

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-4-14-21>

УДК 550.34.621.039.9

ГОДОГРАФЫ Р-ВОЛН ОТ ВЗРЫВОВ НА ПЛОЩАДКЕ БАЛАПАН ДЛЯ ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ 36°

К. С. Непейна^{1*}, 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 работе приведены сведения о регистрации подземных ядерных взрывов (ПЯВ) Семипалатинского испытательного полигона (СИП) на площадке Балапан (Bal) с 1969 по 1988 гг. двумя станциями Единой службы сейсмических наблюдений (ЕССН СССР) – Ужгород (UZH) и Владивосток (VLA), поскольку эпицентральных расстояния для них наиболее близки между собой $\Delta \sim 36^\circ$. Записи журнала регистрации конкретных ПЯВ сохранились в архивах Института динамики геосфер РАН им. академика М. А. Садовского (ИДГ РАН). Магнитуды объемных волн (m_b) варьируются от 5,6 до 6,2. Для них на равноудаленных станциях было получено время пробега продольной волны (t_{p0}). Внесены поправки данные о времени регистрации и составлены годографы по трассам UZH-Bal, VLA-Bal и локальный для диапазона $\Delta \sim 36,0-36,6^\circ$. Значения скорости V_p составили ~ 10 км/с.

Ключевые слова: ядерный взрыв, продольная волна, время пробега, нижняя мантия, годограф, СИП.

ВВЕДЕНИЕ

Как было сказано раньше [1], «после введения в эксплуатацию сейсмических станций на территории Советского Союза Социалистических Республик (СССР) отметки времен регистрации подземных ядерных взрывов (ПЯВ) исключались из бюллетеней срочных донесений Геофизической службы АН СССР (ГС РАН, ныне Единой Геофизической службы РАН – ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия), а также, сейсмологический бюллетень сети опорных сейсмических станций СССР... Такой отдельный список готовился сотрудницей лаборатории 5-с Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР (зав. лабораторией д.ф.м.н. И. П. Пасечник) Хасей Давидович Рубинштейн. И только примерно в 1985 г. сообщения некоторых советских сейсмических станций начали публиковаться в оперативных сводках ГС РАН [1]. На данный момент эти списки хранятся в Институте динамики геосфер РАН имени академика М.А. Садовского (бывший Спецсектор ИФЗ АН СССР, ныне ИДГ РАН). Спустя годы было принято решение оцифровать эти записи и проанализировать их». Интерес к историческим записям (сейсмограммам) до сих пор актуален, поскольку источники такой мощности как ядерный взрыв сейчас не реализуется, при этом является «инструментом» исследования динамики внутреннего строения Земли [2–4]. По сегодняшний день происходит оцифровка магнитных и бумажных лент станции СССР [5–7]. С этой точки зрения, исследования по взрывам Семипалатинского испытательного полигона (СИП) по-прежнему требует тщательного анализа [3], что делается, например, в Институте геофизических исследований (ИГИ НЯЦ РК) [8–10]. В результате последовательного изучения глубинных сейсмических фаз на протяжении десятилетий можно судить об эволюции Земли и существования аномальных областей на плане-

те (волноводов, например) [11, 12]. Таким образом, изучение ядерных взрывов в качестве аналога записей землетрясений, до сих пор актуально [13].

В работах [14–19] изучались вариации времени пробега волн на эпицентральных расстояниях $\Delta \sim 0-27^\circ$, $\sim 8-85^\circ$, $\sim 54-70^\circ$, $\sim 90^\circ$, $\sim 134-160^\circ$. В данном исследовании выбран диапазон вблизи 40° , поскольку часто ученые обращаются именно к этому значению, т.к. это связано с переходной зоны от верхней мантии к нижней и подходит для объяснения наблюдаемых экспериментальных особенностей. По мнению [20] это расстояние характеризуется резким изменением градиента скоростей Р-волн на глубине около 960 км. Для расстояний $15-40^\circ$ спектральные характеристики были получены в [15], а для $45-57^\circ$ – в [21]. Для уточнения наличия записей на самих сейсмограммах было оформлены запросы в ФИЦ ЕГС РАН по станциям Ужгород и Владивосток с 1969 по 1988 гг.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В работе приведены параметры сейсмических станций Единой службы сейсмических наблюдений ЕССН СССР, записи которых содержат регистрацию ПЯВ на площадке Балапан (Bal) Семипалатинского испытательного полигона на территории Казахской ССР с 1969 по 1988 гг. В таблице 1 указаны названия сейсмических станций, которые используются в данном исследовании.

Таблица 1. Координаты рассматриваемых сейсмических станций ЕССН СССР

| Название | Дата открытия | Код станции | Широта, °N | Долгота, °E | Источник |
|-------------|---------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| Владивосток | 06.12.1929 | VLA | 43,120 | 131,893 | [22, 23, 24] |
| Ужгород | 1934 | UZH | 48,6310 | 22,2930 | [22, 23, 25] |

