

УДК 550.34:621.039.9

ПЛОЩАДКА БАЛАПАН СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА – СИСТЕМЫ ГРУППИРОВАНИЯ «ОЖЕРЕЛЬЕ» ОБСЕРВАТОРИИ «БОРОВОЕ»¹⁾ Непейна К.С., ²⁾ Ан В.А., ²⁾ Челюбеева Т.В.¹⁾ Научная станция РАН в г. Бишкеке, Бишкек, Кыргызстан²⁾ Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН, Москва, Россия

На примере регистрации 5 подземных ядерных взрывов на площадке Балапан Семипалатинского испытательного полигона (СИП), произведенных в период с 1979 по 1981 гг., получены и исследованы локальные годографы и линейные тренды времени пробега продольной волны P , зарегистрированной периферийными пунктами Зеренда, Восточный, Чкалово большебазовой системы сейсмического группирования «Боровое». Величины постоянной в полученных уравнениях тренда близки по значениям, что свидетельствует о высокой точности регистрации взрывов на площадке Балапан подсистемой группирования «Ожерелье».

ВВЕДЕНИЕ

План размещения, геодезические и основные параметры подсистем «Ожерелье» большебазовой системы сейсмического группирования (БСГ) геофизической обсерватории (ГО) «Боровое» представлены в предыдущей работе авторов [1]. В полном объеме БСГ «Боровое» начала работать с июня 1979 г., включая ее периферийные пункты Зеренда (ZER), Восточный (VOS) и Чкалово (CHK) и центральным пунктом Боровое (BRVK). Вокруг каждого из периферийных пунктов располагалось по шесть приборных пунктов (НУПов – наземных управляющих пунктов) с однокомпонентными сейсмометрами (так называемые «Ожерелья»). Апертура подгрупп «Ожерелий» равна 6 км. Общий апертурный размер БСГ «Боровое» – 135 км.

В [1] авторами рассматривались значения времен пробега продольной волны P , зарегистрированные системой периферийных пунктов Зеренда, Восточный, Чкалово БСГ «Боровое», от взрывов на испытательных площадках Невадского испытательного полигона (NTS) в период с 1967 по 1992 гг. В данной статье для анализа времен пробега продольной волны P , зарегистрированной подсистемой группирования «Ожерелье», выбраны пять подземных ядерных взрывов (ПЯВ) с магнитудами $m_b = 5,6–6,2$ на площадке Балапан (BAL) Семипалатинского испытательного полигона (СИП) [2] периода с 1979 по 1981 гг. Основные сведения об этих испытаниях приведены в таблице 1 [2].

При исследованиях использована база данных, содержащая сейсмограммы подземных ядерных взрывов на СИП, Института динамики геосфер им. академика М. А. Садовского РАН (ИДГ РАН), в чьем управлении до 1992 г. находилась экспедиция № 4 Спецсектора ИФЗ РАН в Боровом. Оцифровка базы данных была осуществлена сотрудниками ИДГ РАН в рамках гранта РФФИ № 97-07-90225.

Проведен анализ отобранных сейсмограмм и определены времена пробега (t_{p0}) продольной волны P по записям подземных ядерных взрывов работавших каналов вертикальных сейсмометров типа СБУ-В подсистем ZER, VOS, CHK и вертикального модернизированного сейсмографа Кирноса СВКМ-Z (пункта BRVK). Из пункта приема (ПП) сигналы передавались 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 регистрации СЦР-О [1].

В таблице 2 приведены параметры: отметки времен пробега волн для взрывов, рассчитанные расстояния трасс (в градусах) и азимуты НУПов подсистем «Ожерелье» – площадка Балапан, – полученные при анализе сейсмограмм.

В таблице 2, кроме времен пробега (t_{p0}) продольной волны P , указаны минимальные и максимальные значения эпицентрального расстояния (Δ°) и азимуты от эпицентра взрыва (Az°), а также дата проведения ПЯВ. В процессе работы с сейсмограммами обнаружился ряд следующих сбоев информации в базе данных Института динамики геосфер, возникших при реформатировании цифровых магнитных лент геофизической обсерватории «Боровое»: 1) 02.12.1979 г. – на сейсмограмме периферийного пункта Восточный выявлена обратная полярность на всех каналах, то есть смена положительных амплитуд на отрицательные и наоборот; 2) 29.03.1981 г. – на сейсмограмме периферийного пункта Восточный не обнаружены записи на всех каналах; 3) отсутствуют записи на сейсмограммах отдельных НУПов периферийного пункта Зеренда (02.12.1979 – НУП6, 12.10.1980 – НУП8); Восточный (14.12.1980 – НУП9); Чкалово (14.09.1980 – НУП5, 29.03.1981 – НУП6). Этими причинами объясняются пропуски данных в таблице 2.

**ПЛОЩАДКА БАЛАПАН СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА –
СИСТЕМЫ ГРУППИРОВАНИЯ «ОЖЕРЕЛЬЕ» ОБСЕРВАТОРИИ «БОРОВОЕ»**

Таблица 1. Основные параметры подземных ядерных взрывов площадки Балапан данного исследования

№ п/п	Дата дд.мм.гггг	Время (UTC) час:мин:сек	Широта, N°	Долгота, E°	H, м	h, м	m _b	Номер испытания
1	02.12.1979	04:37:00.05	49,9097	78,7850	343,0	522,6	6,0	1309
2	14.09.1980	02:42:41.8	49,9370	78,7974	324,0	482,6	6,2	1220
3	12.10.1980	03:34:16.8	49,9687	79,0227	306,0	508,0	5,9	1087
4	14.12.1980	03:47:09.065	49,9090	78,9187	326,5	530	5,9	1086
5	29.03.1981	04:03:52.705	50,0225	78,9796	311,2	433	5,6	1234

Примечание: H – высота поверхности над уровнем моря; h – глубина заложения заряда; m_b – магнитуда.

