

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-4-74-81>

УДК 550.34:621.039.9

ГОДОГРАФЫ ТРАСС ПЛОЩАДКА YUSSA (НЕВАДСКИЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН) – СИСТЕМЫ ГРУППИРОВАНИЯ «ОЖЕРЕЛЬЕ» (ОБСЕРВАТОРИЯ «БОРОВОЕ»)

К.С. Непейна¹⁾, В.А. Ан²⁾

¹⁾ Научная станция РАН в г. Бишкеке, Бишкек, Кыргызстан

²⁾ Институт динамики геосфер РАН имени М.А. Садовского, Москва, Россия

E-mail для контактов: nepaina.k@mail.ru

В статье рассматриваются времена пробега продольных волн для 8 взрывов Yussa Flat (Невадский Испытательный Полигон NTS) с 1979 по 1984 гг. с магнитудами $m_b = 4,9-5,9$. Времена пробега получены при пересмотре сейсмограмм из архивов Института динамики геосфер им. М.А. Садовского для подсистемы «Ожерелье» периферийных пунктов Зеренда, Восточное, Чкалово большебазовой системы сейсмического группирования (БСГ) геофизической обсерватории (ГО) «Боровое». Данная система работала с 1979 г. на территории Казахстана. На примере регистрации подземных ядерных взрывов на площадке Yussa Невадского испытательного полигона (NTS) исследуются локальные годографы и линейные тренды времени пробега продольной волны в диапазоне эпицентральных расстояний $89,3110^\circ-90,3701^\circ$. Сделаны оценки скоростей продольных волн для трасс Yussa-Ожерелье и периферийных пунктов.

Ключевые слова: Р-волна, скорость, время пробега, Невадский испытательный полигон, Центральная Азия.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение строения Земли по результатам времен пробега продольных сейсмических волн актуально в настоящее время, поскольку данные наблюдений до сих пор пополняются и уточняются (например, координаты источников, параметры заряда, магнитуды). Особенный интерес представляет изучение таких данных для телесеизмических трасс с расстояниями между источником-приемником $\sim 10\,000$ км (эпицентральные расстояния $\Delta \sim 90^\circ$). В архиве Института динамики геосфер сохранились сейсмограммы исторических ядерных взрывов, зарегистрированными на территории бывшего Советского Союза. Результаты обработки данных экспериментальных систем наблюдения представлены в данной работе. В исследовании приведены характеристики системы наблюдения – «Ожерелье» большебазовой системы группирования (БСГ) геофизической обсерватории «Боровое» (далее Ожерелье) с тремя периферийными пунктами – Зеренда (ZRN), Восточное (VOS) и Чкалово (CHK), расположенной на территории Казахстана. В полном объеме система группирования «Ожерелье» начала работать в июне 1979 г.

В результате проекта МНТЦ К-063 создана современная система сейсмологических наблюдений, оснащенная средствами телекоммуникаций и обработки данных, включающая в себя сейсмические станции большой апертурной группы Боровое (станции BRVK и системы группирования CHK, ZRN, VOS). Большинство записей не анализировались, и параметры связанных с ними событий до сих пор не были определены. цифровые архивные данные ПЯВ были переформатированы в современный формат, и хранятся в формате CSS 3.0. Такая база данных существует для большебазовой системы Боровое за период 1980–2000 гг. Скоростная неоднородность и анизотропия под массивом ГО Боровое практически неиз-

вестны. В этом случае обрабатываемые данные имеют неодинаковую точность, и аналитик не может контролировать эту изменчивость. В связи с этим возникает необходимость разработки альтернативного подхода, не исключающего приближенные измерения.

В проекте МНТЦ К-063-97 участвовали три научные организации: Институт геофизических исследований (ИГИ) Национального ядерного центра Республики Казахстан, Институт динамики геосфер Российской академии наук (ИДГ РАН) и Институт физики Земли Российской академии наук (ИФЗ РАН).

В настоящее время станции модернизируются. С 1999 г. данная система переименована и преобразована в сейсмическую группу Боровое в рамках проекта МНТЦ К-063-97 с помощью зарубежных коллег-сотрудников проекта – сотрудников LDEO, установлены станции Quanterra Q680 для сбора данных с локальных сейсмических подгрупп «Ожерелье» в центры подгрупп. Из Национального Центра Данных (г. Алматы) по каналам Internet данные доставляются в LDEO, IRIS-DMC [1].

Многие исследователи до сих пор изучают наследие ядерных взрывов на территории самых крупных испытательных полигонов – Семипалатинском и Невадском. Разными исследователями для Невадского полигона США построены годографы распространения продольных и поперечных волн, например, для расстояний 0–200 км, а также сделаны оценки затухания [3]. Yussa Flat – равнинная область в северо-восточной части испытательного полигона в Неваде, где в период с 1951 по 1992 гг. было проведено 827 задокументированных атмосферных и подземных ядерных испытаний, что составляет почти восемьдесят процентов всех ядерных испытаний США. В гео-

логическом отношении эта область сложена в основном четвертичными осадочными породами мощностью до 600 м. Подробное описание геологических и тектонических особенностей приведено в работах [4–7].