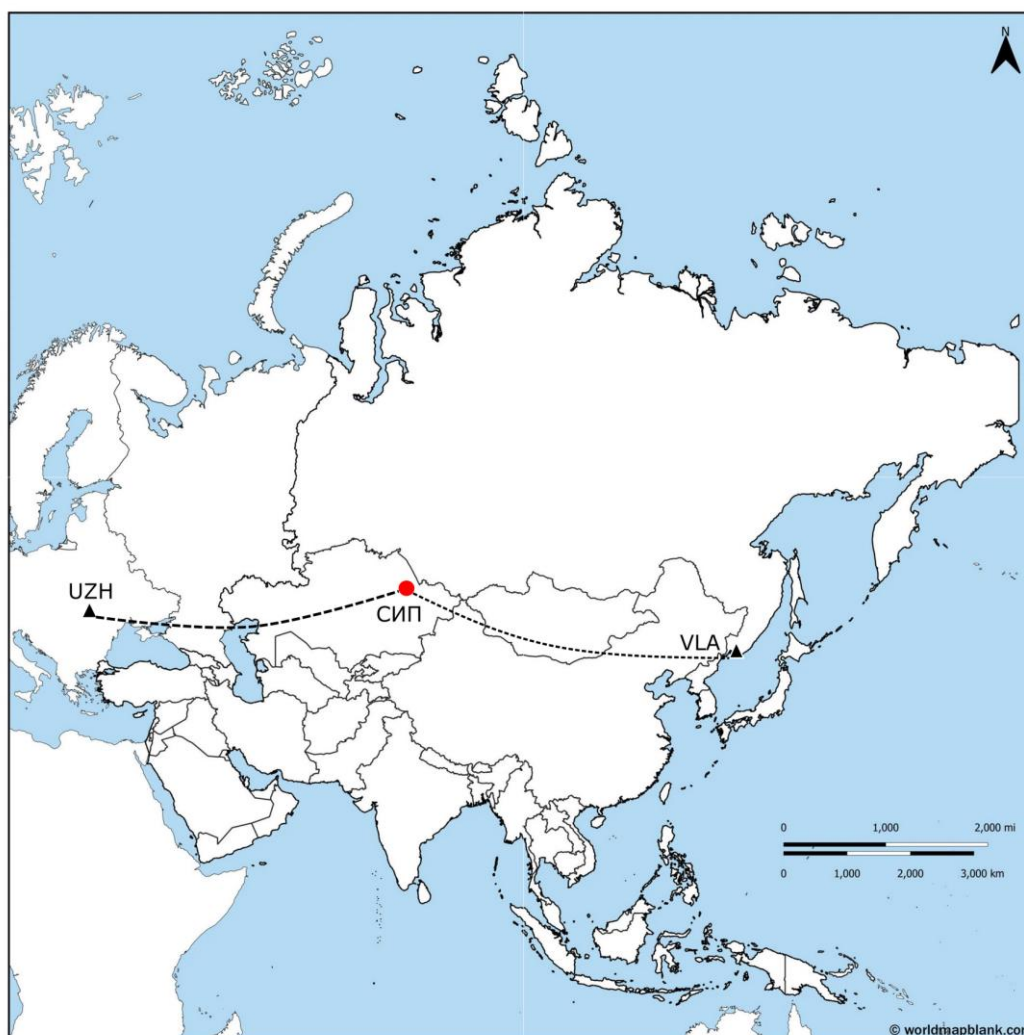


Рисунок 1. Схема расположения СИП (круг) по отношению к сеймостанциям Ужгород (UZH) и Владивосток (VLA)

Станция Владивосток расположена на северо-востоке от СИП в Приморском крае СССР, а Ужгород – на северо-запад, в Закарпатской области на территории Украинской ССР. Они равноудалены от СИП на эпицентрального расстояние $\Delta^\circ \sim 36,0\text{--}36,6$ (около 4000 км) (рисунок 1).

По результатам изучения сейсмограмм получены значения времени пробега (t_{p0}) по 15 взрывам для станции Ужгород и 25 – Владивосток. Заголовки в таблицах обозначены следующим образом: № – порядковый номер, дата – календарная дата и время проведения испытания (Гринвич чч:мм:сс), географические координаты (широта и долгота), m_b – магнитуда по объемным волнам, V_{max} – увеличение на сейсмометре, Δ° – эпицентрального расстояние, Az° – азимут в градусах от эпицентра, t_{p0} – время пробега продольной волны в секундах (минуты и секунды), примечания. Тип сейсмометра: СК – сейсмограф Кирноса, СКМ – сейсмограф Кирноса модифициро-

ванный, СКД – сейсмограф Кирноса длиннопериодный. СКД используется для регистрации сейсмических волн в диапазоне от 0,2 до 40 сек, с амплитудой до 5 мм. Сами сейсмографы ныне являются музейными экспонатами. С некоторыми из них можно познакомиться в Музее развития сейсмологии в России в г. Обнинск при ФИЦ ЕГС РАН.

В результате оценки линейной регрессии был произведен расчёт локального годографа Р-волны для трассы «полигон – сеймостанция» по вычисленным эпицентрального расстояниям и временам пробега всех принятых в обработку взрывов, как $t_{p0} = k \cdot \Delta^\circ + b$, где Δ° – эпицентрального расстояние, k и b – произвольные константы [26]. Были построены кусочные годографы для станций Ужгород и Владивосток и общий локальный годограф для $\Delta \sim 36.0\text{--}36.6^\circ$ (рисунок 2). После этого тем же методом получены вариации t_{p0} в зависимости от календарной даты (рисунок 3).

ГОДОГРАФЫ Р-ВОЛН ОТ ВЗРЫВОВ НА ПЛОЩАДКЕ БАЛАПАН ДЛЯ ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ 36°

Таблица 2. Параметры подземных ядерных взрывов Балапан (СИП), зарегистрированных на станции Ужгород

