

УДК 550.344

ПОСТРОЕНИЕ ГОДОГРАФА ДЛЯ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА ПО ЗАПИСЯМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Соколова И.Н.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

По записям промышленных ядерных взрывов, произведенных в советское время на территории Западного Казахстана и Прикаспийской впадины, построен годограф для западной части Казахстана. Проведено его сравнение с годографами, построенных по данным ГСЗ для южного Урала, Мугоджар и района Прикаспийской впадины (В.И. Шацилов, 1993), а так же с мировым годографом IASPEI91.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы на территории Казахстана создана и функционирует новая цифровая сеть сейсмических станций Национального ядерного центра РК. Пять станций этой системы включены в Международную сеть мониторинга IMS, три – в глобальную сеть сейсмических наблюдений GSN [1]. Данные сети НЯЦ РК активно используются при составлении различных сейсмологических бюллетеней, как региональных, так и глобальных. Это относится к станции Актюбинск (AS059) и сейсмической группе Акбулак в Западном Казахстане, которые введены в эксплуатацию сравнительно недавно – в 2005 г. и 2003 г., соответственно. Данные этих станций используются для составления оперативного бюллетеня, в службе срочных донесений, в решении других задач, в составе которых, в частности, – определение местоположения и глубины события.

В практике определения положения гипоцентра сейсмического события в настоящее время используется скоростная модель IASPEI91 (International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior) [2]. Однако при рутинной обработке событий из района Западного Казахстана и Каспийского региона было отмечено существенное различие наблюденных времен вступлений основных региональных фаз, по сравнению с расчетными временами вступлений, полученными на базе модели IASPEI91. Отсутствие подходящей скоростной модели для этой территории в конечном итоге приводит к существенным погрешностям при локализации событий. Для построения уточненного годографа необходимо большое количество сейсмических событий с хорошо известными координатами и временем в очаге, а Западный Казахстан является слабосейсмичным районом. Отметим, что для рассматриваемого района существуют скоростные сейсмические модели, разработанные в казахстанском Институте сейсмологии на основе интерпретации и обобщения ретроспективных фоновых и опубликованных материалов глубинных сейсмических зондирований по системе профилей [3, 4], однако эти модели не были апробированы на кон-

кретных событиях, не проведено их сравнение с другими годографами.

В связи со всем перечисленным построение регионального годографа для Западной части Казахстана представляет большой научный и практический интерес. Данная работа посвящена построению годографа на региональных расстояниях по записям промышленных ядерных взрывов (ПЯВ), произведенных в советское время на территории Западного Казахстана и Прикаспийской впадины, для которых координаты и время в очаге известны с достаточно высокой точностью.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В качестве исходных материалов использовались сейсмограммы с записями промышленных ядерных взрывов, накопленные в архивах Комплексной сейсмологической экспедиции Института физики Земли Российской Академии наук (ИФЗ АН СССР) и Сейсмологической опытно – методической экспедиции (СОМЭ) МОН РК, а также цифровые записи сейсмической станции НЯЦ РК BRVK - Боровое. Для изучения кинематических характеристик различных волновых сейсмических групп на региональных расстояниях были отобраны промышленные ПЯВ, произведенные в бывшем СССР в 1966 - 1987 гг. на территории прикаспийской впадины, Центрального Казахстана и Западного Казахстана в районе, ограниченном координатами 40-50°N, 45-65°E [5-7] (рисунок 1). Всего выбрано 29 событий с магнитудами 4.5 - 6.0. Трассы от событий на станции пересекали Западный Казахстан и Прикаспийскую впадину, при этом эпицентральные расстояния для всех событий составляют менее 2000 км (рисунок 2).

Для анализа были использованы записи станций, расположенные на территории Северо-Западного Казахстана (Новотроицкое), Северного Казахстана, (на Кокчетавском щите – Кустанай, Арык-Балык, Красный Кордон, Макинка, Алабота, Джукей, Кошкарбай, Зеренда, Веденовка, Восточный, Чкалово, Боровое), Центрального Казахстана (Чимкент) и Центральной Азии (Зеравшан, Ургут, Нукус) (рисунок 1).

