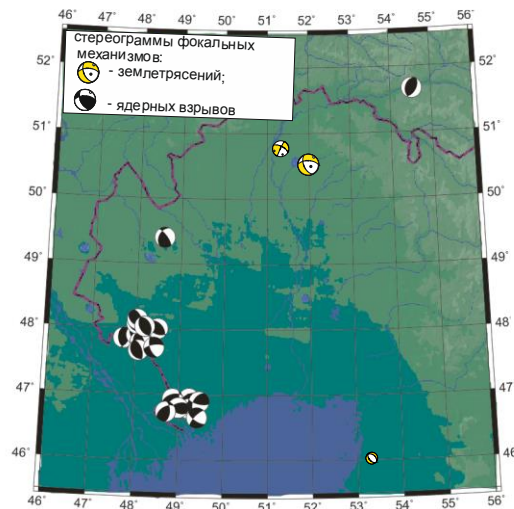


Рисунок 1. Эпицентры ядерных взрывов и землетрясений, для которых получены решения фокальных механизмов, и их стереограммы

Анализ фокальных механизмов, полученных для взрывов, показал, что во всех случаях механизмы очагов представляют собой взбросы или взбросо-сдвиги по плоскостям субширотного либо северо-западного простирания, падающим под углом  $45^{\circ}$ . Такой характер подвижек в очагах реализуется в условиях системы напряжений близгоризонтального сжатия и близвертикального растяжения и не может происходить под действием всестороннего расширения, возникающего при взрывах. То есть, полученные фокальные механизмы противоречат ожидаемым механизмам взрывов.

Проведено сравнение параметров фокальных механизмов, полученных для ядерных взрывов, с фокальными механизмами землетрясений в изучаемом регионе Прикаспия. Поскольку данный регион является слабосейсмичным, имеются решения фокальных механизмов только для трех наиболее сильных землетрясений. Два из них связаны с солянокупольной тектоникой [3], одно техногенное, связанное с добычей углеводородов на Тенгизском месторождении. Однако, несмотря на разную природу происхо-

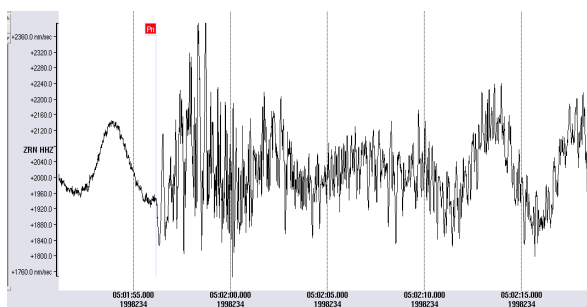
ждения этих событий, все три решения фокальных механизмов подобны между собой. Тип подвижек в их очагах представлен либо сбросом, либо сбросо-сдвигом, которые реализуются в условиях близгоризонтального растяжения. Из результатов сопоставления следует, что и характер подвижек, и ориентация главных осей напряжений в очагах землетрясений Прикаспия радикально отличаются от аналогичных параметров, полученных для ядерных взрывов.

**КАЛИБРОВочНЫЕ ВЗРЫВЫ**

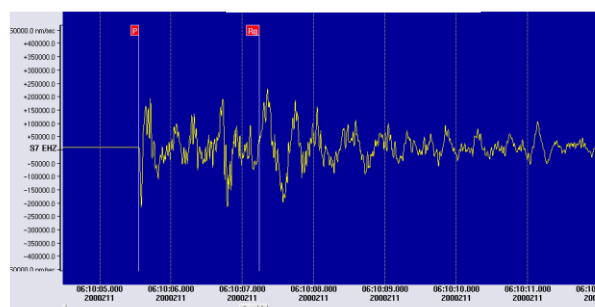
В 1998 - 2000 гг. на площадке Дегелен Семипалатинского испытательного полигона (СИП) были проведены калибровочные эксперименты серии «Омега» - три взрыва с массой заряда во всех случаях по 100 тонн. Эксперименты Омега-2 и Омега-3 проводились в одной и той же штольне. Взрывы были зарегистрированы стационарной и временными сетями сейсмических станций на расстояниях от 0 до 1000 км. Взрыв «Омега-1» был зарегистрирован 43 станциями, «Омега-2» – 29 станциями, «Омега-3» – 20 станциями [4]. Анализ сейсмограмм, записан-

ных станциями, расположенными в разных азимутах от эпицентров взрывов, показал, что в первых вступлениях Р-волн во всех 3-х случаях наблюдались как волны сжатия (+), так и растяжения (-), хотя теоретически для взрывов должны регистрироваться значения знаков (+) во всех азимутах. Пример сейсмограмм, на которых в первых вступлениях четко виден знак (-) показан на рисунке 2.