| № п/п | Дата дд.мм.гггг | Время чч:мм:сс | Широта °N | Долгота °E | m_b | V_{max} | Δ° | Az° от UZH | t_{p0} мин-сек | Примечания |
|-------|--------------------|-------------------|--------------|---------------|-------|--------------------|----------------|---------------|---------------------|---|
| 01 | 23.07.1973 | 01:23:00,285 | 49,9688 | 78,8176 | 6,1 | 44·10 ³ | 36,1349 | 65,98 | 7-02,231 | |
| 02 | 15.09.1978 | 02:37:00,07 | 49,9292 | 78,8627 | 6,0 | 96·10 ³ | 36,1759 | 66,03 | 7-03,020 | |
| 03 | 23.06.1979 | 02:57:00,19 | 49,9156 | 78,8452 | 6,2 | 34·10 ³ | 36,1700 | 66,05 | 7-03,702 | № 3 выпадает примерно на +1 сек |
| 04 | 02.12.1979 | 04:37:00,05 | 49,9097 | 78,7850 | 6,0 | 41·10 ³ | 36,1356 | 66,09 | 7-04,226 | $t_{p0 \max}$ № 4 выпадает примерно на +2 сек |
| 05 | 23.12.1979 | 04:57:00,067 | 49,9328 | 78,7502 | 6,2 | 41·10 ³ | 36,1065 | 66,06 | 7-02,404 | брак ленты |
| 06 | 13.09.1981 | 02:17:20,91 | 49,9140 | 78,8952 | 6,1 | 41·10 ³ | 36,2009 | 66,04 | 7-02,711 | вступление на мин метке |
| 07 | 25.04.1984 | 01:09:06,14 | 49,9370 | 78,8510 | 6,0 | 39·10 ³ | 36,1946 | 66,02 | 7-02,653 | |
| 08 | 14.07.1984 | 01:09:13,14 | 49,9091 | 78,8778 | 6,2 | 39·10 ³ | 36,1921 | 66,05 | 7-03,209 | |
| 09 | 15.06.1985 | 00:57:03,25 | 49,9081 | 78,8394 | 6,1 | 39·10 ³ | 36,1534 | 66,06 | 7-03,213 | второй № 9 выпадает примерно на +1 сек |
| 10 | 17.04.1987 | 01:03:07,241 | 49,8836 | 78,6719 | 6,0 | 39·10 ³ | 36,0760 | 66,17 | 6-59,277 | $\Delta^\circ \min$ есть Дегелен выпадает примерно на –2–3 сек |
| 11 | 20.06.1987 | 00:53:07,165 | 49,9369 | 78,7456 | 6,1 | 39·10 ³ | 36,1023 | 66,06 | 7-02,224 | |
| 12 | 15.11.1987 | 03:31:09,215 | 49,8988 | 78,7567 | 6,1 | 39·10 ³ | 36,1222 | 66,11 | 7-02,403 | |
| 13 | 13.12.1987 | 03:21:07,31 | 49,9615 | 78,7934 | 6,1 | 39·10 ³ | 36,1227 | 66,00 | 7-01,724 | |
| 14 | 13.02.1988 | 03:05:08,327 | 49,9322 | 78,8681 | 6,1 | 39·10 ³ | 36,1782 | 66,02 | 7-03,449 | выпадает примерно на +1 сек |
| 15 | 03.04.1988 | 01:33:08,294 | 49,9072 | 78,9072 | 6,0 | 39·10 ³ | 36,2106 | 66,04 | 6-58,040 | $\Delta^\circ \max$ $t_{p0 \min}$ есть Дегелен выпадает примерно на –5 сек |

* Примечание: Каналы СКМ.

$\Delta^\circ \min$ -max: 36,076 (№ 10) – 36,2106 (№ 15)

$t_{p0 \min}$ -max: 6 мин 58,040 сек (№ 15) – 7 мин 4,226 сек (№ 4)

Таблица 3. Параметры подземных ядерных взрывов Балапан (СИП), зарегистрированных на станции Владивосток

| № п/п | Дата дд.мм.гггг | Время чч:мм:сс | Широта °N | Долгота °E | m_b | V_{max} | Δ° | Az° от VLA | t_{p0} мин-сек | Примечания |
|-------|--------------------|-------------------|--------------|---------------|-------|-----------|----------------|---------------|---------------------|---|
| 01 | 30.11.1969 | 03:32:59,732 | 49,9243 | 78,9558 | 6,0 | 25450 | 36,3975 | 299,64 | 7-04,707 | |
| 02 | 02.11.1972 | 01:27:00,2 | 49,9270 | 78,8172 | 6,1 | 24735 | 36,4851 | 299,67 | 7-04,849 | |
| 03 | 10.12.1972 | 04:27:10,0 | 50,0270 | 78,9956 | 6,0 | 24735 | 36,3544 | 299,80 | 7-04,009 | |
| 04 | 23.07.1973 | 01:23:00,285 | 49,9688 | 78,8176 | 6,1 | ? | 36,4776 | 299,74 | 7-04,887 | есть на UZH |
| 05 | 27.04.1975 | 05:36:59,76 | 49,9392 | 78,9078 | 5,6 | 23317 | 36,4254 | 299,67 | 7-04,120 | |
| 06 | 29.08.1978 | 02:37:08,954 | 50,0092 | 78,9675 | 5,9 | ? | 36,3751 | 299,77 | 7-04,143 | есть Дегелен |
| 07 | 15.09.1978 | 02:37:00,07 | 49,9292 | 78,8627 | 6,0 | 25100 | 36,4559 | 299,66 | 7-04,128 | есть на UZH |
| 08 | 23.06.1979 | 02:57:00,19 | 49,9156 | 78,8452 | 6,2 | 23317 | 36,4694 | 299,64 | 7-02,624 | выпадает на –2 сек; есть на UZH |
| 09 | 04.08.1979 | 03:56:59,76 | 49,9044 | 78,8869 | 6,1 | 23317 | 36,4448 | 299,62 | 7-04,904 | |
| 10 | 28.10.1979 | 03:16:59,71 | 49,9969 | 78,9955 | 6,0 | ? | 36,3596 | 299,75 | 7-03,906 | |
| 11 | 02.12.1979 | 04:37:00,05 | 49,9097 | 78,7850 | 6,0 | 13000 | 36,5087 | 299,64 | 6-45,299 | выпадает на –20 сек; есть на UZH |
| 12 | 23.12.1979 | 04:57:00,067 | 49,9328 | 78,7502 | 6,2 | 13000 | 36,5268 | 299,69 | 7-05,881 | |
| 13 | 13.09.1981 | 02:17:20,91 | 49,9140 | 78,8952 | 6,1 | 13000 | 36,4378 | 299,63 | 7-03,940 | выпадает на –2 сек; есть на UZH |
| 14 | 18.10.1981 | 03:57:05,27 | 49,9286 | 78,8446 | 6,1 | ? | 36,4675 | 299,66 | 7-04,900 | |
| 15 | 29.03.1984 | 05:19:10,84 | 49,9115 | 78,9281 | 5,9 | 25100 | 36,4173 | 299,62 | 7-04,066 | |
| 16 | 25.04.1984 | 01:09:06,14 | 49,9370 | 78,8510 | 6,0 | 25100 | 36,4619 | 299,68 | 7-04,693 | есть на UZH |
| 17 | 26.05.1984 | 03:13:15,12 | 49,9802 | 79,0062 | 6,1 | 25100 | 36,3557 | 299,72 | 7-03,708 | |
| 18 | 14.07.1984 | 01:09:13,14 | 49,9091 | 78,8778 | 6,2 | 25100 | 36,4498 | 299,63 | 7-04,491 | есть на UZH |
| 19 | 02.12.1984 | 03:19:09,1 | 50,0091 | 79,0088 | 5,9 | 25100 | 36,3491 | 299,77 | 7-03,216 | Δ° , $t_{p0 \min}$ |
| 20 | 15.06.1985 | 00:57:03,25 | 49,9081 | 78,8394 | 6,1 | ? | 36,4744 | 299,63 | 7-05,601 | есть второй; есть на UZH |
| 21 | 17.04.1987 | 01:03:07,241 | 49,8836 | 78,6719 | 6,0 | 25100 | 36,5854 | 299,62 | 7-05,706 | $\Delta^\circ \max$; есть Дегелен; есть на UZH |
| 22 | 20.06.1987 | 00:53:07,165 | 49,9369 | 78,7456 | 6,1 | 25100 | 36,5290 | 299,70 | 7-05,203 | есть на UZH |
| 23 | 02.08.1987 | 00:58:09,27 | 49,8808 | 78,8747 | 5,9 | 25100 | 36,4567 | 299,58 | 7-05,043 | есть Новая Земля |
| 24 | 15.11.1987 | 03:31:09,215 | 49,8988 | 78,7567 | 6,1 | 25100 | 36,5287 | 299,63 | 7-05,488 | есть на UZH |
| 25 | 13.12.1987 | 03:21:07,31 | 49,9615 | 78,7934 | 6,1 | 25100 | 36,4943 | 299,73 | 7-06,258 | $t_{p0 \max}$; есть на UZH |