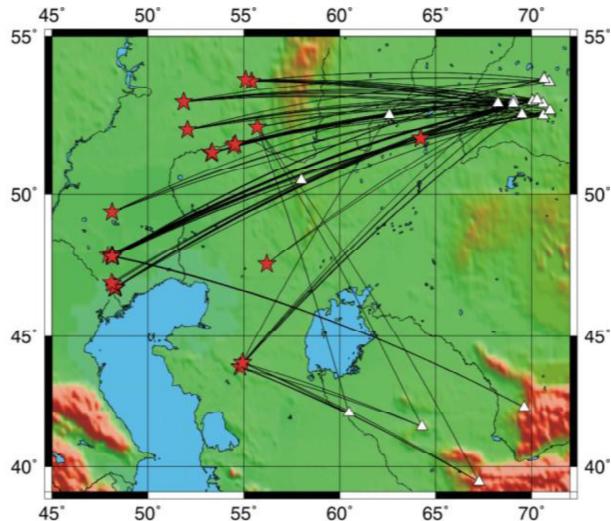


Рисунок 1. Трассы от ПЯВ (звездочки) до станций (треугольники), зарегистрировавших эти события

По архивным данным собраны сведения о координатах станций, времени их работы, типе аппаратуры и ее 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 [8]. 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. На станции Боровое использовалась цифровая аппаратура КОД, СЦР-СС, СЦР-ТСГ [9 - 11] с сейсмометрами СКМ-3.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЗАПИСЕЙ

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 времен вступлений существенным образом зависит от развертки 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 эпицентрические расстояния. Далее для ориентировки в типах сейсмических волн на данном эпицентрическом расстоянии использовался годограф КСЭ. Этот годограф был составлен на основании материалов, полученных на профиле сейсмических станций, расположенных по профилю Памир – р. Лена [12].

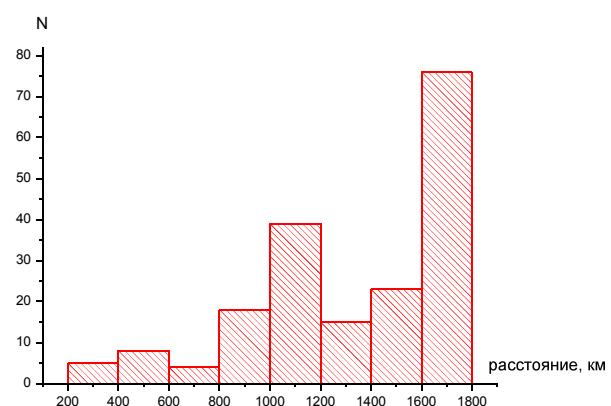


Рисунок 2. Гистограмма распределения эпицентрических расстояний

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 приходящий 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. Архивные записи сейсмической станции Боровое на магнитных лентах были переведены предварительно в современный формат CSS3.0 [13]. Использование цифровых сейсмических записей станции Боровое для построения годографа позволило обеспечить большую точность определения времен при замерах [10, 11].

Визуализация и расстановка времен вступлений на записях проводилась при помощи программного обеспечения DATASCOPE [13]. На рисунке 3 показан пример использованной записи станции BRVK - Боровое ядерного взрыва 10.26.1973 (Кама - 2), произведенного в Башкирии.

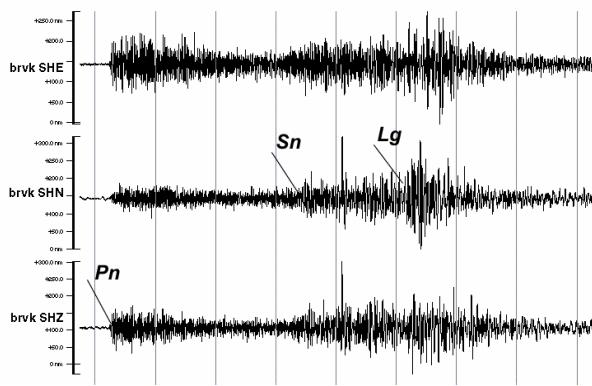


Рисунок 3. Сейсмограмма подземного ядерного взрыва 10.26.1973, $\varphi=53.65^\circ$, $\lambda=55.40^\circ$. Станция BRVK - Боровое

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ ВОЛНОВЫХ ГРУПП НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ

По результатам замеров были рассчитаны времена пробега основных региональных фаз и построены годографы. Для каждой региональной фазы были рассчитаны уравнения линейной регрессии (рисунок 4):

$$t(Pn) = 10.28 + 0.12 * \Delta, R=0.999 \quad (1)$$

$$t(Sn) = 14.71 + 0.21 * \Delta, R=0.998 \quad (2)$$

$$t(Lg) = -3.54 + 0.29 * \Delta, R=0.999, \quad (3)$$

где R - коэффициент корреляции.

