

УДК 550.344

## СОПОСТАВЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ МОЩНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ БУРЛЫКИЯ, УЧТЕРЕК И КАМБАРАТА

Аристова И.Л., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н.

*Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

Проведено сравнение кинематических и динамических характеристик сейсмических записей трех крупных промышленных взрывов на территории Центральной Азии: Бурлыкья (1975), Учтерек (1986), Камбарата-2 (2009). Для них построены индивидуальные и сводный региональный годографы продольных и поперечных волн. Протестирована региональная магнитудная калибровочная кривая для Северного Тянь-Шаня. Показано, что сейсмический эффект взрыва Камбарата-2 значительно меньше, чем у взрывов Бурлыкья и Учтерек. Сделаны предположения о возможных причинах установленного различия.

На территории Центральной Азии созданы и успешно функционируют региональные сейсмические сети станций, оснащенных цифровыми широкополосными сейсмометрами. Цифровые сети начали свою работу сравнительно недавно: в Кыргызстане – KNET (с 1991 г.), KRNET (с 2007 г.), в Казахстане – KazNET (с 1994 г.), СОМЭ МОН РК (с 2000 г.), в Таджикистане – TJNET (с 2005 г.). Станции этих сетей расположены на огромной территории - от Казахской платформы на севере до Памира на юге, - и в различных геолого-тектонических условиях. Для совместного использования данных этих сетей в задачах мониторинга необходимо проведение сейсмической калибровки станций, изучение скоростных характеристик геологической сре-

ды, построение региональных годографов, а также уточнение магнитудных калибровочных кривых.

Для сейсмической калибровки региональных сетей идеально подходят записи сильных химических взрывов с известными параметрами. Такие взрывы проводятся нечасто, поэтому важно в полной мере использовать результаты их регистрации. В советское время на территории Центральной Азии был произведен ряд сильнейших химических взрывов [1 - 3]. Для настоящего исследования выбраны сейсмические записи двух мощных взрывов в районе Токтогула: Бурлыкья 8 февраля 1975 г. мощностью 702 т, Учтерек 11 июня 1989 г. мощностью 1623 т, - а также недавний двойной взрыв Камбарата 22 декабря 2009 г. мощностью 700 и 2160 т (рисунки 1 и 2).

В таблице 1 приведены параметры взрывов [1, 4, 5].



Рисунок 1. Взрыво-набросная плотина на р. Учтерек.  
Высота плотины 47 м



Рисунок 2. Камбаратинская ГЭС-2. Опытный взрыв

Таблица 1. Параметры взрывов

Название взрыва	Дата	Время	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	mб	Мощность заряда, т	Кол-во зарядов	Кол-во станций	Диапазон расстояний, км
Бурлыкья	08.02.1975	06:59:59.3	41.52	73.14	4,2	702	5	28	135 - 2500
Учтерек	11.06.1989	06:59:48.4	41.644	73.289	4,9	1623	2	22	120 - 1598
Камбарата	22.12.2009	05:54:33.6	41.7747	73.3312	4,4	2860	2	70	0.256 - 2503

**СОПОСТАВЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ МОЩНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ БУРЛЫКИЯ, УЧТЕРЕК И КАМБАРАТА**

Взрывы Бурлыкья и Учтерек проведены в Токтогульском районе Киргизской ССР в непосредственной близости от места строительства плотин Камбаратинских ГЭС в целях обоснования проектов создания плотин и проведения работ по изучению сейсмозффекта от взрывов непосредственно в районе строительства. Для размещения крупномасштабного опытного взрыва Учтерек, направленного на возведение взрывонабросной плотины, были пройдены две штольни длиной 92 и 145 м. Взрывы произведены на удалении менее 30 км от предполагаемого места возведения плотин Камбаратинских ГЭС.

**СИСТЕМА СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ  
И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Взрывы Бурлыкья и Учтерек были зарегистрированы большим количеством аналоговых станций, укомплектованных сейсмометрами СКМ и СКД, КСЭ, РВЗТ [6]. Сейсмограммы этих взрывов отобраны из архивов различных организаций, оцифрованы и переведены в современный формат CSS3.0 (Center for Seismic Studies v.3.0), предусмотренный для хранения и обработки данных. Кроме того, по взрыву Учтерек были доступны записи цифровых широкополосных станций (IRIS IDA) на региональных расстояниях. Взрыв Камбарата-2 зарегистрирован большим количеством современных цифровых сейсмических станций. На рисунке 3 приведены системы наблюдений для каждого взрыва.

