

УДК 550.34.06

Көмекбаев Д.К., Аристова И.Л., Сейнасинов Н.А.  
Филиал «Институт геофизических исследований» НЯЦ РК,  
г. Алматы, Республика Казахстан

### ПОСТРОЕНИЕ ГОДОГРАФА ДЛЯ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА ПО ЗАПИСЯМ ВЗРЫВОВ

**Аннотация.** Для района Южного Казахстана построен региональный годограф основных сейсмических фаз по данным регистрации мирных ядерных взрывов и химических взрывов с хорошо известными параметрами. Для построения годографа были использованы исторические сейсмограммы мирных ядерных взрывов Меридиан2, Меридиан3, Урта-Булак, Памук и Кратер из архива КСЭ ИФЗ РАН, диапазон эпицентральных расстояний составил 350 - 4500 км. Для эпицентральных расстояний 80-940 км для построения годографа использовались записи взрывов боеприпасов в районе города Арысь 2019 г. и Тараз 2021 г., зарегистрированные станциями сети ИГИ НЯЦ РК и СОМЭ МОН РК. Новый годограф будет использован для уточнения параметров сейсмических событий из района Южного Казахстана.

**Ключевые слова:** годограф, мирный ядерный взрыв, сейсмограмма, эпицентральное расстояние.

### ЖАРДЫРУУЛАРДЫ ЖАЗЫП АЛУУЛАР БОЮНЧА ТҮШТҮК КАЗАКТАН ҮЧҮН ГОДОГРАФТЫ ТҮЗҮҮ

**Кыскача мазмуну.** Түштүк Казакстан аймагы үчүн жакшы белгилүү болгон параметрлери бар тынчтык ядролук жардырууларды жана химиялык жардырууларды каттоонун маалыматтары боюнча негизги сейсмикалык фазалардын аймактык годографы түзүлдү. Годографты түзүү үчүн РИА ФЗИ КСЕ архивинен алынган Меридиан2, Меридиан3, Урта-Булак, Памук жана Кратер тынчтык ядролук жардыруулардын тарыхий сейсмограммалары колдонулган, эпиборбордук аралыктар диапозону 350-4500 км түзгөн. 80-940 км эпиборбордук аралыктар диапозону үчүн годографты түзүү үчүн 2019-ж. Арысь шаарынын жана 2021-ж. Тараздын аймагындагы ок-дарылардын жарылууларын КазР УЯБ ГИИ жана КазР БИМ СОМЭ түйүндөрүнүн станциялары каттаган жазып алуулар пайдаланылды. Жаңы годограф Түштүк Казакстан районунан алынган сейсмикалык параметрлерди тактоо үчүн пайдаланылмакчы.

**Негизги сөздөр:** годограф, тынчтык ядролук жардыруу, сейсмограмма, эпиборбордук аралык.

### TRAVEL-TIME CURVE CONSTRUCTION FOR THE SOUTH KAZAKHSTAN BY EXPLOSIONS RECORDS

**Abstract.** For the South Kazakhstan region, the regional travel-time curve of the main seismic phases was created on the base of data of the peaceful nuclear explosions records and chemical explosions having well-known parameters. For the travel-time curve creation, the historical seismograms of peaceful nuclear explosions Meridian2, Meridian3, Urta-Bulak, Pamuk and Krater were taken from the archive of CSE IPE RAS; epicentral distance range is 350-4500 km. For epicentral distances 80-940 km, for the travel-time curve creation, the records of ammunition explosions occurred at Arys town in 2019 and in Taraz town in 2021 recorded by the IGR NNC RK and SEME MES RK networks were used. The new travel-time curve will be used to precise the parameters of seismic events from the south Kazakhstan region.