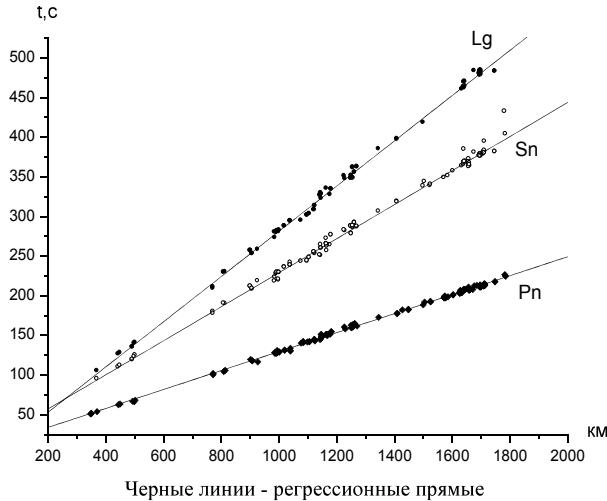


Рисунок 4. Годограф основных региональных фаз Pn , Sn и Lg , построенный по записям ПЯВ

Проведено сравнение годографа, построенного по записям ПЯВ, с двумя годографами Шацилова В.И., построенными по данным ГСЗ для двух разных районов Западного Казахстана.

Годограф «Шацилов-1» построен для территории Южного Урала и Мугоджар [3, 4]. На севере этот район охватывает часть России, для лучшего использования имевшихся надежных данных о скоростях в земной коре, на западе - граничит с Прикаспийской впадиной, на востоке - с Торгайским про-

гивом. В пределах данного района мощность земной коры изменяется от 42 км до 50 км, среднее ее значение равно 46 км. На рисунке 5 сопоставлены годограф «Шацилов-1» и новый годограф, построенный с использованием записей промышленных ПЯВ.

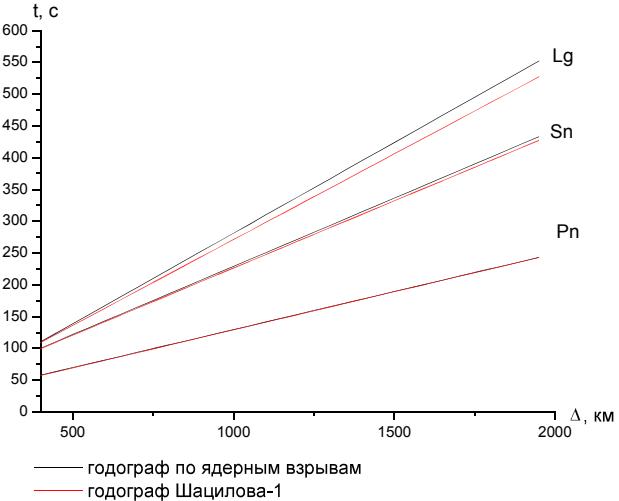


Рисунок 5. Сравнение годографа, построенного по записям ПЯВ и годографа «Шацилова - 1», построенного для территории южного Урала и Мугоджар (для глубины 0 км)