МЕТОДЫ И ДАННЫЕ

В 1976 г. была запущена система апертурная система «Треугольник», в состав которой входили периферийные станции «Чкалово» (72 км от станции «Боровое»), «Зеренда» (86 км) и «Восточный» (60 км). Подсистемы типа «Ожерелье» были организованы вблизи населённых пунктов Зеренда (ZRN), Восточное (VOS) и Чкалово (CHK) Кокчетавской области (Северный Казахстан) в 1980 г. [8]. В каждом пункте подсистема «Ожерелье» состояла из 6-ти НУПов регистрации (НУП – неуправляемый пункт), расположенных равномерно по окружности с радиусом порядка трёх километров от центра периферийного пункта (ПП). План расположения «Ожерелий» большебазовой системы группирования (БСГ) геофизической обсерватории «Боровое» представлен на рисунке 1, а координаты всех НУПов, ПП и Центрального пункта (ЦП) в таблице 1.

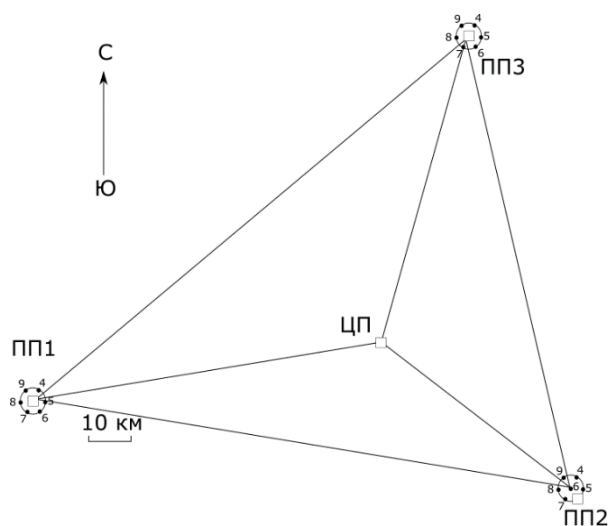


Рисунок 1. План-схема «Ожерелье» большебазовой системы сейсмического группирования геофизической обсерватории (БСГ ГО) «Боровое»

План размещения, геодезические и основные параметры подсистем «Ожерелье» большебазовой системы сейсмического группирования геофизической обсерватории (БСГ ГО) «Боровое» представлены в нашей предыдущей работе [9]. Основные периферийные пункты – Зеренда (ZRN), Восточное (VOS) и Чкалово (CHK). Центральный пункт – Боровое (BRVK). Вокруг каждого из периферийных пунктов расположено по шесть пунктов НУПов с одноконтинентными сейсмометрами (так называемые «Ожерелья»). Диаметр подгрупп «Ожерелий» равен 6 км. Общий апертурный размер системы «большого треугольника» – 135 км. Конфигурация «Ожерелья» VOS

отличалась от ZRN и CHK в связи со сложными местными геологическими условиями: НУП6 перемещён в центр «Ожерелья», а периферийный пункт ПП2 на планируемое место НУП6. В каждом «Ожерелье» номера НУПов от 4 до 9 (рисунок 1). План БСГ геофизической обсерватории «Боровое» (bsgbrv) [8]. В скважине НУПа был установлен вертикальный сейсмоприёмник типа СБУ-В, информация которого передавалась по кабелю в ПП. Далее по радиорелейным линиям связи в виде частотно-модулированного сигнала – в центральный пункт (ЦП – геофизическая обсерватория «Боровое»), где информация всей подсистемы регистрировалась в цифровом формате на 24-канальной станции цифровой трехкомпонентной регистрации СЦР-О: 24 измерительных канала с частотой опросов 2 мс и периодом основного цикла коммутации каналов 48 мс [2]. Каналы СЦР-О с 1-го по 6-ой соответственно для НУПов 4–9 станции Зеренда, каналы с 7-го по 12-ый для НУПов 4–9 станции Восточное и каналы с 13-ого по 18-ый для НУПов 4–9 станции Чкалово. Каналы СЦР-О с номерами 19–24 были свободными. Пороговая чувствительность измерительных каналов СБУ-В составляла 0,3 нм в полосе частот 0,73÷3,5 Гц. Привязка сейсмической информации к эталонным сигналам точного времени (ЭСВ [2]) осуществлялась в центральном пункте на СЦР-О.

Таблица 1. Географические координаты пунктов «Ожерелье».

Пункт	№ НУПа	Широта (N) градус	Долгота (E) градус	Высота (м)
Зеренда ZRN	ПП1	52,9506	69,0056	384
	4	52,9704	69,0323	358
	5	52,9461	69,0485	380
	6	52,9271	69,0338	386
	7	52,9294	68,9772	306
	8	52,9546	68,9633	292
Восточное VOS	9	52,9771	69,0027	300
	ПП2	52,7231	70,9805	297
	4	52,7686	70,9906	266
	5	52,7435	71,0042	261
	6	52,7478	70,9649	272
	7	52,7276	70,9370	282
Чкалово CHK	8	52,7524	70,9211	285
	9	52,7696	70,9511	293
	ПП3	53,6756	70,6162	124
	4	53,6952	70,6431	96
	5	53,6716	70,6592	120
	6	53,6509	70,6324	133
Боровое BRVK	7	53,6539	70,5869	113
	8	53,6796	70,5731	59
	9	53,6975	70,6002	90
	ЦП	53,0581	70,2828	315

**ГОДОГРАФЫ ТРАСС ПЛОЩАДКА YUCCA (НЕВАДСКИЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН) –
СИСТЕМЫ ГРУППИРОВАНИЯ «ОЖЕРЕЛЬЕ» (ОБСЕРВАТОРИЯ «БОРОВОЕ»)**

Таблица 2. Основные параметры подземных ядерных взрывов площадки Yucca данного исследования [12–14].
 m_b – магнитуда. h – глубина бурения; H – высота поверхности над уровнем моря; m_b – по данным ИДГ РАН