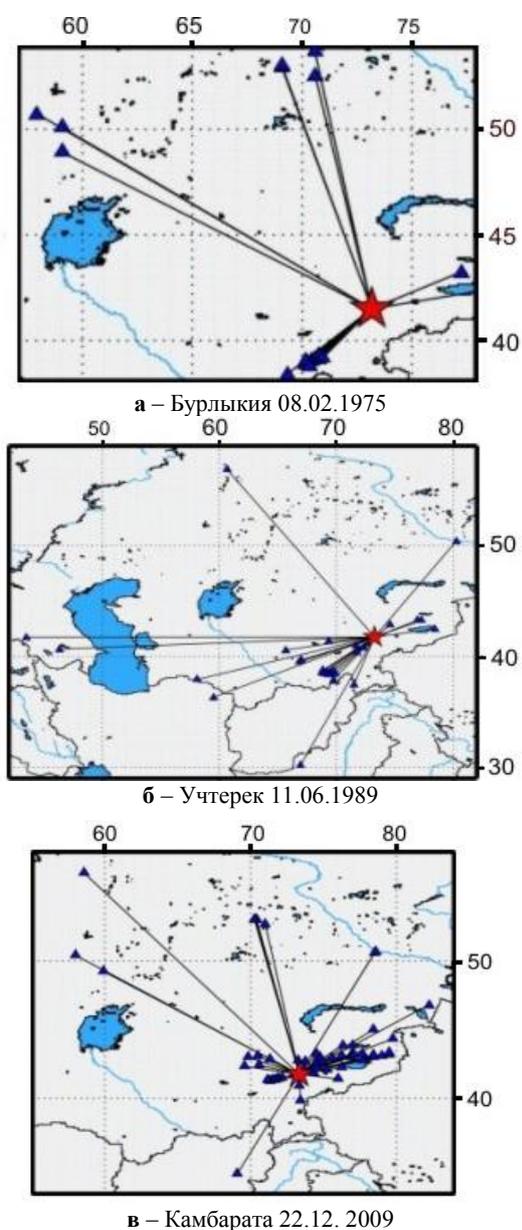


Рисунок 3. Системы наблюдения взрывов

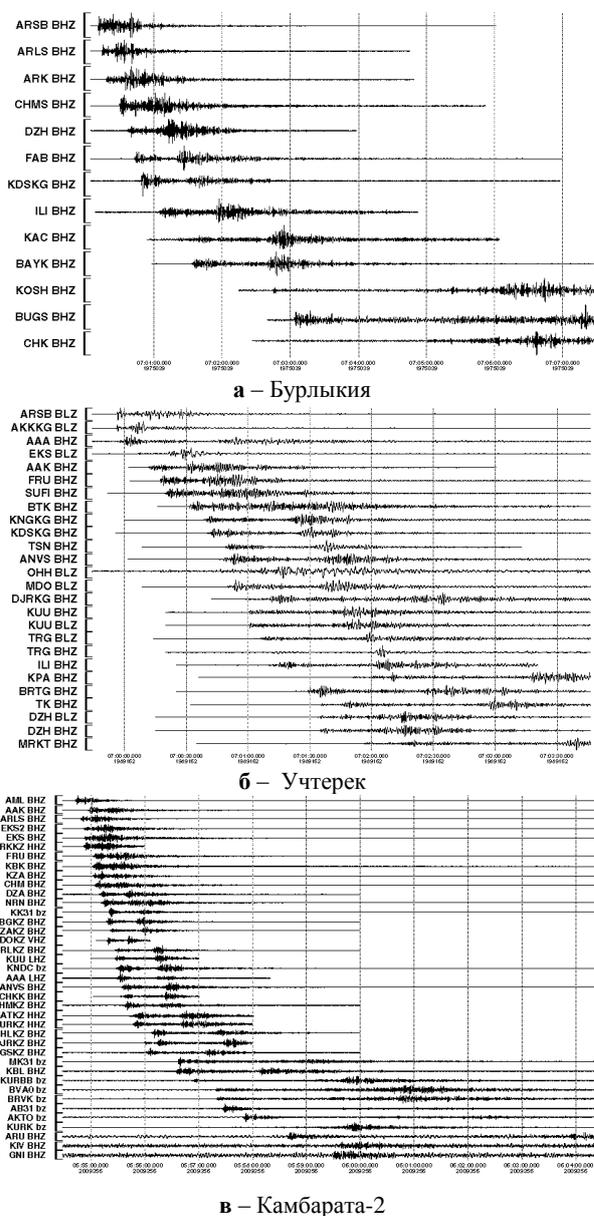


Рисунок 4. Сейсмограммы взрывов (Z-компонента)