* Примечание: Каналы до 13.09.1981 СК, затем СКД.

$\Delta^\circ \min$ -max: 36,3491 (№ 19) – 36,5854 (№ 21)

$t_{p0 \min}$ -max: 7 мин 03,216 сек (№ 19) – 7 мин 06,258 сек (№ 25)

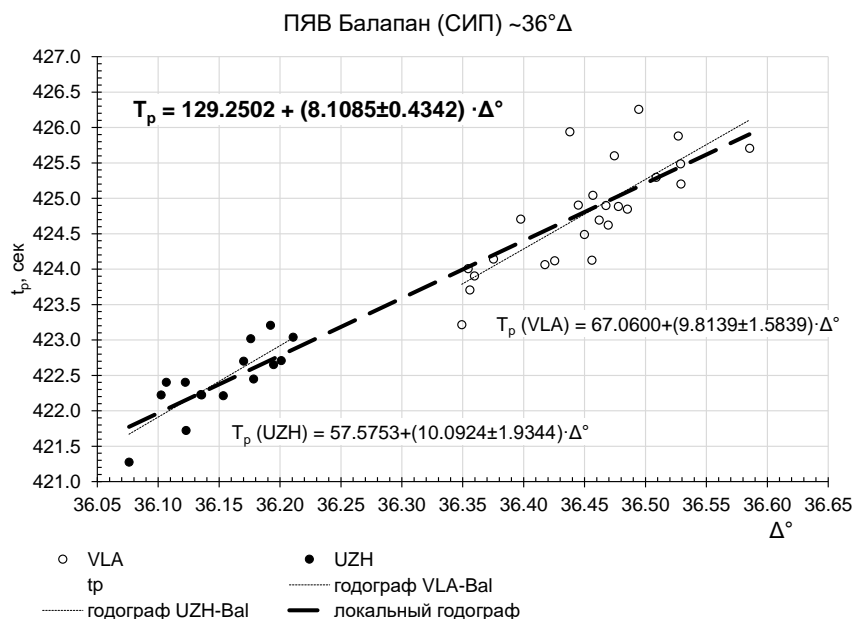


Рисунок 2. Годограф на трассах Ужгород – Балапан (UZH-Bal) $36,0760^\circ \leq \Delta \leq 36,2106^\circ$, Владивосток – Балапан (VLA-Bal) $36,3491^\circ \leq \Delta \leq 36,5854^\circ$ и общий локальный годограф в диапазоне $\Delta \sim 36,0-36,6$

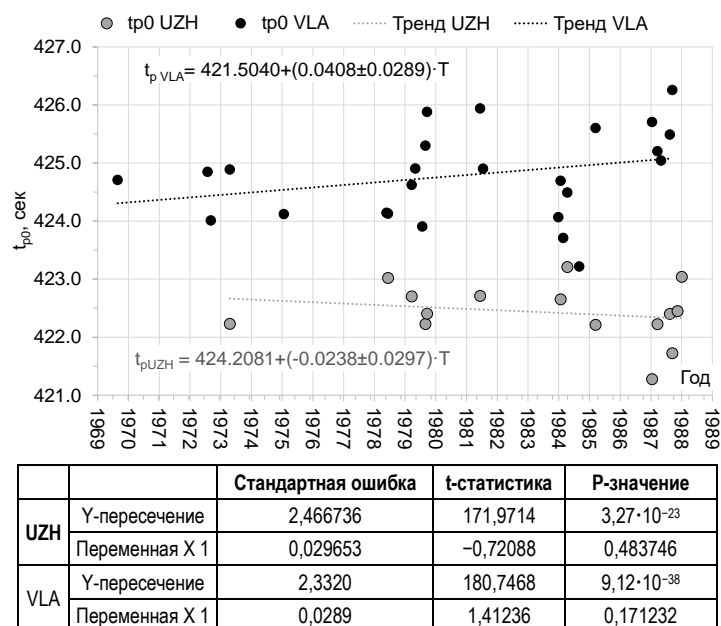


Рисунок 3. Тренд вариаций t_{p0} в календарном времени на трассах Ужгород – Балапан (UZH-Bal), Владивосток – Балапан (VLA-Bal)

ВЫВОДЫ

В результате выборки записей регистрации Семипалатинских взрывов на площадке Балапан на самих сейсмограммах станций ЕССН СССР, впервые получены времена пробега продольных волн (t_{p0}). Однако во время построений были обнаружены неточности во времени регистрации.