**Keywords:** time-travel curve, peaceful nuclear explosion, seismogram, epicentral distance.

## Введение

Территория Южного Казахстана характеризуется высокой плотностью населения, здесь расположены мегаполис Шымкент с населением более 1 млн человек, крупные города Тараз, Туркестан и др. В Южном Казахстане наблюдается высокий уровень сейсмической активности. Здесь в прошлом наблюдались землетрясения с интенсивностью 6-8 баллов [1]. В связи с этим, мониторинг сейсмичности этого района, оценка сейсмической опасности является очень важной задачей [2, 3]. Для корректного определения местоположения эпицентров сейсмических событий, а, следовательно, уточнения уровня сейсмической опасности, снижения сейсмического риска необходимо иметь в районе исследований хорошую сейсмическую сеть наблюдений, а также подходящую скоростную модель для локализации событий. Сейсмические наблюдения района имеют длительную историю, так сейсмическая станция «Ташкент» начала свою работу с 1901 г., станция «Чимкент» с 1934 г. и т.д. В настоящее время в районе находится большое количество цифровых сейсмических станций СОМЭ МОН РК, кроме того доступны данные сейсмических станций Кыргызстана. Важным событием в развитии сети наблюдений Южного Казахстана стало открытие в 2002 г. малоапертурной сейсмической группы «Каратау» [2, 3]. СГ «Каратау» (ККАР) отличается очень хорошими условиями для регистрации сейсмических сигналов среди всех казахстанских станций, характеризующимися низким уровнем сейсмических шумов в районе расположения. В связи с этим ККАР обладает высокой эффективностью, так в радиусе до 200 км – представительная магнитуда  $m_{v_{пред}}=1.57$ , для эпицентральных расстояний до 500 км  $m_{v_{пред}}=2.15$ , а до 1000 км  $m_{v_{пред}}=2.84$ . Для рутинной обработки СГ «Каратау» в настоящее время используется годограф IASPEI91, построенный для всего земного шара. Анализируя эллипсы ошибок локализации по СГ «Каратау» (медиана  $S_{max}=34.12$  км,  $S_{min}=14.87$  км) и невязки по времени (медиана  $st_{ime}=3.35$  с) в районе Южного Казахстана и прилегающем районе Тянь-Шаня, возникает вопрос: возможно ли улучшить качество локализации сейсмических событий. Один из путей снижения ошибок локализации землетрясений и взрывов — это подбор подходящей скоростной модели и калибровка сейсмической станции. Для построения локальных и региональных годографов целесообразно использовать эталонные события, это могут быть антропогенные взрывы, ядерные или химические, с хорошо известными параметрами [5-7], а также землетрясения с хорошо известными параметрами.

В районе Южного Казахстана и соседних стран Средней Азии в Советское время проведены 5 мирных ядерных взрывов: Меридиан2, Меридиан3, Урта-Булак, Памук, Кратер [8, 9], их записи, а также записи эталонных химических взрывов могут быть использованы для построения годографа для района Южного Казахстана и прилегающих территорий.

## Основные характеристики СГ «Каратау»

Сейсмическая группа «Каратау» построена в соответствии с «Соглашением между Республикой Казахстан и Соединенными Штатами Америки об установке и эксплуатации в Казахстане станций сейсмического мониторинга ядерных испытаний» от 18.11.1997 г., а также в рамках контракта ИГИ НЯЦ РК с компанией «Honeywell», Air Force Technical Applications Center (АФТАС) в Южном Казахстане [3]. Сейсмическая группа «Каратау» состоит из 10 точек наблюдения, расположенных по двум окружностям с одной центральной точкой (рисунок 1). Сейсмическая группа «Каратау» находится в 90 км к западу от г. Тараз и в 8-10 км от г. Каратау, являющегося районным центром Таласского района Жамбылской области Казахстана. Элементы сейсмической группы расположены в долине Арбатас, которая с севера ограничена горами Актау и

Булттытун, с востока горами Жетимшоқы, с запада и юго-запада - горами Каратау. Благодаря удачному географическому расположению, использованию высокочувствительной аппаратуры, установленной в скважинах, станция обладает низким уровнем сейсмического шума, что обеспечивает её высокую эффективность в работах как по региональному, так и глобальному сейсмическому мониторингу [4].

Построение годографа для района размещения сейсмической группы позволит откалибровать её и значительно улучшить качество сейсмического бюллетеня. Для построения регионального годографа, а также для изучения строения литосферы, перспективно использовать сейсмические записи взрывов как ядерных, так и химических, с хорошо известными параметрами [5-7]. В Южном Казахстане и соседних республиках Средней Азии в советское время были проведены 5 мирных ядерных взрывов 1966-1973 гг. [8, 9].

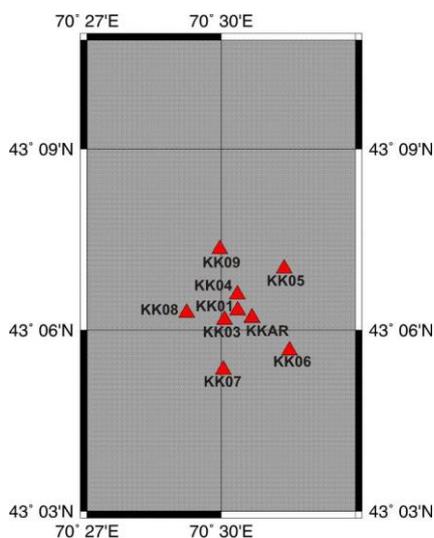


Рисунок 1. Схема расположения элементов малоапертурной группы «Каратау».