Всего отобрано и обработано 120 сейсмических записей, зарегистрированных станциями, расположенными на локальных и региональных расстояниях от взрывов. Примеры сейсмограмм для каждого из трех взрывов приведены на рисунке 4. По взрывам Бурлыкья и Учтерек даны оцифрованные аналоговые записи из архивов ИС НАН КР, СОМЭ МОН РК и КСЭ ИФЗ РАН; по взрыву Камбарата - записи цифровых сейсмических станций сетей KazNET, KNET, KRNET, IRIS/IDA и СОМЭ МОН РК.

**МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЗАПИСЕЙ**

Определены времена вступлений в группах продольных и поперечных волн. При этом записи аналоговых станций обеспечивали меньшую точность, чем записи цифровых станций, поскольку на аналоговых лентах точность определения времен вступлений существенно зависит от скорости развертки сейсмограммы, типа регистрирующей аппаратуры, а также от точности привязки к единому времени. Для правильной интерпретации волновой картины на аналоговых сейсмограммах предварительно рассчитаны эпицентральные расстояния на основании данных о координатах источников взрывов и регистрирующих станций. Определение времен вступлений проведено для конкретных вступлений, отмечаемых на записях. Составлены таблицы времен вступлений всех четко выделенных фаз отдельно по каждому типу аппаратуры для данной станции. Наряду с данными аналоговых станций, для построения годографа были использованы сейсмические бюллетени глобальных сейсмологических сетей (<http://www.isc.ac.uk>).

Замеры динамических параметров по сейсмограммам аналоговых станций проведены только для оцифрованных сейсмограмм, зарегистрированных приборами СКМ, с учетом их амплитудно-частотных характеристик (АЧХ). Для проведения замеров по цифровым записям, предварительно проведена фильтрация записей с использованием фильтра СКМ.

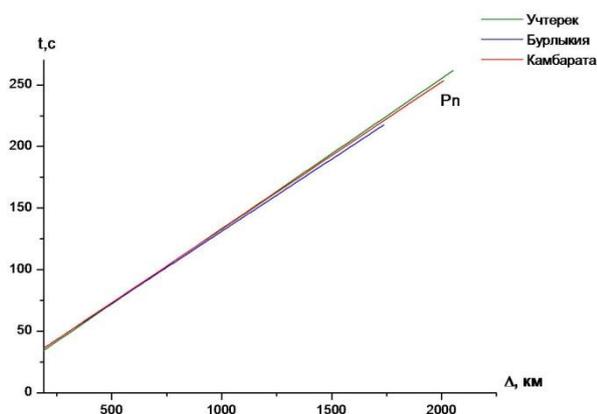


Рисунок 5. Годограф волны Pn для взрывов в районе Токтогула

**ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ ВОЛНОВЫХ ГРУПП НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ**

По результатам замеров рассчитаны времена пробега основных региональных фаз и построены годографы. На рисунке 5 приведены годографы Pn - волны для каждого из взрывов.

Из рисунков 5, 6 видно, что, несмотря на то, что для замеров кинематических параметров исторических взрывов использованы аналоговые записи, точность замеров оказалась достаточно высокой - годографы для разных взрывов практически совпали. То же самое наблюдается и для других региональных фаз. В связи с этим сделан вывод о перспективности совместного использования данных по разным взрывам. Для каждой региональной фазы по записям 3-х взрывов рассчитаны уравнения линейной регрессии (рисунок 6):

$$t(Pn) = 10.86 + 0.12 * \Delta \text{ (коэф. корреляции } R=0.999) \quad (1)$$

$$t(Pg) = 0.57 + 0.17 * \Delta \text{ (коэф. корреляции } R=0.999) \quad (2)$$

$$t(Sn) = 16.91 + 0.21 * \Delta \text{ (коэф. корреляции } R=0.998) \quad (3)$$

$$t(Lg) = 0.91 + 0.29 * \Delta \text{ (коэф. корреляции } R=0.999) \quad (4)$$

Здесь: t (с) – время пробега соответствующей волны, Δ (км) – эпицентральное расстояние.