Так, для станции Ужгород значения времени пробега Р-волны выпадают от -5 до +2 секунд (таблица 4).

Таблица 4. Измененное время пробега от ПЯВ Балапан (СИП), зарегистрированных на станции Ужгород

| № из табл. 2 | Δt, сек | t _{изм} UZH мин-сек |
|--------------|---------|------------------------------|
| 3 | +1 | 7-2,702 |
| 4 | +2 | 7-2,226 |
| 9 | +1 | 7-02,213 |
| 10 | -(2-3) | 7-01,277 |
| 14 | +1 | 7-02,449 |
| 15 | -5 | 7-03,04 |

Для станции Владивосток таких отклонений меньше – всего 3 значения (таблица 5). Одно из них (№ 11), к сожалению, сильно выделяется (–20 секунд).

Таблица 5. Измененное время пробега от ПЯВ Балапан (СИП), зарегистрированных на станции Владивосток

| № из табл. 2 | Δt , сек | $t_{\text{изм VLA}}$ МИН-СЕК |
|--------------|------------------|------------------------------|
| 08 | –2 | 7-04,624 |
| 11 | –20 | 7-05,299 |
| 13 | –2 | 7-05,94 |

После внесения поправок были получены уравнения годографов на трассах (T_p время в секундах):

Ужгород – Балапан (UZH-Bal):

$T_p = 57,5753 + (10,0924 \pm 1,9344) \cdot \Delta^\circ$, где эпицентральное расстояние $36,0760^\circ \leq \Delta \leq 36,2106^\circ$;

Владивосток – Балапан (VLA-Bal):

$T_p = 67,0600 + (9,8139 \pm 1,5839) \cdot \Delta^\circ$, где эпицентральное расстояние $36,3491^\circ \leq \Delta \leq 36,5854^\circ$;

и общий локальный годограф:

$T_p = 129,2502 + (8,1085 \pm 0,4342) \cdot \Delta^\circ$, где эпицентральное расстояние находится в диапазоне $\Delta \sim 36,0 - 36,6^\circ$, что соответствует ~ 4000 км.

При таких значениях были рассчитаны тренды вариаций времени пробега в зависимости от календарной даты (t_p время в секундах, T – последние две цифры года):

$t_{p \text{ UZH}} = 424,2081 + (-0,0238 \pm 0,0297) \cdot T$,

$t_{p \text{ VLA}} = 421,5040 + (0,0408 \pm 0,0289) \cdot T$.

Прямолинейная регрессия для зависимости от календарной даты имеет разнонаправленные тренды: для Ужгорода – слабоотрицательный, для Владивостока – слабоположительный. Это также свидетельствует о различных процессах на границе нижняя-верхняя мантия.

Сделаны оценки скорости продольных волн для данных трасс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные уравнения годографов свидетельствуют о схожих значениях скоростей продольных волн для эпицентральных расстояний $\sim 36^\circ$ на континентальной части восточного полушария земного шара вне зависимости от направления от источника колебаний (на запад или восток от Семипалатинского полигона). Вероятно, значение скорости на трассе Ужгород – Балапан несколько выше за счет меньшего числа зарегистрированных ПЯВ, а также более высокой чувствительности у станции Владивосток. На сейсмостанции VLA минимальная зарегистрированная магнитуда m_b составила 5,6, в то время, как на UZH – 6,0. Значения скорости V_p составили ~ 10 км/с (UZH) и $\sim 9,8$ км/с (VLA). В стандартной модели PREM (Preliminary Reference Earth Model) это соответствует либо переходной зоне от верхней мантии к нижней, либо нижней мантии (< 1000 км по глубине).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Геофизической службы РАН Е.Б. Тереховой и Л.С. Петуховой за помощь, оказанную при выборке необходимых сейсмограмм в архиве ФИЦ ГС РАН, а также коллегам из ИФЗ РАН и ИДГ РАН, работавшими в прошлом над сбором материалов (Петру Бернхардовичу Каазику, Джамилу Джангировичу Султанову и Хасе Давидовне Рубинштейн). Авторы признательны рецензентам за замечания.