№ п/п	Название испытания	Дата гтгг-мм-дд	Время (UTC) час:мин:сек	Широта, N°	Долгота, E°	h , м	H , м	Тип пород	m_b
1	Fajy	1979-06-28	14:44:00.17	37,143	–116,088	536	1303	аллювий	5,0
3	Hearts	1979-09-06	15:00:00.09	37,088	–116,054	640	1232	туф	5,8
4	Baseball	1981-01-15	20:25:00.09	37,087	–116,046	564	1232	туф	5,7
5	Bouschet	1982-05-07	18:17:00.11	37,069	–116,046	564	1217	туф	5,7
6	Frisco	1982-09-23	17:00:00.09	37,175	–116,089	451	1347	туф	4,9
7	Tortugas	1984-03-01	17:45:00.09	37,066	–116,047	639	1216	туф	5,9
8	Mundo	1984-05-01	19:05:00.09	37,106	–116,023	566	1292	туф	5,4

В предыдущей работе [10], связанной с системой группирования «Ожерелье» БСГ ГО «Боровое», авторами рассматривались значения времен пробега продольной волны на испытательных площадках Pahute Невадского испытательного полигона (NTS) в период с 1967 по 1992 гг. В настоящей работе обсуждаются результаты регистрации на системах «Ожерелье» продольной волны от подземных ядерных испытаний на площадке Yucca NTS.

В данной работе для анализа времен пробега продольной волны P выбраны восемь испытаний на площадке Yucca Невадского испытательного полигона (NTS) [11, 12] с 1979 по 1984 гг. с магнитудами $m_b = 4,9–5,9$, основные параметры которых представлены в таблице 1. Значения магнитуд поверхностных волн для ПЯВ NTS можно найти в [13, 14]. Результаты оценки ГИС-поверхностных эффектов подземных ядерных взрывов, проведенных в Yucca Flat и Pahute Messa (рисунок 2), приведены в работе [15]. Тем не менее, один совместный взрыв США и Великобритании (Mundo) был представлен с пометкой «невозможно классифицировать».

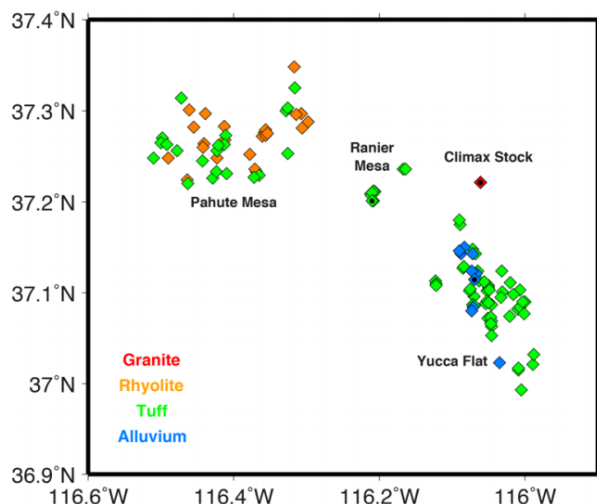


Рисунок 2. Географическое положение взрывов на Невадском полигоне [15]

По выбранным подземным ядерным взрывам (ПЯВ) на работавших каналах подсистем «Ожерелье» были определены времена пробега (t_{p1}) продоль-

ной волны P . После обработки и анализа всех сейсмограмм результаты были сведены в таблицы значений. Для соотношения с одной из наиболее известных станций в СССР – Боровое (таблица 2). В таблице 3 указаны даты проведения испытаний ПЯВ, номера НУПов, значения эпицентральных расстояний (Δ°) и времена вступлений продольной волны P (t_{p1}) на всех НУПах БСГ ГО «Боровое».

Таблица 3. Параметры взрывов площадки Yucca (из таблицы 2) для станции «Боровое» BRVK

№№ п/п	Наименование испытания	Дата гтгг-мм-дд	Δ°	Az° от эпицентра	t_{p1} сек
1	Faji	1979-06-28	89,9983	356,16	782,106
2	Hearts	1979-09-06	90,0549	356,18	782,409
3	Baseball	1981-01-15	90,0563	356,18	782,359
4	Bouschet	1982-05-07	90,0742	356,18	782,530
5	Atrisco	1982-08-05	90,0614	356,21	782,388
6	Frisco	1982-09-23	89,9664	356,16	781,807
7	Tortugas	1984-03-01	90,0772	356,18	782,568
8	Mundo	1984-05-01	90,0386	356,20	782,259

При обработке обнаружили сбои информации в базе данных Института динамики геосфер (ИДГ РАН), возникшие при переформатировании цифровых магнитных лент геофизической обсерватории «Боровое» для ПЯВ Yucca NTS. На всех периферийных пунктах записался только один ПЯВ Tortugas 1984-03-01. Для других ПЯВ отсутствуют сейсмограммы:

- ПЯВ Faji 1979-06-28 пункта Чкалово «Ожерелье» для НУПов 5–9;
- ПЯВ Hearts 1979-09-06 для всех 6-ти НУПов пунктов «Зеренда», «Восточное»;
- ПЯВ Baseball 1981-01-15 НУП 6 «Чкалово»;
- ПЯВ Bouschet 1982-05-07 НУП 4, 8, 9 «Восточное»;
- ПЯВ Atrisco 1982-08-05 НУП 4, 5, 8 «Зеренда», НУП 4, 5, 9 «Чкалово»; все НУПы «Восточное»;
- ПЯВ Frisco 1982-09-23 НУП 5 «Зеренда»; НУП 4 «Восточное»;
- ПЯВ Mundo 1984-05-01 НУП 5, 8 «Зеренда».