Проведено сравнение между собой годографа, построенного по записям химических взрывов в районе Токтогула, годографа для территории Казахстана, построенного по записям калибровочных взрывов 1997 - 2000 гг. Михайловой Н.Н. и др., [7], годографа для территории Кыргызстана, построенного Сабитовой Т.М. [8]. Проведено сравнение этих экспериментальных годографов с годографом IASPEI91 [9]. Все годографы показали достаточно хорошее согласие между собой.

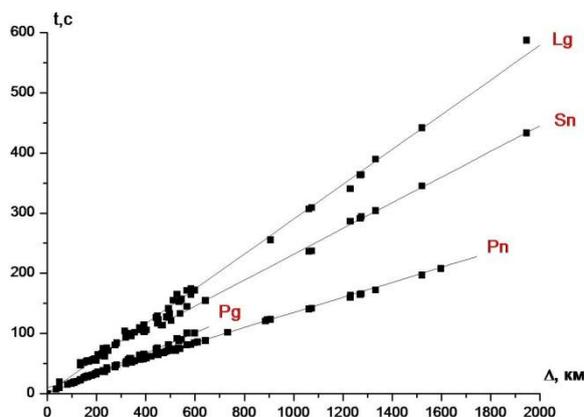
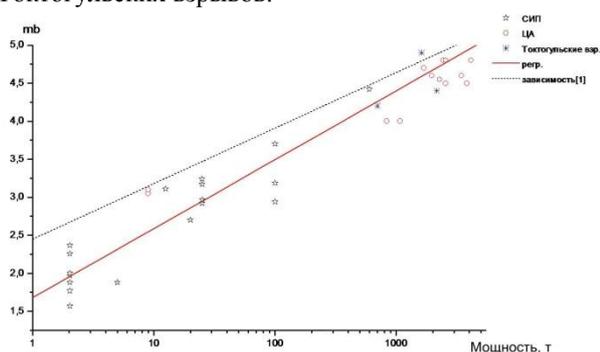


Рисунок 6. Сводные годографы основных региональных фаз для взрывов Бурлыкья, Учтерек и Камбарата

**СОПОСТАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ВЗРЫВОВ**

Изучение динамических параметров химических взрывов имеет важное значение для таких задач, как определение мощности в тротиловом эквиваленте взрыва по сейсмическому эффекту, оценка воздействия на сооружения, планирование калибровочных взрывов, а также для задач обнаружения несанкционированных подземных ядерных взрывов и др. Экспериментально установлено [4, 10, 11], что отношение к очагу энергия сейсмических волн  $E_c$ , возбуждаемых взрывом, зависит от упругих и поглощающих свойств горных пород, вмещающих взорванный заряд, и характеризуемых скоростью продольных волн  $v_p$ , плотностью  $\rho$ , пористостью и водонасыщенностью. При взрывах зарядов равной мощности, помещенных в штольни/скважины одного и того же размера, но пройденных в различных горных породах, энергия сейсмических волн тем больше, чем больше скорость волн и плотность вмещающих горных пород, а также их водонасыщенность. Кроме того, важную роль при этом играет глубина заложения заряда [10]. В [11] проведен детальный анализ сейсмических эффектов двух 100-тонных калибровочных взрывов: Омега-2 (1999 г.) и Омега-3 (2000 г.), - проведенных на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) в одной и той же штольне горного массива Дегелен. Авторами показано, что сейсмическая энергия второго взрыва была значительно меньше, чем первого, что связано с влиянием разрушенности геологической среды. На рисунке 7 приведена построенная зависимость магнитуды от мощности исследовательских и калибровочных взрывов на СИП 1961 - 2002 [1, 3, 4, 10, 11], промышленных и исследовательских взрывов в Центральной Азии, а так же Токтогульских взрывов.