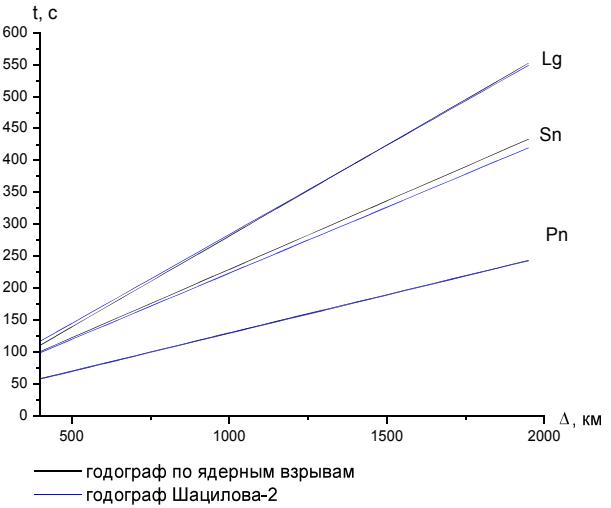


Рисунок 6. Сравнение годографа, построенного по записям ПЯВ и годографа «Шацилов - 2» для района Прикаспийской впадины (для глубины 0 км)

Как видно из сопоставления, значения скоростей по Pn - и Sn - волнам практически совпадают, тогда как скорость Lg -волны годографа, построенного по записям промышленных ПЯВ, значительно ниже, чем по годографу, построенному по данным ГСЗ.

Годограф «Шацилов-2» получен для района Прикаспийской впадины на юго-востоке Русской платформы. С востока район ограничен структурами Урала, с юго-востока - плато Усторт [3]. Мощность земной коры изменяется здесь от 36 км до 43 км, среднее ее значение равно 39 км. По внутреннему строению земной коры район уникален, он характе-

ризуется мощным (до 22 км) осадочным чехлом, в верхней части - очень низкоскоростным, в нижней части - высокоскоростным. На рисунке 6 годограф «Шацилов-2» сопоставлен с годографом, построенный по записям промышленных ПЯВ. Значения скоростей по Pn- и Lg- волнам практически совпадают, тогда как скорость Sn-волны годографа, построенного по данным промышленных ПЯВ, меньше, чем для годографа по данным ГСЗ.

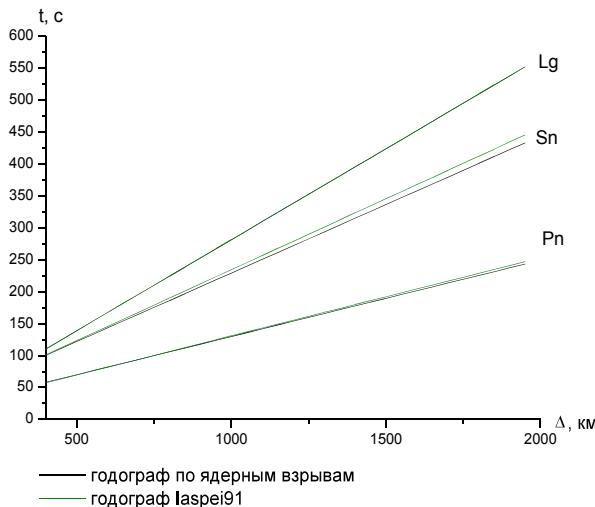


Рисунок 7. Сравнение годографа, построенного по записям мирных ядерных взрывов (черный цвет) и годографа IASPEI91, глубина 0 км (зеленый цвет)

Было проведено также сравнение нового годографа с годографом IASPEI91, который в настоящее время используется при рутинной обработке сейсмических записей в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ)