### Система наблюдения и использованные материалы

В эпоху Советского Союза было проведено большое количество ядерных испытаний в военных целях, большинство из них проводилось на испытательных полигонах - Семипалатинском испытательном полигоне и полигоне Новая Земля. Кроме военной программы, в 1965-1988 г. проводились мирные ядерные взрывы (МЯВ). Всего было проведено 124 МЯВ в интересах народного хозяйства и научных целях (из них 117 – вне границ ядерных полигонов) [9]. В Южно-Казахстанской области были проведены 2 МЯВ, Меридиан-2 и Меридиан-3, с целью сейсмозондирования. Оба взрыва были проведены в 1973 г. и имели мощность 6.3 Кт [8, 9] (рисунок 2, таблица 1). Для обоих взрывов в 2013, 2015 гг. в рамках договора между ИГИ и Мичиганским Государственным Университетом США были проведены работы по определению точной локализации мест проведения МЯВ на территории Казахстана [9].

Недалеко от Казахстана в Узбекистане и Туркмении были проведены МЯВ Урта-Булак, Рамук и Кратер с целью тушения газовых фонтанов (рисунок 2, таблица 1). На рисунке 3 приведены оцифрованные сейсмограммы, записанные сейсмическими станциями СССР.

Для обработки использовались аналоговые сейсмограммы, с записями промышленных ядерных взрывов, накопленные в архивах Комплексной сейсмологической экспедиции Института физики Земли Российской Академии наук

(ИФЗ АН СССР). На станциях была установлена аппаратура СКМ, СКД, РВЗТ и КСЭ [10].

Всего обработано 104 сейсмограммы МЯВ. Трассы от событий на станции пересекали Северную Евразию, диапазон эпицентральных расстояния для всех событий составляет  $\Delta = 350\text{км}$  (Тартку)  $\div$  4473 (Саскаль) (рисунок 4 (а)), на рисунке 4 (б) представлена гистограмма эпицентральных расстояний.

Таблица 1. Параметры взрывов, данные которых использовались для исследований.

Название МЯВ	Дата, г.м.д.	t0, ч.м.с.	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Глубина заложения заряда, м	Мощность, Кт	mb
Урта-Булак	1966-09-30	05:59:51.0	38.968	64.517	1532	30	5.5
Памук	1968-05-21	03:59:12.0	38.918	65.032	2440	47	6.11
Кратер	1972-04-11	06:00:01.9	37.350	62.050	1720	15	5.06
Меридиан-3	1973-08-15	02:00:00.0	42.77402	67.40685	610	6.3	5.73
Меридиан-2	1973-09-19	03:00:00.2	45.75876	67.82288	400	6.3	5.63

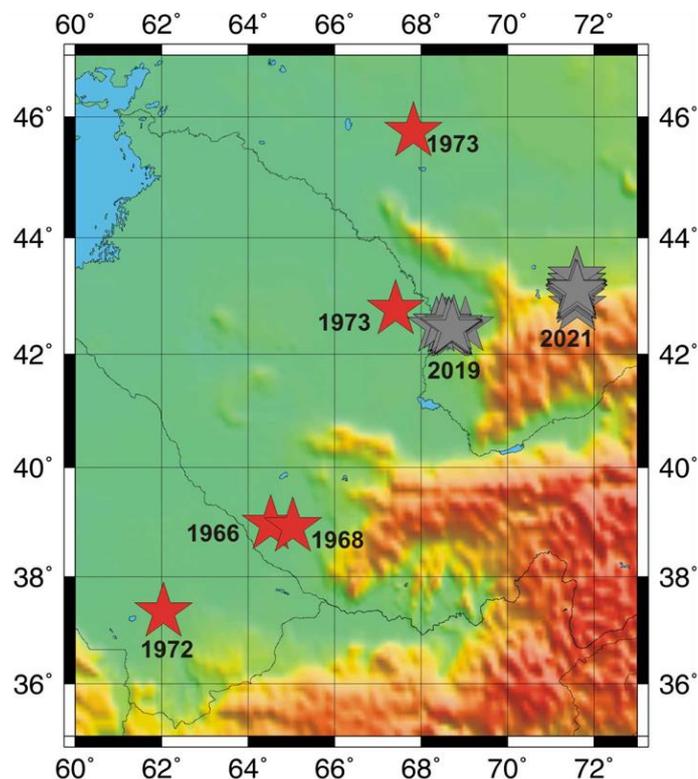
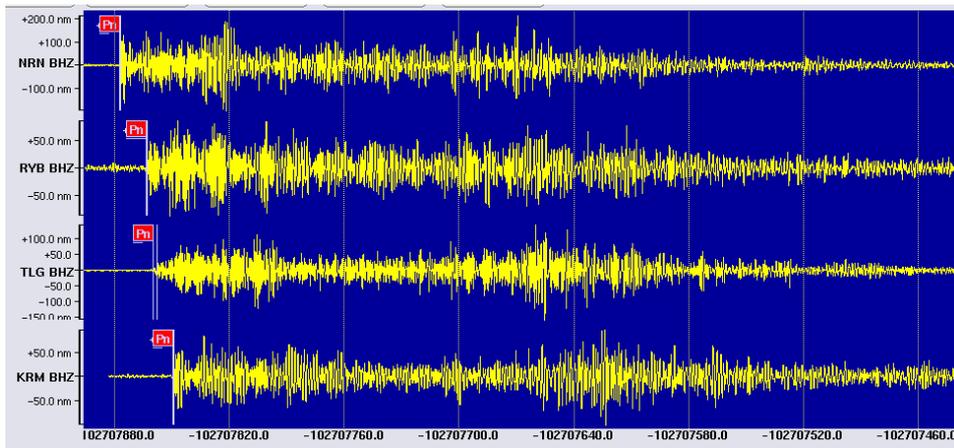
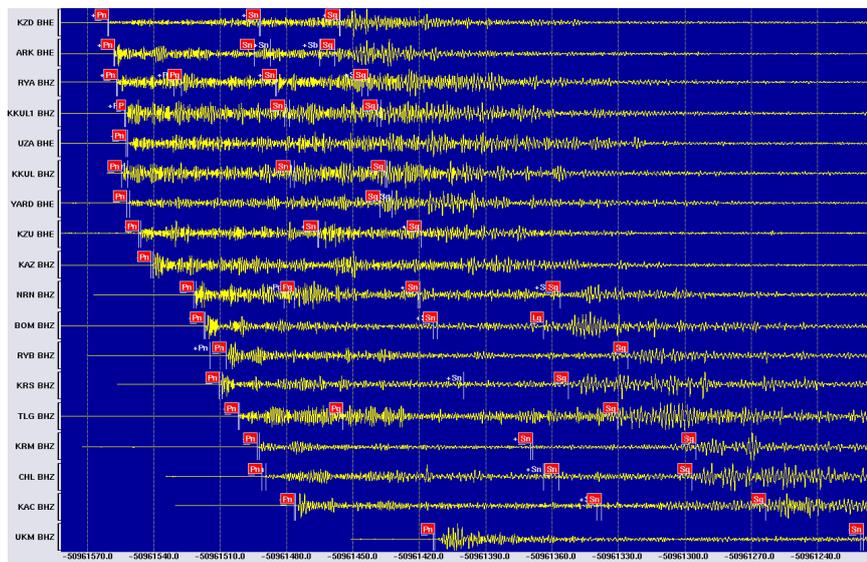