Работа подготовлена в рамках деятельности молодежного отделения Российского Пагуошского комитета при Президиуме РАН, приурочена к десятилетию науки и технологий в России. Исследование выполнено для реализации государственного задания Научной станции РАН в г. Бишкеке 1021052806454-2-1.5.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Непейна К.С. Сейсмические станции Советского Союза и регистрация подземных ядерных взрывов / К.С. Непейна, В.А. Ан // Вестник НЯЦ РК. – 2021. – Вып. 2. – С. 47–52. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-47-52>
2. Richards P.G. Seismic monitoring of nuclear explosions / P.G. Richards / In: Geophysics. Encyclopedia of Earth Science. – Springer, Boston, MA. – 1989. https://doi.org/10.1007/0-387-30752-4_131
3. Ан В.А. Подземный ядерный взрыв «инструмент» исследования динамики внутреннего строения Земли / В.А. Ан, Л.Д. Годунова, П.Б. Каазик, Т.В. Челюбеева // Вестник НЯЦ РК. – 2006. – № 2. – С. 27–32.
4. Ан В.А. Оценка тренда времени пробега волны $PKIKP_{DF}$ на трассе Семипалатинский испытательный полигон – сейсмическая станция «Новолазаревская» в Антарктиде / В.А. Ан, П.Б. Каазик, К.С. Непейна // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – Вып. 2. – С. 32–35. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2018-2-32-35>
5. Великанова А.А. Новая методика оцифровки исторических записей ядерных взрывов / А.А. Великанова, А.Н. Узбеков, И.Б. Алешенко // Вестник НЯЦ РК. – 2015. – Вып. 3. – С. 72–77.
6. Дягилев Р.А. Оцифровка сейсмограмм мирных ядерных взрывов / Р.А. Дягилев, П.Г. Бутырин, К. Мяки, Д. Бурк, К. Бурхард, Б. Уилер, К. Уитт, А.А. Добрынина // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 28–40. <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.1.02>
7. Рябенко П.В. Результаты внедрения новой технологии оцифровки исторических сейсмограмм в центре данных / П.В. Рябенко, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2023. – Вып. 1. – С. 61–68. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-1-61-68>
8. Соколова И.Н. Исторические данные и архивные сейсмограммы как подтверждение сейсмичности территории Семипалатинского испытательного полигона / И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – № 3. – С. 73–80.
9. Соколова И.Н. Уточнение параметров слабых ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне на основе изучения исторических сейсмограмм /

- И.Н. Соколова., А.Е. Великанов // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 2. – С. 49–56.
10. Копничев Ю.Ф. Пространственно-временные вариации поля поглощения короткопериодных S-волн в районе Семипалатинского испытательного полигона (по записям ядерных и химических взрывов) / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические процессы и биосфера. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 44–52. <https://doi.org/10.21455/GPB2022.4-3>
 11. Адушкин В.В. Структурные особенности внутреннего строения Земли по результатам сейсмических наблюдений за подземными ядерными взрывами / В.В. Адушкин, В.А. Ан, В.М. Овчинников // Физика Земли. – 2000. – № 12. – С. 3–26.
 12. Бурмин В.Ю. Скорость распространения продольных сейсмических волн в мантии Земли / В. Ю. Бурмин // Физика Земли. – 2004. – № 8. – С. 34–40.
 13. Добрынина А.А. Скорости сейсмических волн в земной коре и верхней мантии Юга Сибири и Севера Монголии по данным ядерных взрывов / А.А. Добрынина, Ц. Батсайхан, В.А. Саньков, В.В. Чечельницкий, Б. Дулмаа // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества : труды Международной научной конференции, Иркутск, 06–08 апреля 2022 года. – Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук. – 2022. – С. 120–124.
 14. Carder D.S. Seismic wave arrivals from LONGSHOT, 0° to 27° / D.S. Carder, D. Tocher, C. Buee, S.W. Stewart, J. Eisler, E. Berg // Bull. Seismol. Soc. Am. – 1967. – Vol. 57. – P. 573–590.
 15. Кедров Э.О. Спектрально-временной метод идентификации сейсмических явлений с расстояний 15°–40° / Э.О. Кедров, О.К. Кедров // Физика Земли. – 2006. – № 5. – С. 47–64.
 16. Кедров О.К. Методы контроля подземных ядерных взрывов по сейсмическим данным на эпицентральных расстояниях свыше 500 километров / О.К. Кедров, В.А. Ан, В.А. Лаушкин, Е.И. Люкэ, В.М. Овчинников, Л.А. Поликарпова // Изв. АН СССР, Физика Земли. – 1990. – № 12. – С. 31–46.
 17. Ан В.А. Вариации параметров сейсмических волн при просвечивании Земли на расстоянии 90° / В.А. Ан, Е.И. Люкэ, И.П. Пасечник // Докл. АН СССР. – 1985. – Т. 285. – № 4. – С. 836–840.
 18. Непейна К.С. Годографы от взрывов площадки Пахьют по данным Курило-Камчатских сейсмических станций / К.С. Непейна, В.А. Ан // Вестник НЯЦ РК. – 2022. – Вып. 2. – С. 53–61. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-2-53-61>
 19. Непейна К. С. Годографы сейсмических волн от подземных взрывов на острове Амчитка / К. С. Непейна, В. А. Ан // Акустический журнал. – 2021. – Т. 67. – № 6. – С. 650–658. <https://doi.org/10.31857/S0320791921060125>
 20. Enayatollah M.A. Continental-Array Measurements of P-Wave Velocities in the Mantle / M.A. Enayatollah // Pure Appl. Geophys. PAGEOPH. – 1972. – Vol. 94. – P. 136–147. <https://doi.org/10.1007/BF00875676>
 21. Wright C. Regional Travel-Time and Slowness Measurements for P-Waves in the Distance Range 40–57° / C. Wright // Phys. Earth Planet. Inter. – 1983. – Vol. 32. – P. 168–181. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(83\)90137-1](https://doi.org/10.1016/0031-9201(83)90137-1)
 22. Координаты сейсмических станций Единой системы сейсмических наблюдений. – М.: Академия Наук СССР, ордена Ленина Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, 1984. – 12 с.
 23. Кондорская Н.В. Сейсмические станции ЕССН СССР на 01.01.1990 г. / Н.В. Кондорская, И.В. Фёдорова. – М.: Российская Академия Наук, Объединённый институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта. – 1996. – 36 с.
 24. Цифровая база сейсмических станций на территории России и СССР // ФГБУН ФИЦ Единая Геофизическая служба РАН. <http://eqru.gsr.ru/stations/index.php?inc=stalist> [Дата обращения 27.05.2022]
 25. Вербицкий С.Т. Карпаты / С.Т. Вербицкий, А.Ф. Стасюк, М.В. Чуба, Р.С.Пронишин, Ю.Т. Вербицкий, Н.Я. Степаненко, И.В. Алексеев, Н.А. Симонова // В книге Землетрясения Северной Евразии. – Обнинск: ГС РАН. – 2003. – Вып. 12. – С. 44–51.
 26. Непейна К.С. Вариации времен пробега продольных волн по массиву цифровых сейсмограмм / К.С. Непейна, В.А. Ан // Акустический журнал. – 2020. – Т. 66. – № 6. – С. 647–653. <https://doi.org/10.31857/S0320791920060064>