Таким образом, всего значений для 8 ПЯВ по пунктам: Зеренда 24, Восточное 16, Чкалово 30.

**ГОДОГРАФЫ ТРАСС ПЛОЩАДКА YUSSA (НЕВАДСКИЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН) –
СИСТЕМЫ ГРУПИРОВАНИЯ «ОЖЕРЕЛЬЕ» (ОБСЕРВАТОРИЯ «БОРОВОЕ»)**

Таблица 3. Время пробега волны Р по времени первого положительного экстремума периферийных пунктов для площадки Yussa NTS. Если сейсмограмма отсутствует, то обозначение (–)

Дата гггг- мм-дд	№ НУ- Па	Зеренда		Восточное		Чкалово	
		Δ°	t_{p1} сек	Δ°	t_{p1} сек	Δ°	t_{p1} сек
1979- 06-28	4	90,1463	782,792	90,2469	782,900	89,3429	778,424
	5	90,1699	782,936	90,2711	783,023	–	–
	6	90,1895	782,986	90,2692	782,999	–	–
	7	90,1896	782,990	90,2910	783,051	–	–
	8	90,1650	782,826	90,2672	782,909	–	–
	9	90,1409	782,797	90,2473	782,956	–	–
1979- 09-06	4	–	–	–	–	89,3996	778,768
	5	–	–	–	–	89,4222	778,871
	6	–	–	–	–	89,4444	778,990
	7	–	–	–	–	89,4439	779,020
	8	–	–	–	–	89,4190	778,878
	9	–	–	–	–	89,3997	778,782
1981- 01-15	4	90,2039	783,110	90,3052	783,221	89,4010	778,671
	5	90,2275	783,254	90,3294	783,319	89,4237	778,814
	6	90,2471	783,306	90,3274	783,322	–	–
	7	90,2472	783,310	90,3492	783,375	89,4453	778,920
	8	90,2226	783,166	90,3254	783,369	89,4204	778,826
	9	90,1985	783,075	90,3065	783,275	89,4011	778,730
1982- 05-07	4	90,2218	783,308	–	–	89,4189	778,870
	5	90,2454	783,408	90,3473	783,515	89,4416	778,967
	6	90,2651	783,458	90,3453	783,515	89,4637	779,113
	7	90,2652	783,463	90,3671	783,615	89,4632	779,114
	8	90,2406	783,368	–	–	89,4384	778,974
	9	90,2164	783,227	–	–	89,4190	778,925
1982- 08-05	4	–	–	–	–	–	–
	5	–	–	–	–	–	–
	6	90,2518	783,341	–	–	89,4510	778,997
	7	90,2519	783,344	–	–	89,4505	778,999
	8	–	–	–	–	89,4256	778,858
	9	90,2031	783,108	–	–	–	–
1982- 09-23	4	90,1143	782,663	–	–	89,3110	778,222
	5	–	–	90,2392	782,816	89,3337	778,297
	6	90,1575	782,830	90,2373	782,729	89,3558	778,441
	7	90,1577	782,359	90,2591	782,772	89,3553	778,467
	8	90,1331	782,692	90,2353	782,723	89,3305	778,276
	9	90,1089	782,600	90,2164	782,130	89,3111	778,278
1984- 03-01	4	90,2248	783,016	90,3260	783,607	89,4219	778,698
	5	90,2484	783,739	90,3502	783,704	89,4445	778,133
	6	90,2680	783,265	90,3483	783,274	89,4667	779,012
	7	90,2681	783,695	90,3701	783,851	89,4662	779,015
	8	90,2435	783,602	90,3463	783,712	89,4413	778,490
	9	90,2194	783,124	90,3273	783,617	89,4220	777,825
1984- 05-01	4	90,1859	783,242	90,2876	783,732	89,3834	779,182
	5	–	–	90,3118	783,830	89,4060	779,283
	6	90,2292	783,606	90,3095	783,449	89,4282	779,405
	7	90,2293	783,822	90,3317	783,977	89,4277	779,383
	8	–	–	90,3079	783,836	89,4028	779,289
	9	90,1805	783,202	90,2889	783,742	89,3834	779,218

Для построения годографов и оценки линейных трендов времени пробега продольной волны на трассах Yussa – ZRN, Yussa – VOS и Yussa – CHK использовалась методика и результаты исследований, опубликованные авторами в предыдущих работах [16–18]. При построении локального годографа использовались параметры времени пробега волны Р для каждого из НУПов «Ожерелья» и эпицентрального расстояние Δ° для построения графика зависимости $t_{p1} = F(\Delta^\circ) = k \cdot \Delta^\circ + b$, полученные методом линейной регрессии, где k и b – произвольные константы. При оценке тренда δt в миллисекундах за год вместо эпицентрального расстояния использовалось время взрыва в календарном времени [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ

По приведенным в таблицах значениям t_{p1} БСГ ГО «Боровое» построены сводные графики.