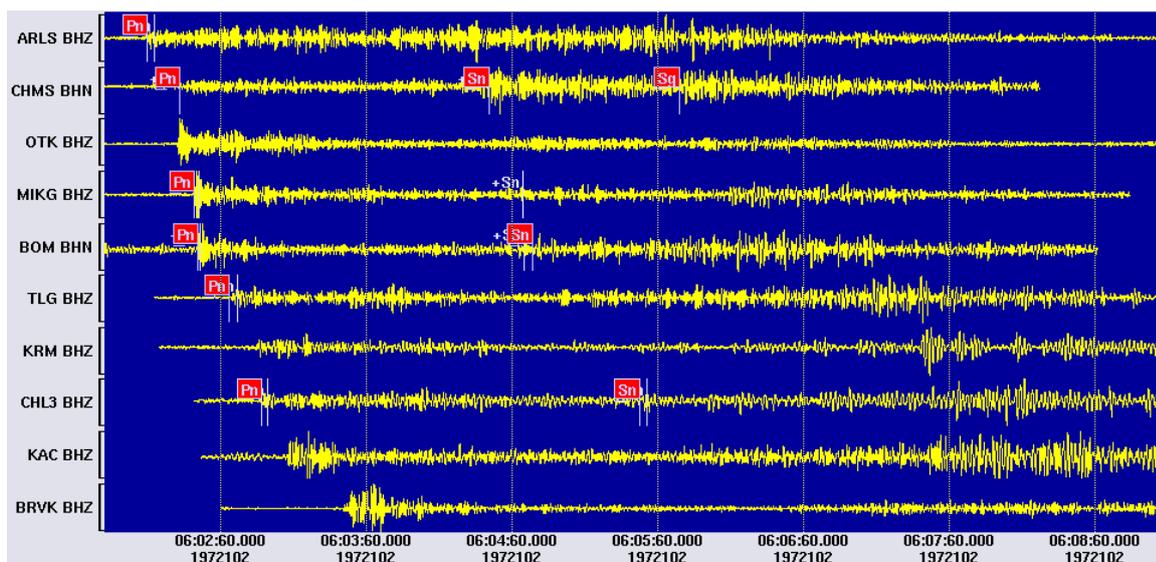
Рисунок 2. Карта расположения эпицентров МЯВ (красные звёздочки) и химических взрывов боеприпасов (серые звёздочки).