REFERENCES

1. Nepeina K.S. Historical seismic stations in USSR and registration underground nuclear explosions / K.S. Nepeina, V.A. An // NNC RK Bulletin. – 2021. – No. 2. – P. 47–52. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-47-52> (In Russ.)
2. Richards P.G. Seismic monitoring of nuclear explosions / P.G. Richards // In: Geophysics. Encyclopedia of Earth Science. – Springer, Boston, MA. – 1989. https://doi.org/10.1007/0-387-30752-4_131
3. An V.A. Underground nuclear explosion – a research “tool” for dynamics of internal Earth structure / V.A. An, L.D. Godunova, P.B. Kaazik, T.B. Chelyubeyeva // NNC RK Bulletin. – 2006. – No. 2. – P. 27–32. (In Russ.)
4. An V.A. Evaluation of the trend of the PKIKP_{DF} wave probe time on the Semipalatinsk Test Site trace – seismic station “Novolazarevskaya” in Antarctica / V.A. An, P.B. Kaazik, K.S. Nepeina // NNC RK Bulletin. – 2018. – No. 2. – P. 32–35. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2018-2-32-35> (In Russ.)
5. Velikanova A.A. New technique for digitization of historical records of nuclear explosions / A.A. Velikanova, A.N. Uzbekov, I.B. Aleshenko // NNC RK Bulletin. – 2015. – No. 3. – P. 72–77. (In Russ.)
6. Dyagilev R.A. Digitization of Soviet peaceful nuclear explosion seismograms / R.A. Dyagilev, P.G. Butyrin, K. Mackey, D. Burk, K. Burkhard, B. Wheeler, C. Witte, A.A. Dobrynina // Rossiiskii seismologicheskii zhurnal Russian Journal of Seismology. – 2022. – No. 4(1). – P. 28–40. <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.1.02> (In Russ.)
7. Ryabenko P.V. The results of historical seismograms new digitization technique implementation at the data center / P.V. Ryabenko, I.N. Sokolova // NNC RK Bulletin. – 2023. – No. 1. – P. 61–68. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-1-61-68> (In Russ.)
8. Sokolova I.N. Historical data and archive seismograms as confirmation of Semipalatinsk Test Site seismicity / I.N. Sokolova, N.N. Mikhailova // NNC RK Bulletin. – 2020. – No. 3. – P. 73–80. (In Russ.)

9. Sokolova I.N. Precision of small nuclear explosions parameters at Semipalatinsk Test Site based on historical seismograms / I.N. Sokolova, A.E. Velikanov // NNC RK Bulletin. – 2013. – No. 2. – P. 49–56. (In Russ.)
10. Kopnichen Yu.F. Space-time variations of short-period s-wave attenuation field in the region of Semipalatinsk Test Site (using recordings of nuclear and chemical explosions) / Yu.F. Kopnichen, I.N. Sokolova // Geophysical processes and biosphere – 2022. – Vol. 21. – No. 4. – P. 44–52. – <https://doi.org/10.21455/GPB2022.4-3> (in Russ.)
11. Adushkin V.V. Constraints on the internal structure of the earth from seismic observations of underground nuclear explosions / Adushkin V.V., An V.A., Ovtchinnikov V.M. // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. – 2000. – Vol. 36. – No. 12. – P. 985–1007.
12. Burmin V.Yu. P wave velocities in the mantle / V. Yu. Burmin // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. – 2004. – Vol. 40, No. 8. – P. 641–646.
13. Dobrynina A.A. Seismic wave velocities in the Earth's crust and upper mantle of the South of Siberia and the North of Mongolia according to the data of nuclear explosions / A.A. Dobrynina, Ts. Batsaikhan, V.A. Sankov, V.V. Chechelnitzky, B. Dulmaa // Rossiya i Mongoliya: rezul'taty i perspektivy nauchnogo sotrudnichestva : trudy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Irkutsk, 06–08 aprelya 2022 goda. – Irkutsk: Institut geografii im. V.B. Sochavy Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk. – 2022. – P. 120–124. (In Russ.)
14. Carder D.S. Seismic wave arrivals from LONGSHOT, 0° to 27° / D.S. Carder, D. Tocher, C. Buee, S.W. Stewart, J. Eisler, E. Berg // Bull. Seismol. Soc. Am. – 1967. – Vol. 57. – P. 573–590.
15. Kedrov E.O. Spectral time method of identification of seismic events at distances of 15°–40° / E.O. Kedrov, O.K. Kedrov // Izv. Phys. Solid Earth. – 2006. – Vol. 42. – P. 398–415. <https://doi.org/10.1134/S1069351306050041>
16. Kedrov O.K. Methods of monitoring underground nuclear explosions from seismic data at epicentral distances of more than 500 km / O.K. Kedrov, V.A. An, V.A. Laushkin, E.I. Lyuke, V.M. Ovchinnikov, L.D. Polikarpova // Izv. Akad. Nauk SSSR, Fiz. Zemli. – 1990. – No. 12. – P. 31–46. (In Russ.)
17. An V.A. Seismic wave parameter variations determined by the seismic probing through a distance of 90° / V.A. An, E.I. Luke, I.P. Pasechnik // Dokl. Akad. Nauk SSSR. – 1985. – Vol. 285. – No. 4. – P. 836–840. (In Russ.)
18. Nepeina K.S. Pahute Mesa travel times at Kuril–Kamchatka seismic stations / K.S. Nepeina, V.A. An // NNC RK Bulletin. – 2022. – No. 2. – P. 53–61. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-2-53-61> (In Russ.)
19. Nepeina K.S. Travel Time Curves of Seismic Waves from Underground Explosions on Amchitka Island / K.S. Nepeina, V.A. An // Acoustical Physics. – 2021. – Vol. 67. – No. 6. – P. 640–647. – <https://doi.org/10.1134/S1063771021060117>
20. Enayatollah M.A. Continental-Array Measurements of P-Wave Velocities in the Mantle / M.A. Enayatollah // Pure Appl. Geophys. PAGEOPH. – 1972. – Vol. 94. – P. 136–147. <https://doi.org/10.1007/BF00875676>
21. Wright C. Regional Travel-Time and Slowness Measurements for P-Waves in the Distance Range 40–57° C. Wright // Phys. Earth Planet. Inter. – 1983. – Vol. 32. – P. 168–181. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(83\)90137-1](https://doi.org/10.1016/0031-9201(83)90137-1)
22. Koordinaty seysmicheskikh stantsiy Yedinoi sistemy seysmicheskikh nablyudeniy. – Moscow: Akademiya Nauk SSSR, ordena Lenina Institut fiziki Zemli im. O.Yu. Shmidta. – 1984. – 12 p. (In Russ.)
23. Kondorskaya N.V. Seysmicheskiye stantsii YESSN SSSR na 01.01.1990 g. / N.V. Kondorskaya, I.V. Fodorova. – Moscow: Rossiyskaya Akademiya Nauk, Ob'yedinonnyy institut fiziki Zemli im. O.Yu. Shmidta. – 1996. – 36 p. (In Russ.)
24. Tsifrovaya baza seysmicheskikh stantsiy na territorii Rossii i SSSR // FGBUN FITS Yedinaya Geofizicheskaya sluzhba RAN. – <http://eqru.gsras.ru/stations/index.php?inc=stalist> [Data of access 27.05.2022].
25. Verbitsky S.T. Carpath / S.T. Verbitsky, A.F. Stasyuk, M.V. Chuba, R.S. Pronishin, Yu.T. Verbitsky, N.Ya. Stepanenko, I.V. Alekseev, N.A. Simonova // Earthquakes of the Northern Eurasia. – Obninsk: GS RAS. – 2003. – Vol. 12. – P. 44–51. (In Russ.)
26. Nepeina K.S. Variations in P-wave Travel Times Based on a Digital Seismogram Dataset / K.S. Nepeina, V.A. An // Acoustical Physics. – 2020. – Vol. 66. – No. 6. – P. 645–650. <https://doi.org/10.1134/S1063771020060068>

36° ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫЕ КАШЫЧТЫҚТАР ҮШІН БАЛАПАН УЧАСКЕСІНДЕГІ ЖАРЫЛЫСТАРДАН Р-ТОЛҚЫНДАРЫНЫҢ ХОДОГРАФИЯСЫ

К. С. Непенина^{1*}, В. А. Ан²

¹ *Бішкек қаласындағы РҒА ғылыми станциясы, Бішкек, Қырғызстан*

² *Садовский РҒА Геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей*

* Байланыс үшін E-mail: nepeina.k@mail.ru

Жұмыста 1969–1988 жылдар аралығындағы Балапан (Бал) полигонындағы Семей полигонының (СТС) жерасты ядролық жарылыстарының (БҰЭ) тіркелуі туралы мәліметтер берілген. Бірыңғай сейсмикалық бақылау қызметінің екі станциясы (СССР ESSN) – Ужгород (UZH) және Владивосток (VLA), өйткені олар үшін эпицентрлік қашықтық бір-біріне ең жақын $\Delta \sim 36^\circ$. Нақты UNE реестрінің жазбалары Ресей ғылым академиясының Геосфера динамикасы институтының мұрағатында сақталған академик М.А. Садовский (РҒА ИДГ). Дене толқындарының шамасы (m_b) 5,6-дан 6,2-ге дейін. Олар үшін бірдей қашықтықтағы станцияларда бойлық толқынның жүру уақыты (t_{p0}) алынды. Тіркеу уақыты туралы мәліметтерге түзетулер енгізілді және $\Delta \sim 36,0\text{--}36,6^\circ$ диапазонында UZH-Bal, VLA-Bal және жергілікті іздер үшін годографтар құрастырылды. V_p жылдамдығы ~ 10 км/с болды.

Түйін сөздер: ядролық жарылыс, бойлық толқын, саяхат уақыты, төменгі мантия, годограф, SIP.

**P-WAVE TRAVEL TIME CURVES FROM EXPLOSIONS AT THE BALAPAN SITE
EPICENTRAL DISTANCES OF 36°**

K. S. Nepeina^{1*}, V. A. An²

¹ *Research Station RAS in Bishkek, Bishkek, Kyrgyzstan*

² *Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics RAS, Moscow, Russia*

** E-mail for contacts: nepeina.k@mail.ru*

The paper presents information on the registration of underground nuclear explosions (UNEs) of the Semipalatinsk test site (STS) at the Balapan site (Bal) from 1969 to 1988. Two stations of the Unified Seismic Observation Service (ESSN USSR) - Uzhgorod (UZH) and Vladivostok (VLA), since the epicentral distances for them are closest to each other $\Delta \sim 36^\circ$. Records of the register of specific UNEs have been preserved in the archives of the Institute of Geospheres Dynamics of the Russian Academy of Sciences. Academician M.A. Sadovsky (IDG RAS). Body wave magnitudes (m_b) range from 5.6 to 6.2. For them, at equidistant stations, the travel time of the P-wave (t_{p0}) was obtained. Corrections were made to the data on the registration and travel time curves were formed for the UZH-Bal, VLA-Bal and local traces for the range $\Delta \sim 36.0-36.6^\circ$. Velocity V_p is equal ~ 10 km/s.

Keywords: *nuclear explosion, P-wave, travel time, lower mantle, STS.*