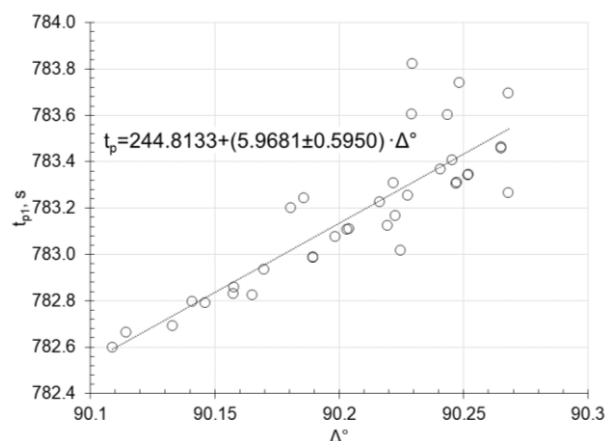


Рисунок 3. Локальный годограф для ПЯВ Yussa – периферийный пункт Зеренда подсистемы «Ожерелье» геофизической обсерватории «Боровое»

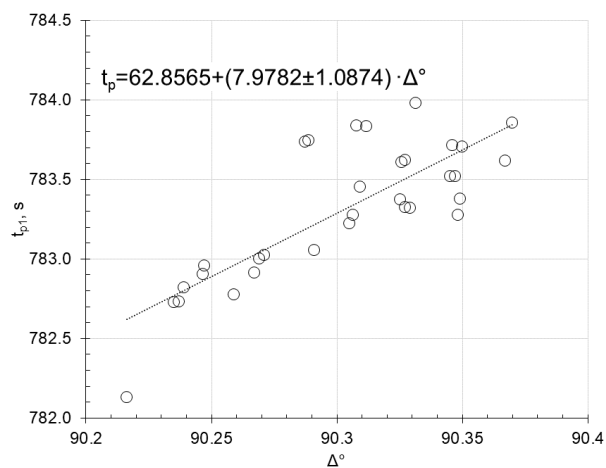


Рисунок 4. Локальный годограф для ПЯВ Yussa – периферийный пункт Восточное подсистемы «Ожерелье» геофизической обсерватории «Боровое»

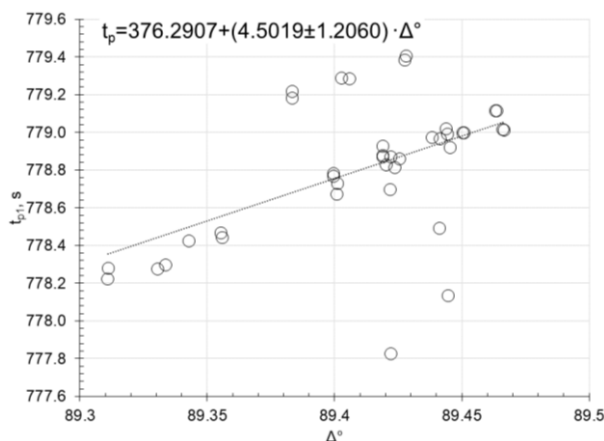


Рисунок 5. Локальный годограф для ПЯВ Yussa – периферийный пункт Чкалово подсистемы «Ожерелье» геофизической обсерватории «Боровое»

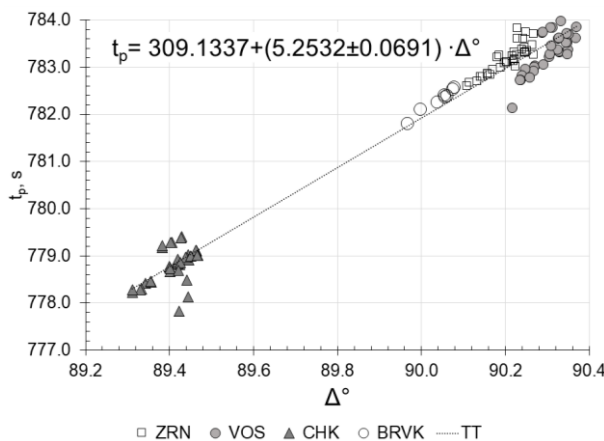


Рисунок 6. Локальный годограф для ПЯВ Yussa – геофизическая обсерватория «Боровое»

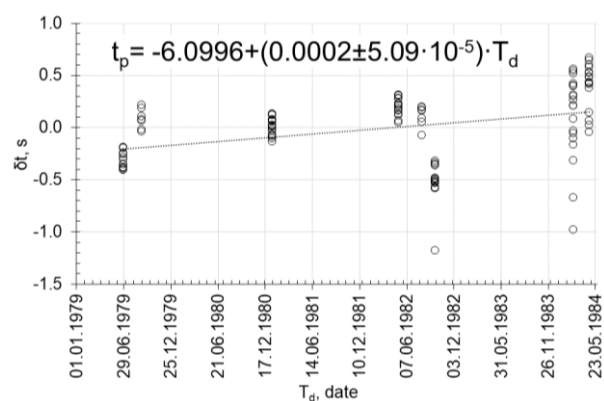


Рисунок 7. Линейный тренд во времени для всех значений времен пробега продольных волн для ПЯВ Yussa – геофизическая обсерватория «Боровое»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подготовлены таблицы времен пробега волны P для трассы площадка Yussa – периферийные пункты подсистемы «Ожерелье» геофизической обсерватории «Боровое» (по пунктам Зеренда, Восточное и Чкалово). Построен локальный годограф, который удовлетворяет уравнению:

$t_p (\text{сек}) = 309.8116 + (5.2455 \pm 0.0709) \cdot \Delta^\circ$,
где Δ° – расстояние в градусах.

Yussa – Зеренда (ZRN)

$t_p (\text{сек}) = 376.2907 + (4.5019 \pm 1.2060) \cdot \Delta^\circ$,
эффективная скорость $V_p = 4.50$ км/с.

Yussa – Восточное (VOS)

$t_p (\text{сек}) = 62.8565 + (7.9782 \pm 1.0874) \cdot \Delta^\circ$,
эффективная скорость $V_p = 7.98$ км/с.

Yussa – Чкалово (CHK)

$t_p (\text{сек}) = 244.8133 + (5.9681 \pm 0.5950) \cdot \Delta^\circ$,
эффективная скорость $V_p = 5.97$ км/с.