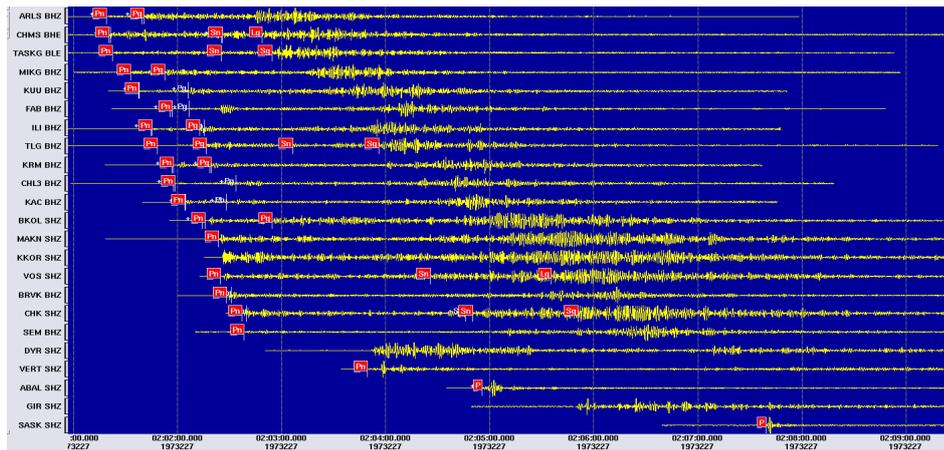
(a)



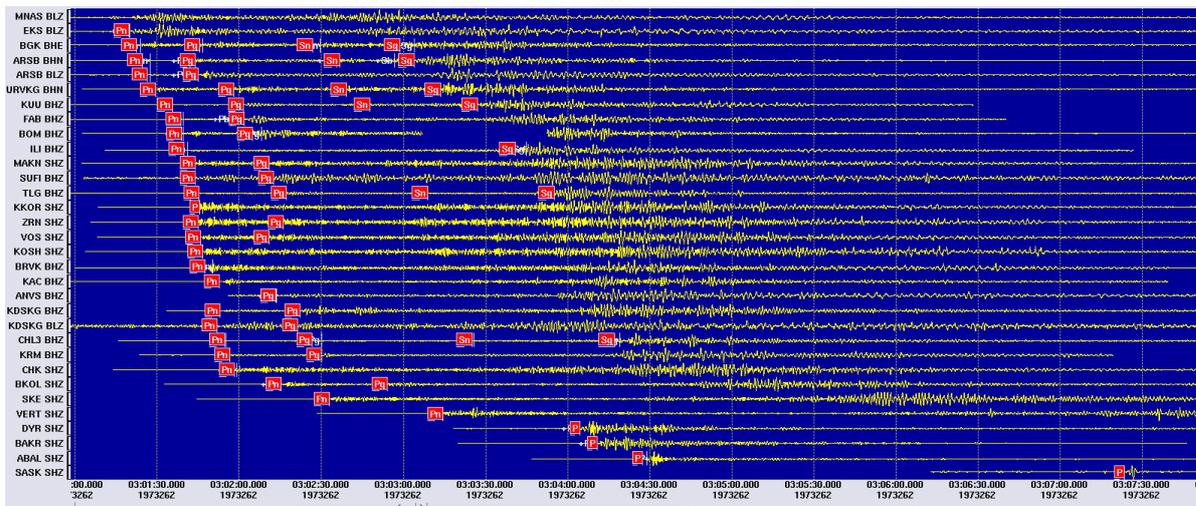
(b)



(B)



(г)



(д)

Рисунок 3. Сейсмические записи оцифрованных ядерных взрывов, зарегистрированных станциями на территории Советского Союза: а) Урта-Булак 1966 г.; б) Памук 1968 г.; в) Кратер 1972 г.; г) Меридиан-3 1973 г.; д) Меридиан-2 1973 г.