Распределение положительных и отрицательных знаков первых вступлений Р-волн при всех трех взрывах было близким к квадрантному, что позволило построить механизмы очагов по стандартной методике. От взрывов Омега-2 и Омега-3, проведенных, как было указано, в одной и той же штольне, получены одинаковые знаки первого вступления на сейсмограммах зарегистрированных одними и теми же станциями. Поэтому при построении фокального механизма был применен метод группирования. На рисунке 3 показаны результаты определения фокального механизма взрыва Омега-1 и обобщенного фокального механизма для взрывов Омега-2 и Омега-3.

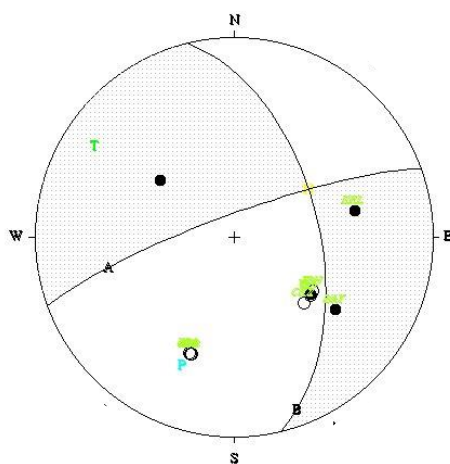


а – станция Зеренда (ZRN)

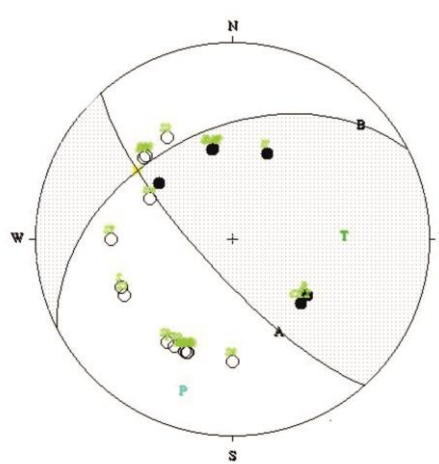


б – временная станция S7

Рисунок 2. Запись первого вступления Р-волны взрыва Омега-1



а – Омега-1



б – Омега-2 и Омега-3

Рисунок 3. Стереогаммы фокальных механизмов взрывов

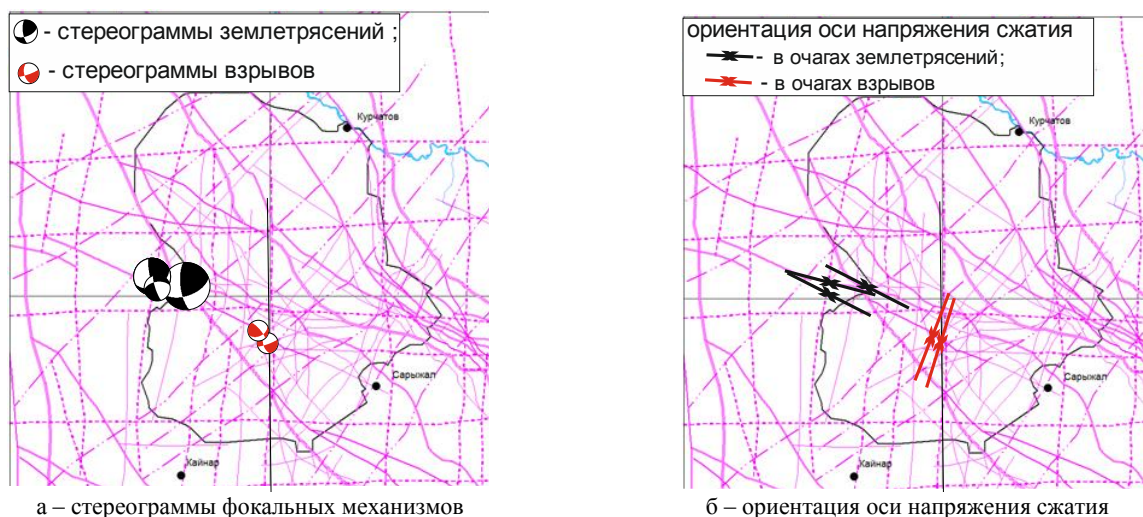


Рисунок 4. Схема разломов СИП с результатами определения фокальных механизмов и осей напряжения сжатия

Параметры фокальных механизмов этих взрывов: ориентация нодальных плоскостей и осей главных напряжений оказались подобными между собой, различия в значениях азимутов простирания и углов погружения не превышали точности построения. Характер фокальных механизмов представлен комбинацией крутых сдвигов северо-западного и северо-восточного простирания с незначительными компонентами по падению плоскостей. Такой характер подвижек, как видно из рисунка 4-а, хорошо согласуется с дислокациями в очагах землетрясений, происходящих в этом регионе, а также соответствует простиранию и кинематике главной системы разломов в регионе.