ЛИТЕРАТУРА

- Mikhailova, N.N. Kazakhstan National Monitoring system of nuclear explosions and Earthquake / N.N. Mikhailova, I.N. Sokolova // Workshop Seismology in Central Asia, International Training Course on "Seismology and Seismic Hazard assessment", Bishkek, Kyrgyzstan. – 2006. – p. 21 - 23.
- Bormann, P. New Manual of Seismological Observatory Practice / P. Bormann, ed // GFZ - Postdam, 2002.
- Шацилов, В.И. Скоростные модели земной коры Казахстана / В.И. Шацилов [и др.]. - Алматы: Евразия, 1993. – С. 105.
- Кайдаш, Т.М. Р-скоростная структура литосферы в районе Мугоджар / Т.М. Кайдаш // Промышленность Казахстана. – 2007. – № 12. – С.46 - 47.
- Mikhailov, V.N. USSR Nuclear weapons tests and peaceful nuclear explosions, 1949 through 1990 / V.N Mikhailov (editor). - RFNC-VNIIEF, Sarov, 1996. -- 96 р.
- Мирное использование подземных ядерных взрывов / В.Н. Михайлов (редактор) // Ядерные взрывы в СССР.- М. - 1994.
- Дубасов, Ю.В. Хронология ядерных испытаний, проведенных СССР в атмосфере, космическом пространстве и под водой (1949 - 1962 гг.) / Ю.В. Дубасов [и др.] // Бюллетень центра общественной информации по атомной энергии. – С. 36 - 43.
- Аранович, З.И Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР / З.И. Аранович [и др.] / М.: Наука, 1974.
- База данных по сейсмическим каналам и системам группирования геофизических обсерваторий института геофизических исследований - соглашение N B301621: отчет о НИР / ИГИ НЯЦ РК; Мартысевич П.Н. [и др.]. - Курчатов, 1996.
- Richards, P.G. Borovoye Geophysical Observatory, Kazakhstan / P.G Richards // EOS, Trans. AGU, - 1992 - 73, 201. – P. 205 - 206.
- Kim, W.Y. Instrumental responses of digital seismographs at Borovoye, Kazakhstan by inversion of transient calibration pulses / W.Y Kim., G. Ekstrom // BSSA, 1996. – 86. – P. 191 - 203.
- Нерсесов, И.Л. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км от эпицентра // И.Л. Нерсесов, Т.Г. Раутиан // Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗ АН СССР. – М.:Наука, 1964. - С. 63 - 87.
- Anderson, J. Center for seismic studies. Version 3 Database: Schema reference manual / J. Anderson, W.E. Farrell [et al.]/ / Technical Report, 1990. - Arlington.

Института геофизических исследований НЯЦ РК (рисунок 7).

Из рисунка 7 следует, что для обоих годографов скорость Lg- волн практически совпадает, различия скоростей для волны Pn – незначительны. Иная картина наблюдается для волн Sn - характерен большой разброс данных, значения скорости Sn- волны по новому годографу выше, чем по годографу IASPEI91.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построение и исследование нового годографа для региональных расстояний по записям промышленных ядерных взрывов, произведенных в советское время на территории Западного Казахстана и Прикаспийской впадины, позволяют сделать несколько рекомендаций для улучшения качества определения гипоцентра сейсмических событий, происходящих в данном регионе:

- для станций, расположенных в Западном Казахстане (AS059-Актюбинск, Акбулак) целесообразно использовать годограф, построенный по записям ПЯВ, или годограф «Шацилов-1» (для района Мугоджар), но только для волн Pn и Sn.
- годограф IASPEI91 следует использовать при локализации событий, происходящих в Западном Казахстане, только для волн Pn и Lg, в случае их хорошего окружения станциями.
- для повышения точности локализации событий, происходящих в Западном Казахстане, необходимо установить дополнительную трехкомпонентную станцию в районе Прикаспия.

**ӨНДІРІСТІК ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ЖАЗБАЛАРЫН ҚОЛДАНЫП,
БАТЫС ҚАЗАҚСТАНҒА ГОДОГРАФ ТҮРФЫЗУ**

Соколова И.Н.

ҚР ҰЯО РМК Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Совет үкіметі кезінде Батыс Қазакстанда және Каспий маңы ойпатында жасалған өндірістік ядролық жарылыштар жазбаларын қолданып Қазақстанның батыс бөлігіне годограф түрфізылды. Оны ТС3 деректері бойынша оңтүстік Орал, Мұғаджар және Каспий маңы ойпатына түрфізылған (В.И.Шатилов) және IASPEI91 дүниежүзілік годографтарымен салыстырулары жасалды.

**A TRAVEL-TIME CURVE PLOTTING FOR THE WESTERN PART
OF KAZAKHSTAN USING RECORDS OF INDUSTRIAL NUCLEAR EXPLOSIONS**

I.N. Sokolova

Institute of Geophysical Research NNC, Kurchatov, Kazakhstan

A travel-time curve for the western part of Kazakhstan was plotted using records of industrial nuclear explosions conducted at Soviet time within the Western Kazakhstan and the Caspian cavity. The travel-time curve was compared with travel-time curve for south Ural, Mugodzhar and Caspian cavity region (V.I. Shatsilov) plotted by means of GSE data as well as with IASPEI91 travel-time curve.