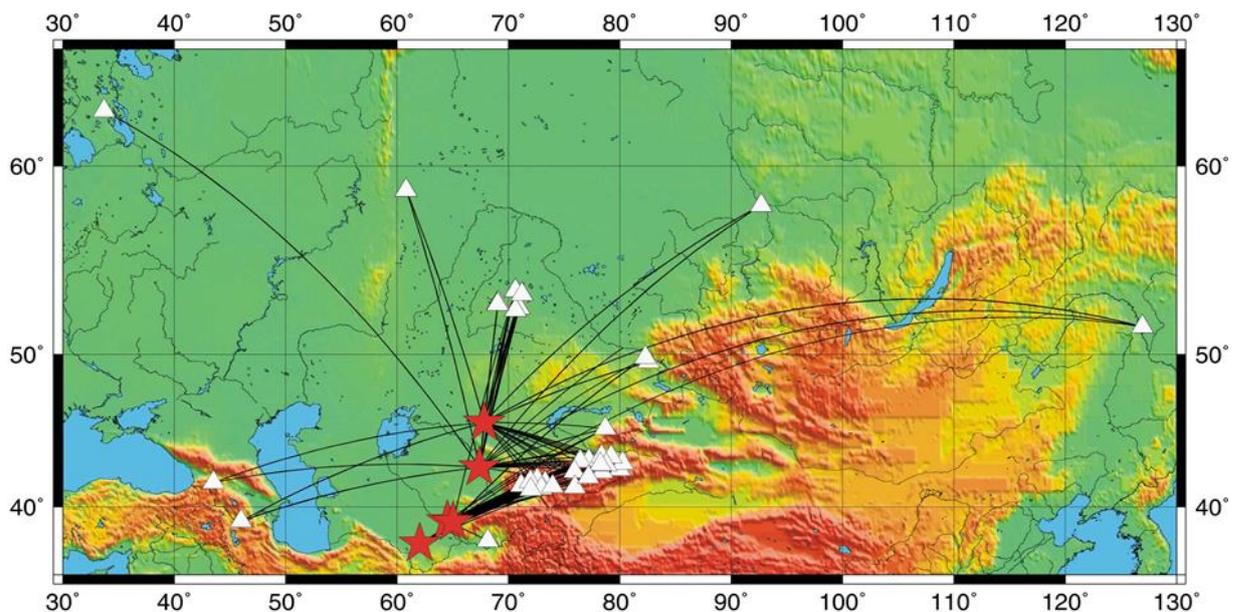


Рисунок 4 (а). Трассы от МЯВ (звёздочки) до станций (треугольники), зарегистрировавших эти события.

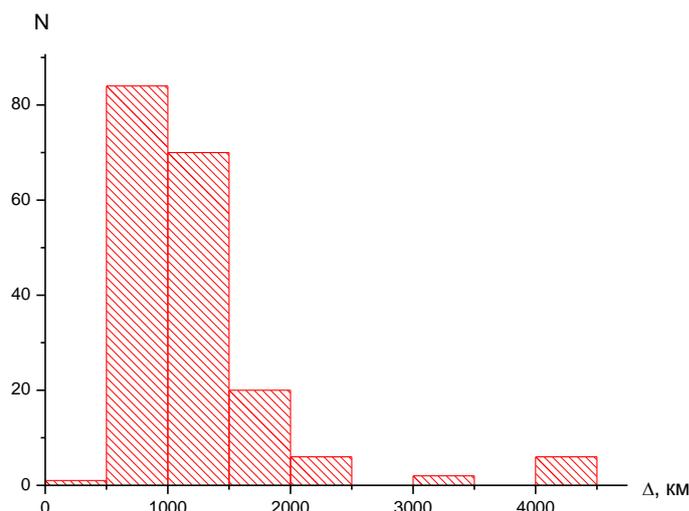


Рисунок 4 (б). Гистограмма эпицентральных расстояний от сейсмических станций для которых проводилась обработка по МЯВ.

Поскольку диапазон эпицентральных расстояний от станций до МЯВ составлял более 350 км, а в основном – более 500 км, необходимо обработать записи на более близких расстояниях. Для этой задачи были привлечены 2 серии взрывов боеприпасов в Южном Казахстане: 24/06/2019 г. и 23/08/2021 г. Эти взрывы были обработаны большим количеством цифровых сейсмических станций сетей ИГИ НЯЦ РК и СОМЭ МОН РК. Расстояние от первой серии взрывов до станции BRL ~85 км и до второй ККАР – 85 км (рисунок 2, 5). Всего обработано 223 сейсмограммы, диапазон эпицентральных расстояний  $\Delta = 85$  (ККАР) ÷ 940 (МКАР). Всего по данным станций ИГИ НЯЦ РК удалось зарегистрировать, обработать и локализовать более 30 взрывов для 1 серии 2019 г. и 25 взрывов для второй серии [11]. Почти 90% всех этих взрывов локализовано в радиусе  $\pm 5$  км от истинного местоположения эпицентров взрывов, то есть их можно использовать как GT5 [11].