Что касается главных напряжений, снимаемых в очагах землетрясений, то их ориентация контрастно отличается от полученной для очагов взрывов (рисунок 4-б). Можно предположить, что воздействие взрывов, произведенных в штольнях в теле разлома, вызвало локальное перераспределение напряжений, которые, в свою очередь, вызвали сдвиговые подвижки по плоскости разлома в соответствии с его простиранием и кинематикой. Объемные волны, вызванные этими сдвиговыми подвижками, видимо, и были зарегистрированы в первых вступлениях на некоторых наблюдательных станциях.

Таким образом, проведенные эксперименты ясно свидетельствуют, что при взрывах, произведенных в зонах разломов, вполне вероятно возникновение в очагах сдвиговых подвижек, ориентация и кинематика которых согласуется с разрывной тектоникой региона.

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЫ**

В Центре данных ИГИ постоянно проводится работа по идентификации карьерных взрывов и тектонических землетрясений. Ежегодно сетью сейсмических станций, находящихся под оперативным управлением ИГИ, на территории Казахстана регистрируется порядка 5000 взрывов (рисунок 5).

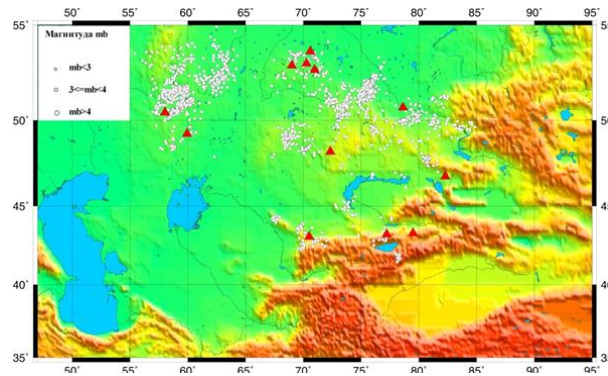


Рисунок 5. Эпицентры взрывов, произведенных на территории Казахстана с 1 июля по 31 декабря 2010 г. (общее количество 2651)

Как правило, на сейсмограммах в первых вступлениях Р-волн во всех азимутах от эпицентров взрывов регистрируются знаки (+), что соответствует теоретически ожидаемым во всех направлениях волнам сжатия. Однако, и в этой категории взрывов отмечены случаи, когда в разных азимутах от эпицентров в первых вступлениях Р-волн наблюдались как волны сжатия (+), так и растяжения (-). Количество таких “аномальных взрывов” невелико и составляет порядка 0,2% от количества всех взрывов, регистрируемых за год. Так, например, за период 2008 - 2010 гг. зарегистрировано всего 25 “аномальных взрывов” в энергетическом диапазоне  $K=6.4-8.0$ , их эпицентры расположены в карьерах Чу-Илийских гор, Каратау, Джунгарии.

Распределение знаков первых вступлений продольных волн позволило построить фокальные механизмы “аномальных взрывов” по стандартной методике, причем, наилучшее решение механизмов очагов соответствовало глубинам источников (идентичных действию двойного диполя) в пределах 0 - 10 км. На рисунке 6-а приведены стереограммы фокальных механизмов карьерных взрывов на карте



эпицентров, а на рисунке 6-б – стереограммы фокальных механизмов землетрясений в соответствующих структурах. Сопоставление фокальных механизмов “аномальных взрывов” и землетрясений свидетельствует, что и те, и другие представляют собой либо взбросо-сдвиги, либо сбросо-сдвиги по плоскостям северо-западного, или северо-восточного простирания. Такое простирание нодальных плоскостей

в очагах соответствует ориентации главных систем разломов: каратаусской и северо-тянь-шаньской.

Ориентация оси напряжения сжатия по данным фокальных механизмов в очагах “аномальных взрывов” (рисунок 6-а), как и землетрясений с  $K=6-7$  (рисунок 6-б), неустойчива, тем не менее, в обоих случаях превалирует направление напряжения сжатия, близкое к меридиональному.