Звездочка – калибровочный химический взрыв на СИП 1961 - 2002 гг. Кругок – сильный промышленный/исследовательский взрыв на территории Центральной Азии. Крестик – Токтогульский взрыв. Линии: красная - регрессии, пунктирная – регрессии для СИП [1]

Рисунок 7. Зависимость магнитуды  $m_b$  от мощности взрывов

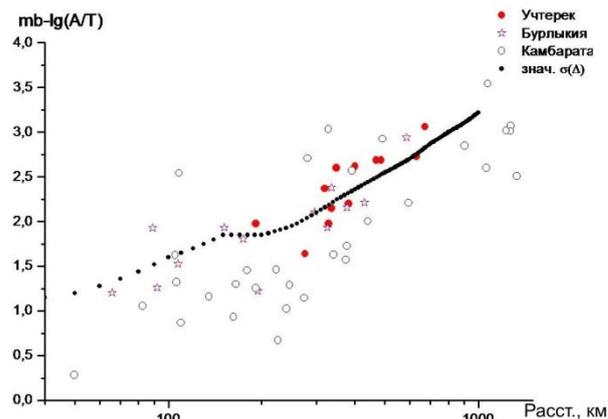


Рисунок 8. Зависимость  $\sigma(\Delta)$  для Токтогульских взрывов и региональная калибровочная кривая [12]

Из рисунка 7 видно, что сейсмический эффект взрыва Бурлыкья хорошо согласуется с данными других взрывов региона. У взрыва Учтерек сейсмический эффект оказался выше, а у Камбараты – ниже по отношению к предсказанному средней зависимостью (рисунок 7). По аналогии с взрывами Омега-2 и Омега-3 на СИП [11] этот факт может быть объяснен рядом причин. Во-первых, разрушенностью геологической среды Камбаратинского взрыва после первого взрыва. Во-вторых, взрыв Камбарата-2 был произведен на выброс, что также повлияло на снижение сейсмического эффекта. Имеется информация о том, что в результате взрыва произошла активизация тектонического разлома “Южный”, расположенного к югу от места проведения взрыва [13]. Взрывом было инициировано движение вдоль разлома, аналогичное землетрясению, на что ушла часть энергии (подобный эффект наблюдался при взрыве Омега-3).

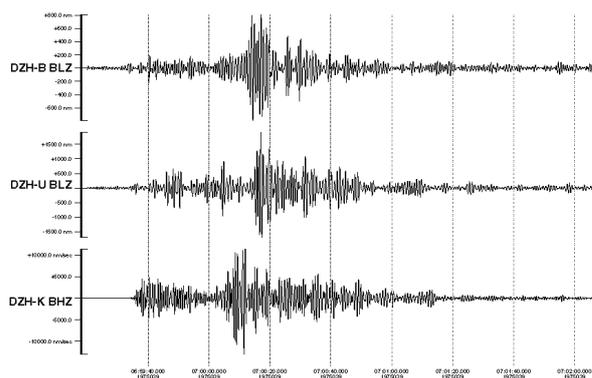


Рисунок 9. Волновые формы Токтогульских взрывов, сверху вниз: Бурлыкья, Учтерек и Камбарата-2. Станция Джамбул, z-компонента, фильтр 1.25 Гц

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Для взрывов Бурлыкя (1975 г.), Учтерек (1989) и Камбарата-2 (2009) в районе Токтогула получены и исследованы кинематические и динамические параметры записей, построены индивидуальные и сводный региональный годографы. Эти данные могут быть использованы для построения единого регионального годографа и скоростной модели для обработки данных по Центральной Азии в региональном центре.

Кинематические характеристики записей по разным взрывам показали хорошее согласие. Но в динамических параметрах наблюдается четкая специ-

фика каждого взрыва. Показано, что сейсмический эффект взрыва Камбарата-2, оказался ниже ожидаемого, а взрыва Учтерек - значительно выше. Соотношение энергии в разных сейсмических фазах также различно.