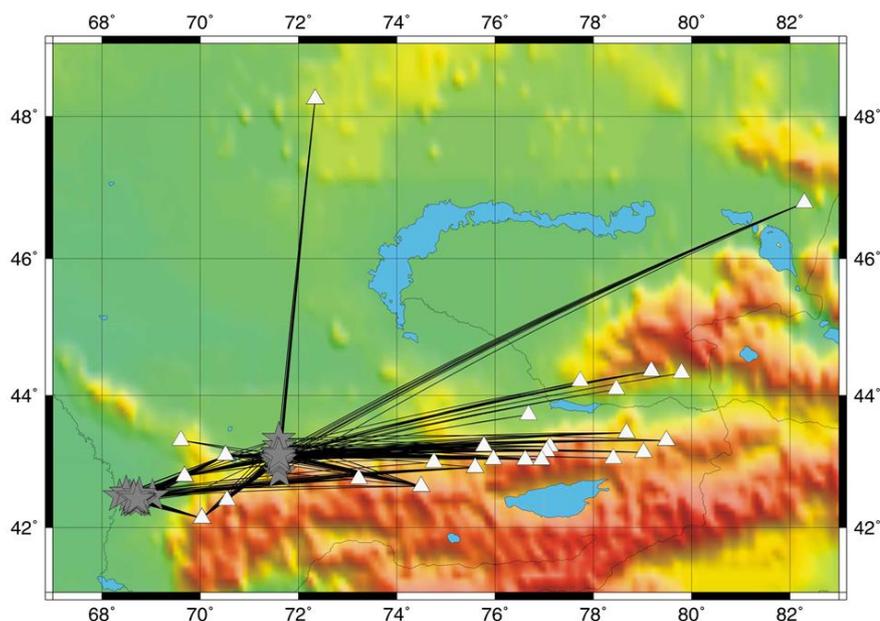


Рисунок 5 (а). Трассы от взрывов боеприпасов (звездочки) до станций (треугольники), зарегистрировавших эти события.

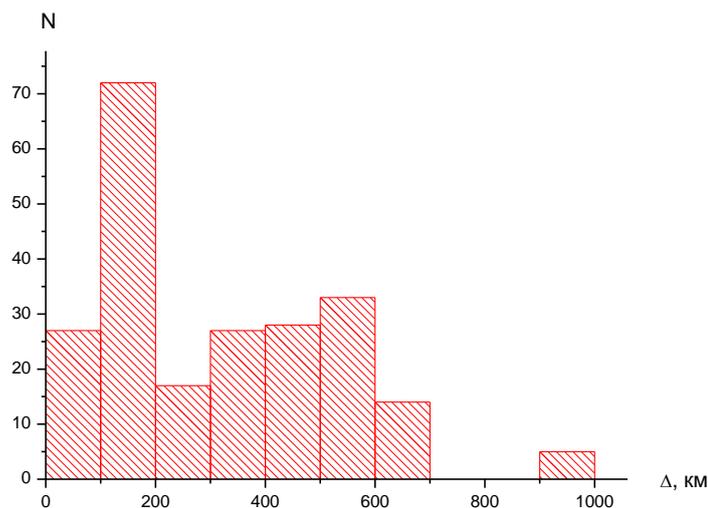


Рисунок 5 (б). Гистограмма эпицентральных расстояний от сейсмических станций ИГИ НЯЦ РК и СОМЭ МОН РК до взрывов боеприпасов в Южном Казахстане.

#### Методика обработки данных.

По архивным данным собраны сведения о координатах станций, времени их работы, типе аппаратуры и её характеристиках. Точность определения координат для разных станций оказалась различной, поскольку для их определения использовались приборы GPS, топографические карты разного масштаба, в некоторых случаях – географические карты.

Сейсмическая аппаратура на станциях была разного типа - приборы РВЗТ и КСЭ (сейсмоприемники СМ-2), СКМ, СКД [10]. Регистрация на каналах РВЗТ и КСЭ проводилась на простую бумагу чернильным способом, а на СКМ и СКД – на фотобумагу. Для приборов РВЗТ, СКМ и СКД регистрировались три компоненты сейсмических колебаний, для КСЭ – одна вертикальная компонента. Времена вступлений в группах продольных и поперечных волн на записях аналоговых станций определялись с меньшей точностью, чем для цифровой станции. Это связано с тем, что на аналоговых лентах точность определения времён вступлений существенным образом зависит от развёртки сейсмограммы, типа регистрирующей аппаратуры и чувствительности станции. Кроме того, невозможность частотной фильтрации также ухудшает качество обработки.

Для правильной интерпретации волновой картины на аналоговых сейсмограммах предварительно на основании данных о координатах взрывов и регистрирующих станций рассчитывались эпицентральные расстояния. Далее для ориентировки в типах сейсмических волн на данном эпицентральной расстоянии использовался годограф КСЭ. Этот годограф был составлен на основании материалов, полученных на профиле сейсмических станций, расположенных по профилю Памир – р. Лена.

Следует отметить, что узкополосные каналы типа КСЭ, РВЗТ и СКМ, записи которых были использованы, не дают возможности в полной мере проанализировать волновую картину. Они фильтруют входящий сейсмический сигнал в соответствии со своей характеристикой. На больших расстояниях записи искажены сильнее, поскольку спектр колебаний с расстоянием смещается в более длиннопериодную область, выходящую за полосу пропускания прибора. Волны S(Lg) характеризуются более длиннопериодными колебаниями, чем P- волны, поэтому при больших расстояниях их труднее выделить и часто даже невозможно это сделать правильно. По этой причине,

ошибки во временах вступлений для волн Sn и Lg значительно выше, чем для P- волн, разброс данных по поперечным волнам также значительно больше, чем для продольных.