Yussa – ГО Боровое

$t_p = 309.1337 + (5.2532 \pm 0.0691) \cdot \Delta^\circ$,
эффективная скорость $V_p = 5.25$ км/с.

При оценке линейного тренда времени пробега продольной волны мы получили относительные флуктуации времени пробега (δt), где T_d – время в календарном времени (ДД.ММ.ГГГГ):

Yussa – ГО Боровое

$\delta t (\text{сек}) = -6.0996 + (0.0002 \pm 5.09 \cdot 10^{-5}) \cdot T_d$.

Наличие слабого тренда во времени свидетельствует о возможной анизотропии скоростей, связанной с ротацией внутриземных оболочек, таких как ядро, и эволюции Земли. Этот вывод подтверждает существующую мозаичность строения мантии и ядра Земли, доказанной в работах наших коллег [19–21].

Значения постоянной в уравнении тренда для трассы Yussa – ZRN от Yussa – VOS отличается в основном из-за того, что запись взрывов на некоторых НУПах отсутствует. Поскольку наибольшее число записей сейсмограмм на периферийном пункте Чкалово 30, а наименьшее у пункта Восточное 16. Поэтому наиболее близкие значения скорости продольных волн к средней для трассы Yussa-Боровое получалась у пункта Чкалово.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят сотрудника Института динамики геосфер РАН Л.Д. Годунову и Т.В. Челюбееву за постоянное внимание и помощь при выполнении данного исследования. Работа выполнена в рамках государственного задания Научной станции РАН в г. Бишкеке 1021052806454-2-1.5.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISTC Site. Kazakhstan Seismic Monitoring System #K-1049 30.06.2003 (2021). Available at <https://www.istc.int/en/project/40F48AFADCECF322C3256D550041404E#>
2. Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И., Соколова И.Н. Казахстанский центр сбора и обработки специальной сейсмической информации: функции, задачи, система телекоммуникаций, базы данных // Вестник НЯЦ РК. – 2001. – Вып. 2. – С. 21–26.
3. Kopnichen Y.F., Sokolova I.N., Sokolov K.N. Spatio-temporal variations in the structure of the attenuation field of the S-wave in the region of Nevada nuclear test site // Izv. Phys. Solid Earth. – 2013. – Vol. 49. – pp. 786–795. <https://doi.org/10.1134/S1069351313060086>

4. Pyle M.L., Myers S.C., Walter W.R., Smith K.D. Accurate Local Event Locations in Rock Valley, Nevada, Using a Bayesian Multiple-Event Method // *Bull. Seismol. Soc. Am.* – 2015. – Vol. 105. – pp. 706–718. <https://doi.org/10.1785/0120140251>
5. Liverman J.L. Nevada Test Site. Nye County, Nevada. Final Environmental Impact Statement. – 1977. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/09/362/9362842.pdf
6. Sinnock S. Geology of the Nevada test site and nearby areas, southern Nevada. Sandia Report. SAND82-2207. – 1982. – 59 p.
7. Asch T. H., Sweetkind D., Burton B. L., Wallin E. L. Detailed geophysical fault characterization in Yucca Flat, Nevada Test Site, Nevada, U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 2008-1346. – 2009. – 64 pp.
8. Bekbulatova D., Mikhailova N., Sokolova I. An V. 70-years contribution of “Borovoye” Geophysical Observatory into nuclear // Science and Technology Conference. – 2021. – P.2.5-181. Available at <https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1010/>
9. Ан В.А., Каазик П.Б., Непейна К.С., Челюбеева Т.В. Системы группирования «Ожерелье» геофизической обсерватории «Боровое» // *Вестник НЯЦ РК.* – 2018. – Вып. 2. – С. 27–31
10. An V., Nepeina K. Pahute Test Site Travel-times from Seismic Arrays “Ozherelye” of Geophysical Observatory “Borovoye” / Open source Dataset. ISC Seismological Dataset Repository. – 2019. <https://doi.org/10.31905/QRKZNN1>
11. Pasyanos M.E., Chiang A. Report for Department of State (DoS) V-Fund Project Tying Moment Tensor Solutions to Explosive Yield. United States: N. p. – 2020. <https://doi.org/10.2172/1638008>
12. An V.A., Ovtchinnikov V.M., Kaazik P.B., Adushkin V. V., Sokolova I.N., Aleschenko I.B., Mikhailova N.N., Kim W.-Y., Richards P.G., Patton H.J., Scott Phillips W., Randall G., Baker D. A digital seismogram archive of nuclear explosion signals, recorded at the Borovoye Geophysical Observatory, Kazakhstan, from 1966 to 1996 // *GeoResJ.* – 2015. – No. 6. – pp. 141–163. <https://doi.org/10.1016/j.grj.2015.02.014>
13. Woods B.B., Harkrider D.G. Determining surface-wave magnitudes from regional Nevada Test Site data // *Geophys. J. Int.* – 1995. – Vol. 120. – pp. 474–498. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb01833.x>
14. Springer D.I. Seismic source summary for all U. S. below-surface nuclear explosions / D.I. Springer, G.F. Pawloski, J.L. Ricca, R.F. Rohrer, D.K. Smith // *Bull. Seism. Soc. Am.*, 2002. – Vol. 92, No. 5. – P. 1808–1840. <https://doi.org/10.1785/0120010194>
15. Grasso D.N. GIS surface effects archive of underground nuclear detonations conducted at Yucca Flat and Pahute Mesa, Nevada Test Site, Nevada / Las Vegas, NV. – 2001. – 34 pp. <https://doi.org/10.2172/788834>
16. Ан В.А., Каазик П.Б., Челюбеева Т.В. Годографы геофизической обсерватории «Боровое» по подземным ядерным испытаниям // *Вестник НЯЦ РК.* – 2016. – Вып. 2. – С. 90–95.
17. Ан В.А., Михайлова Н.Н., Годунова Л.Д., Каазик П.Б., Овчинников В.М. Изменения времени пробега продольной сейсмической волны в календарном времени // *Вестник НЯЦ РК.* – 2005. – Вып. 2. – С. 41–45.
18. Nepeina K.S., An V. Travel time curves and isochron maps from the Borovoye digital archive for the Nevada and Semipalatinsk Nuclear Test Sites // *Results Geophys. Sci.* – 2021. – No. 6. – 100014. <https://doi.org/10.1016/j.ringps.2021.100014>
19. Krasnoshchekov D.N., Kaazik P.B., Ovtchinnikov V.M. Seismological evidence for mosaic structure of the surface of the Earth’s inner core // *Nature.* – 2005. – Vol. 435. – pp. 483–487. <https://doi.org/10.1038/nature03613>
20. Krasnoshchekov D., Kaazik P., Kozlovskaya E., Ovtchinnikov V. Seismic Structures in the Earth’s Inner Core Below Southeastern Asia // *Pure Appl. Geophys.* – 2016. – Vol. 173. – pp. 1574–1591. <https://doi.org/10.1007/s00024-015-1207-6>
21. Ovtchinnikov V.M., Kaazik P.B., Krasnoshchekov D.N. Weak velocity anomaly in the Earth’s outer core from seismic data // *Izv. Phys. Solid Earth.* – 2012. – Vol. 48. – pp. 211–221. <https://doi.org/10.1134/S1069351312020036>