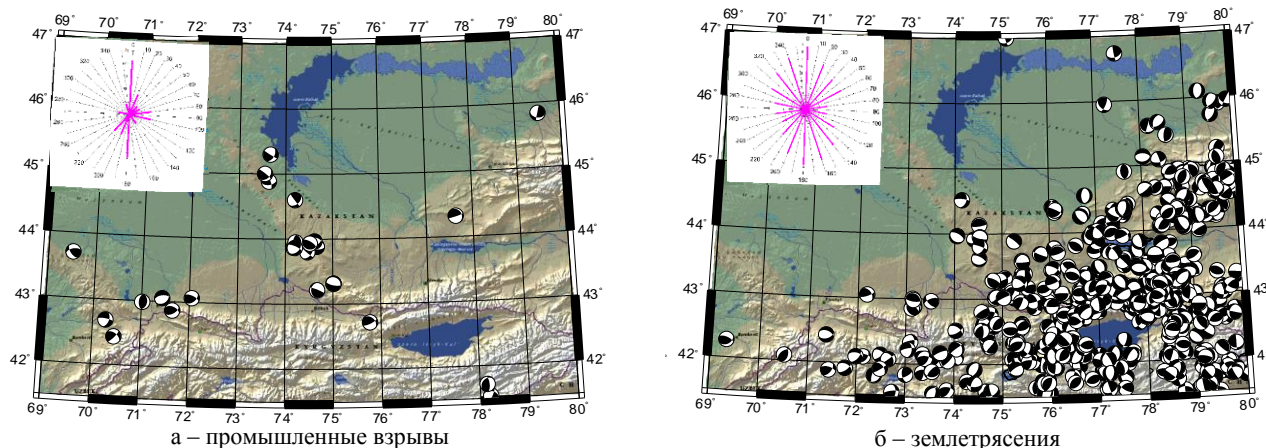


Рисунок 6. Стереограммы и ориентация осей напряжений сжатия промышленных взрывов и землетрясений на территории Казахстана

Таким образом, характер подвижек, полученный для “аномальных взрывов”, может быть четко соотнесен с геологической структурой и напряженным состоянием соответствующих регионов. Вероятно, особое значение для появления таких аномальных случаев имеет напряженное состояние геологических структур, в которых производятся промышленные взрывы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разных классах взрывов (ядерных и химических) на территории Казахстана обнаружено отклонение от ожидаемого распределения знаков первых вступлений сейсмических волн. На записях отдельных станций четко регистрируются волны растяжения.

Для разных типов взрывов удастся построить фокальные механизмы по стандартной методике.

Для взрывов, произведенных в зонах тектонических разломов, тип механизма очага взрыва часто согласуется с аналогичным механизмом землетрясения из той же зоны.

Проведенными исследованиями показано, что критерий распознавания землетрясений и взрывов по первым вступлениям Р-волн и механизмам очага не является универсальным. Этот вывод следует учитывать в практике работ по распознаванию природы сейсмических источников и при составлении сейсмических бюллетеней.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty: CTBTO Preparatory Commission. – Vienna, Austria: 2010. – 120 p.
2. Мостриков, А.О. Каталог фокальных механизмов /А.О. Мостриков, В.А. Петров. – Москва. - 1994.
3. Михайлова, Н.Н. К вопросу о природе Шалкарского землетрясения, произошедшего в Западном Казахстане 26 апреля 2008./ Н.Н. Михайлова, А.Е. Великанов // Вестник НЯЦ РК, 2009. - Вып. 3. - С. 127 - 133.
4. Михайлова, Н.Н. Сравнение калибровочных взрывов Омега-2 и Омега-3 по сейсмическим данным на региональных расстояниях / Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2002. – вып.2. – С.36 – 45.

**ОШАҚТАРДЫҢ МЕХАНИЗМДЕРІ ЖАРЫЛЫСТАРДЫ ТАҢУ КРИТЕРИЙІ РЕТІНДЕ**

**Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.**

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Қазақстан аумағында жүргізілген және тіркелген өнеркәсіптік, калибрлік және ядролық жарылыстардың үлгісінде сейсмикалық оқиғаның тегін таңу үшін ошақтардың механизмдерін пайдалану мүмкіншіліктерін бағалауы жүргізілген. Р-толқындардың бірінші түсулері мен ошақтардың механизмдері бойынша таңу критерийі әмбебап болып табылмайтыны анықталған.

**FOCAL MECHANISMS AS DISCRIMINATING CRITERION**

**N.N. Mikhailova, N.N. Poleshko**

*RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

Records of industrial, calibration and nuclear explosions conducted in Kazakhstan were used to estimate applicability of focal mechanisms to discriminate nature of a seismic event. It was concluded that discriminating criterion by P-wave arrivals and focal mechanisms is not universal.