Определение времен вступлений проводилось по конкретным вступлениям, отмечаемым на записях. Составлялись таблицы времен вступлений всех выделенных фаз по каждому типу аппаратуры для данной станции.

Записи взрывов боеприпасов обрабатывались с помощью программ DATASCOPE и dbpick.

### Построение годографов

На рисунке 6 представлены годографы основных сейсмических фаз для эпицентральных расстояний от 80 до 2500 км. Времена пробега основных региональных сейсмических фаз в зависимости от эпицентрального расстояния могут быть представлены следующими уравнениями, приведёнными в таблице 2. Следует отметить что для построения годографа использовались источники с глубинами  $h = 0 \div 2.5$  км. Он может быть использован для локализации локальных и региональных событий с небольшой глубиной. Для построения годографа ближней зоны можно использовать записи близких к сейсмической группе «Каратау» карьерных взрывов. Для этого необходимо провести ряд дополнительных исследований по поиску калибровочных взрывов в этом районе.

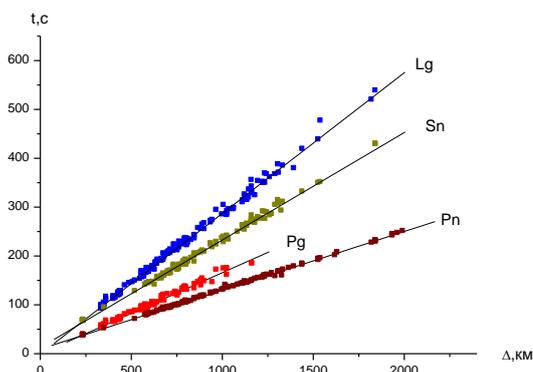


Рисунок 6. Сводный годограф по результатам регистрации калибровочных источников в Южном Казахстане.

Таблица 2. Уравнения годографов основных типов сейсмических волн.

Фаза	Расстояние, км	Время пробега	Скорость, км/с
P	10-250	$0.454+0.164*\Delta$	6.09
S	10-250	$1.538+0.284*\Delta$	3.52
Pn	250-2000	$9.470+0.120*\Delta$	8.33
Pg	250-2000	$-0.560+0.166*\Delta$	6.02
Sn	250-2000	$12.609+0.220*\Delta$	4.55
Lg	250-2000	$-0.814+0.287*\Delta$	3.48

### Выводы

1. Построен региональный годограф основных сейсмических фаз по данным регистрации мирных ядерных взрывов в районе Южного Казахстана и стран Средней Азии, а также взрывов боеприпасов в районе города Арысь 2019 г. и Тараз 2021 г. для диапазона эпицентральных расстояний от 80 до 2500 км.

2. Необходимо построить годограф для ближней зоны, для этого можно использовать записи близких карьерных взрывов.
3. Необходимо провести тестирование нового годографа и сравнение с другими годографами для этой территории.

### Литература

1. Сейсмическое районирование Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1979. – С. 140.
2. Mikhailova, N.N. Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan / N.N. Mikhailova, I.N. Sokolova // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre 2016 January-June. V 53. Issue 1, 2019, p. 27-38.
3. Марченко, В.Г. Новая сейсмическая группа Каратау в Казахстане / В.Г. Марченко, А.И. Неделков, И.И. Комаров // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2002. Вып. 2(10). С. 9-13.
4. Михайлова Н.Н. Анализ магнитудной чувствительности сейсмической группы Каратау на региональных и телесеизмических расстояниях / Н.Н. Михайлова, З.И. Синева // Вестник НЯЦ РК. Выпуск 1. 2008 г. С. 54-62.
5. Соколова И.Н. Построение годографа для Западного Казахстана по записям промышленных ядерных взрывов / И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. 2008. Выпуск 1. С. 63-67.
6. Бакиров А.Б. ред. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью // Бишкек: Илим, 2006. -116 с.
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, 2002. Вып. 2(10). С. 46-54.
8. Абишев, А.Х. Инструментальное уточнение мест проведения мирных ядерных взрывов на территории Казахстана. / А.Х. Абишев, А.М. Яковенко, К.Г. Маккей // Вестник НЯЦ РК. 2016. Вып.4. С. 92-97.
9. Электронный ресурс : <http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/tests/index.html>
10. Аранович, З.И. Основные типы сейсмометрических приборов / З.И. Аранович [и др.] // Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. – М.: Наука, 1974. – С. 117.
11. Сейнасинов, Н.А. Взрывы боеприпасов близ г. Арыс по данным казахстанской сети мониторинга / Н.А. Сейнасинов, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып.3. С. 33.

*Рецензент: к. г.-мин. н. Фортуна А.Б.*