REFERENCES

1. ISTC Site. Kazakhstan Seismic Monitoring System #K-1049 30.06.2003 (2021). Available at <https://www.istc.int/en/project/40F48AFADCECF322C3256D550041404E#>
2. Mikhaylova N.N., Komarov I.I., Sineva Z.I., Sokolova I.N. Kazakhstanskiy tsentr sbora i obrabotki spetsial'noy seysmicheskoy informatsii: funktsii, zadachi, sistema telekommunikatsiy, bazy dannykh // *Vestnik NYaTs RK.* – 2001. – Issue. 2. – P. 21– 26.
3. Kopnichev Y.F., Sokolova I.N., Sokolov K.N. Spatio-temporal variations in the structure of the attenuation field of the S-wave in the region of Nevada nuclear test site // *Izv. Phys. Solid Earth.* – 2013. – Vol. 49. – pp. 786–795. <https://doi.org/10.1134/S1069351313060086>
4. Pyle M.L., Myers S.C., Walter W.R., Smith K.D. Accurate Local Event Locations in Rock Valley, Nevada, Using a Bayesian Multiple-Event Method // *Bull. Seismol. Soc. Am.* – 2015. – Vol. 105. – pp. 706–718. <https://doi.org/10.1785/0120140251>
5. Liverman J.L. Nevada Test Site. Nye County, Nevada. Final Environmental Impact Statement. – 1977. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/09/362/9362842.pdf
6. Sinnock S. Geology of the Nevada test site and nearby areas, southern Nevada. Sandia Report. SAND82-2207. – 1982. – 59 p.
7. Asch T. H., Sweetkind D., Burton B. L., Wallin E. L. Detailed geophysical fault characterization in Yucca Flat, Nevada Test Site, Nevada, U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 2008-1346. – 2009. – 64 pp.
8. Bekbulatova D., Mikhailova N., Sokolova I. An V. 70-years contribution of “Borovoye” Geophysical Observatory into nuclear // Science and Technology Conference. – 2021. – P.2.5-181. Available at <https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1010/>
9. An V.A., Kaazik P.B., Nepeina K.S., Chelyubeeva T.V. Sistemy gruppировaniya «Ozherel'e» geofizicheskoy observatorii «Borovoe» // *Vestnik NYaTs RK.* – 2018. – Issue 2. – P. 27–31
10. An V., Nepeina K. Pahute Test Site Travel-times from Seismic Arrays “Ozherelye” of Geophysical Observatory “Borovoye” / Open source Dataset. ISC Seismological Dataset Repository. – 2019. <https://doi.org/10.31905/QRKZNN1>