Протестирована региональная магнитудная калибровочная кривая для Северного Тянь-Шаня, используемая в практике обработки уже более 30 лет. Значение калибровочной функции хорошо согласуется с динамическими параметрами по большинству станций исторических взрывов Учтерек и Бурлыкя. Однако обнаружены существенные отклонения от нее в диапазоне 200 - 300 км для взрыва Камбарата.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Khalturin, V.I. The Seismic Signal Strength of Chemical Explosions / V.I. Khalturin, T.G. Rautian, P.G. Richards // BSSA, December 1998. - Vol.88, № 6. - P. 1511 - 1524.
2. Adushkin, V. Degelen Mountain chemical explosion cratering experiment / V. Adushkin, L. Pernik,, A. Spivak // Technical Report. Institute for Dynamics of the Geospheres, 1997. - No 97-3011 to DSWA. - 110 p.
3. Given, H.K. High-frequency seismic observation in Eastern Kazakhstan, USSR, with emphasis on chemical explosion experiments / H.K. Given, N.T. Tarasov, V.V. Zhuravlev, F.L. Vernon, J. Berger and I.L. Nersesov // J. Geophys. Res., 95. - P. 295 - 307.
4. Копничев, Ю.Ф. Сопоставление сейсмических эффектов ядерных и химических взрывов / Ю.Ф. Копничев, А. А. Спивак // Вулканология и сейсмология, 1997. - № 2. - С. 104 - 112.
5. Абдрахматов, К.Е. Развитие сейсмического мониторинга в Кыргызстане / К.Е. Абдрахматов, А.В. Березина // Вестник НЯЦ РК, 2010. - Вып. 3. - С. 17 - 23.
6. Аранович, З.И. Основные типы сейсмометрических приборов. / З.И. Аранович, Д.П. Кирнос, В.А. Токмаков и др. // Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. М.: Наука, 1974, с. 43 - 117.
7. Михайлова, Н.Н. Годограф сейсмических волн по результатам регистрации сигналов от химических взрывов / Н.Н. Михайлова, И.Л. Аристова, Т.И. Германова // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2001. - Вып 2. - С. 46 - 54.
8. Сабитова, Т.М. Строение земной коры Киргизского Тянь-Шаня по сейсмологическим данным // Фрунзе: Ил им, 1989. - 174 с.
9. IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP) Volume 1 Editor P. Bormann GeoForschungs Zentrum Potsdam 2002, print Werbedruck Schreckhase.
10. Михайлова, Н.Н. Определения энергетических и магнитудных характеристик по сейсмическим записям химических взрывов 1997 - 2000 г.г. на Семипалатинском полигоне / Н.Н. Михайлова, Т.И. Германова, И.Л. Аристова // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2001. - Вып. 2. - С. 93-97.
11. Михайлова, Н.Н. Сравнение калибровочных взрывов Омега-2 и Омега-3 по сейсмическим данным на региональных расстояниях / Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. - С. 36 - 45.
12. Михайлова, Н.Н. Калибровочная функция для определения магнитуды MPVA землетрясений Северного Тянь-Шаня / Н.Н. Михайлова, Н.П. Неверова // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. - Алма-Ата: Наука, 1983. - С. 41 - 47.
13. Брагин, В.Д. Сейсмические исследования эффектов, обусловленных мощным промышленным взрывом в районе Нарынского каскада гидроэлектростанций (Камбарата) / В.Д. Брагин // Вестник КРСУ, 2011. - Т. 11, N 4. - С. 97 - 103.

## **БҰРЛЫКИЯ, ҮШТЕРЕК ЖӘНЕ ҚАМБАРАТА КҮРДЕЛІ ХИМИЯЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ СЕЙСМКАЛЫҚ ЖАЗБАЛАРЫНЫҢ КИНЕМАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ДИНАМИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН САЛЫСТЫРУ**

**Аристова И.Л., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н.**

*ҚР ҰҰО Геофизикалық зерттеудер институты, Курчатов, Қазақстан*

Орталық Азия аумағында: Бурлыкя (1975), Үштерек (1986) және Камбарата-2 (2009) үш ірі өнеркәсіптік жарылыстардың сейсмикалық жазбаларының кинематикалық және динамикалық сипаттамаларын салыстыру жүргізілген, олар үшін кума және көлденең толқындардың дербес және жинақы аумақтық годографтары салынған. Солтүстік Тянь-Шань үшін аумақтық магнитудалық калибрлік қисығы тестіленген. Камбарата-2 жарылыстың сейсмикалық әсері Бұрлыкя және Үштерек жарылыстардан едәуір төмен болуы көрсетілген. Бұл айырмашылықтың ықтимал себептері туралы болжам жасалған.

**COMPARISON OF KINEMATIC TO DYNAMIC PARAMETERS FROM SEISMIC  
RECORDS OF LARGE CHEMICAL EXPLOSIONS BURLYKIYA, UCHTEREK AND KAMBARATA**

**I.L. Aristova, N.N. Michailova, I.N. Sokolova**

*Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

Comparison of kinematic and dynamic characteristics of seismic records from three large industrial explosions in North Tien-Shan has been performed. These are Burlykiya (1975), Uchterek (1986) and Kambarata-2 (2009) with distinct and composite regional travel-time curves for P-waves and S-waves. Regional magnitude calibration curve for the North Tien Shan was tested. It was determined that seismic effect from kambarata-2 was noticeably less than from explosions at Burlykiya and Uchterek. There were assumptions made of possible reasons for these differences.