11. Pasyanos M.E., Chiang A. Report for Department of State (DoS) V-Fund Project Tying Moment Tensor Solutions to Explosive Yield. United States: N. p. – 2020. <https://doi.org/10.2172/1638008>
12. An V.A., Ovtchinnikov V.M., Kaazik P.B., Adushkin V. V., Sokolova I.N., Aleschenko I.B., Mikhailova N.N., Kim W.-Y., Richards P.G., Patton H.J., Scott Phillips W., Randall G., Baker D. A digital seismogram archive of nuclear explosion signals, recorded at the Borovoye Geophysical Observatory, Kazakhstan, from 1966 to 1996 // *GeoResJ.* – 2015. – No. 6. – pp. 141–163. <https://doi.org/10.1016/j.grj.2015.02.014>
13. Woods B.B., Harkrider D.G. Determining surface-wave magnitudes from regional Nevada Test Site data // *Geophys. J. Int.* – 1995. – Vol. 120. – pp. 474–498. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb01833.x>
14. Springer D.I. Seismic source summary for all U. S. below-surface nuclear explosions / D.I. Springer, G.F. Pawloski, J.L. Ricca, R.F. Rohrer, D.K. Smith // *Bull. Seism. Soc. Am.*, 2002. – Vol. 92, No. 5. – P. 1808–1840. <https://doi.org/10.1785/0120010194>
15. Grasso D.N. GIS surface effects archive of underground nuclear detonations conducted at Yucca Flat and Pahute Mesa, Nevada Test Site, Nevada / Las Vegas, NV. – 2001. – 34 pp. <https://doi.org/10.2172/788834>
16. An V.A., Kaazik P.B., Chelyubeeva T.V. Godografy geofizicheskoy observatorii «Borovoe» po podzemnym yadernym ispytaniyam // *Vestnik NYaTs RK.* – 2016. – Issue 2. – P. 90–95.
17. An V.A., Mikhaylova N.N., Godunova L.D., Kaazik P.B., Ovtchinnikov V.M. Izmeneniya vremeni probega prodol'noy seysmicheskoy volny v kalendarnom vremeni // *Vestnik NYaTs RK.* – 2005. – Issue 2. – P. 41–45.
18. Nepeina K.S., An V. Travel time curves and isochron maps from the Borovoye digital archive for the Nevada and Semipalatinsk Nuclear Test Sites // *Results Geophys. Sci.* – 2021. – No. 6. – 100014. <https://doi.org/10.1016/j.ringps.2021.100014>
19. Krasnoshchekov D.N., Kaazik P.B., Ovtchinnikov V.M. Seismological evidence for mosaic structure of the surface of the Earth's inner core // *Nature.* – 2005. – Vol. 435. – pp. 483–487. <https://doi.org/10.1038/nature03613>
20. Krasnoshchekov D., Kaazik P., Kozlovskaya E., Ovtchinnikov V. Seismic Structures in the Earth's Inner Core Below Southeastern Asia // *Pure Appl. Geophys.* – 2016. – Vol. 173. – pp. 1575–1591. <https://doi.org/10.1007/s00024-015-1207-6>
21. Ovtchinnikov V.M., Kaazik P.B., Krasnoshchekov D.N. Weak velocity anomaly in the Earth's outer core from seismic data // *Izv. Phys. Solid Earth.* – 2012. – Vol. 48. – pp. 211–221. <https://doi.org/10.1134/S1069351312020036>

ЮККА (НЕВАДА СЫНАУ АЛАҢЫ) ҮШІН ЖҮРГІЗУ УАҚЫТЫНЫҢ ҚИССІКТЕРІ – «АЛҚА» СЕЙСМИКАЛЫҚ МАССИВТЕРІ («БОРОВОЕ» ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ОБСЕРВАТОРИЯСЫ)

К.С. Непейна¹⁾, В.А. Ан²⁾

¹⁾ Бішкек қаласындағы РҒА ғылыми станциясы, Бішкек, Қырғызстан

²⁾ Садовский РҒА Геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей

Мақалада 1979–1984 жылдар аралығындағы Юкка Флат (Невада сынақ алаңы НТС) 8 жарылыс үшін бойлық толқындардың жүру уақыттары қарастырылады. магнитудасы $m_b = 4,9–5,9$. Жол жүру уақыты Геосфералар динамикасы институтының мұрағатындағы сейсмограммаларды қайта қарау нәтижесінде алынды. М.А. Садовский «Бурабай» геофизикалық обсерваториясының (ГО) сейсмикалық топтастырудың ірі базалық жүйесінің (БСГ) Зеренді, Восточное, Чкалово шеткі нүктелерінің «Ожерелье» ішкі жүйесі үшін. Бұл жүйе Қазақстан аумағында 1979 жылдан бері жұмыс істеп келеді. Невада полигонының (НТС) Юкка алаңындағы жер асты ядролық жарылыстарын тіркеу мысалын пайдалана отырып, $89,3110^{\circ}–90,3701^{\circ}$ эпицентрлік қашықтық диапазонында бойлық толқынның жүру уақытының жергілікті годографтары мен сызықтық тенденциялары зерттеледі. Р-толқынының жылдамдықтары Юкка-Ожерелье жолдары мен шеткі нүктелер үшін бағаланады.

Түйін сөздер: Р толқыны, жылдамдық, саяхат уақыты, НТС, Орталық Азия.

TRAVEL TIME CURVES FOR YUCCA TEST SITE (NEVADA TEST SITE) – SEISMIC ARRAYS
«OZHEREL'E» (GEOPHYSICAL OBSERVATORY «BOROVOYE»)

K.S. Nepeina¹⁾, V.A. An²⁾

¹⁾ Бишкек қаласындағы PFA ғылыми станциясы, Бишкек, Қырғызстан

²⁾ Садовский PFA Геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей

This paper presents the travel times of P waves for 8 Yucca Flat (Nevada Test Site NTS) explosions from 1979 to 1984, with magnitudes $m_b = 4.9-5.9$. Travel times were obtained by revising seismograms from the archives Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics for the subsystem “Ozherel’e” (Necklace) of peripheral points Zerenda, Vostochniy, Chkalovo of the large-base seismic array system (SAS) of the geophysical observatory Borovoye. This system has been operating since 1979 on the territory of Kazakhstan. By the example of registration of underground nuclear explosions at the Yucca site of the Nevada Test Site (NTS), local travel time curves and linear trends in the P wave travel time in the range of epicentral distances $89.3110^\circ-90.3701^\circ$ are investigated. We estimate of the velocities of effective P waves for the Yucca-“Ozherel’e” and peripheral points.

Keywords: *P-wave, velocity, travel-time, NTS, Central Asia.*