*Таблица 2. Времена t_{p0} по сейсмограммам периферийных и центрального пунктов подсистем «Ожерелье»
большебазовой системы сейсмического группирования «Боровое»*

Периферийный пункт Зеренда (ZER)									
№ п/п	Дата дд.мм.гггг	t _{p0} = 100 + δt _{p0} (сек)						Δ° _{min} ÷ Δ° _{max}	Az° _{min} ÷ Az° _{max} от эпицентра
		НУП4 δt _{p0}	НУП5 δt _{p0}	НУП6 δt _{p0}	НУП7 δt _{p0}	НУП8 δt _{p0}	НУП9 δt _{p0}		
1	02.12.1979	1,338	1,049	–	1,439	1,728	1,589	6,8044 ÷ 6,8552	299,99 ÷ 300,41
2	14.09.1980	1,072	0,933	0,885	1,415	1,659	1,513	6,7976 ÷ 6,8485	299,77 ÷ 300,19
3	12.10.1980	2,850	2,564	2,518	2,949	–	3,053	6,9082 ÷ 6,9454	299,12 ÷ 299,53
4	14.12.1980	2,470	2,087	2,089	2,574	2,862	2,673	6,8795 ÷ 6,9304	299,83 ÷ 300,16
5	29.03.1981	2,126	1,890	1,891	2,276	2,569	2,331	6,8577 ÷ 6,9088	298,81 ÷ 299,23
Периферийный пункт Восточный (VOS)									
№ п/п	Дата дд.мм.гггг	t _{p0} = 80 + δt _{p0} (сек)						Δ° _{min} ÷ Δ° _{max}	Az° _{min} ÷ Az° _{max} от эпицентра
		НУП4 δt _{p0}	НУП5 δt _{p0}	НУП6 δt _{p0}	НУП7 δt _{p0}	НУП8 δt _{p0}	НУП9 δt _{p0}		
1	02.12.1979	5,318	5,125	5,415	5,562	5,757	5,612	5,6425 ÷ 5,6915	302,83 ÷ 303,35
2	14.09.1980	5,148	4,959	5,296	5,397	5,588	5,447	5,6343 ÷ 5,6834	302,56 ÷ 303,08
3	12.10.1980	6,592	6,400	6,738	6,837	7,077	6,934	5,7401 ÷ 5,7805	301,69 ÷ 302,20
4	14.12.1980	6,354	6,115	6,454	6,599	6,794	–	5,7154 ÷ 5,7645	302,47 ÷ 302,98
5	29.03.1981	–	–	–	–	–	–	–	–
Периферийный пункт Чкалово (ЧНК)									
№ п/п	Дата дд.мм.гггг	t _{p0} = 90 + δt _{p0} (сек)						Δ° _{min} ÷ Δ° _{max}	Az° _{min} ÷ Az° _{max} от эпицентра
		НУП4 δt _{p0}	НУП5 δt _{p0}	НУП6 δt _{p0}	НУП7 δt _{p0}	НУП8 δt _{p0}	НУП9 δt _{p0}		
1	02.12.1979	3,678	3,443	3,542	3,876	4,119	4,027	6,2919 ÷ 6,3391	309,53 ÷ 310,01
2	14.09.1980	3,513	–	3,370	3,617	3,908	3,812	6,2826 ÷ 6,3278	309,30 ÷ 309,78
3	12.10.1980	4,761	4,573	4,668	4,958	5,202	5,107	6,3733 ÷ 6,4209	308,43 ÷ 308,91
4	14.12.1980	4,670	4,432	4,529	4,868	5,060	5,016	6,3589 ÷ 6,4062	309,14 ÷ 309,62
5	29.03.1981	3,990	3,804	–	4,284	4,481	4,386	6,3179 ÷ 6,3656	308,18 ÷ 308,65
Центральный пункт (BRVK)									
№ п/п	Дата дд.мм.гггг	t _{p0} , сек					Δ°		Az° от эпицентра
1	02.12.1979	92,398					6,1752		303,94
2	14.09.1980	92,195					6,1666		303,70
3	12.10.1980	93,709					6,2708		302,90
4	14.12.1980	93,294					6,2475		303,61
5	29.03.1981	92,954					6,2184		302,59

Для построения годографов и оценки линейных трендов времени пробега продольной волны на трассах BAL – ZER, BAL – VOS и BAL – ЧНК использовались методика и результаты исследований, опубликованные авторами в предыдущих работах [2–4]. При построении локального годографа использовались

параметры времени пробега волны P для каждого из НУПов «Ожерелья» и эпицентрального расстояние Δ° для построения графика зависимости t_{p0} = F(Δ°). При оценке тренда δt в миллисекундах за год вместо эпицентрального расстояния использовалось время взрыва в календарном времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По приведенным в таблице 2 значениям t_{p0} построены сводные графики: локальный годограф (рисунок 1) и линейный тренд t_{p0} в календарном времени (рисунок 2) для подсистем Зеренда, Восточный, Чкалово.

Как следует из рисунка 1, значения t_{p0} на трассе площадка Балапан – ГО «Боровое» удовлетворяют линейному уравнению, описывающему локальный годограф подсистем «Ожерелье».

Результаты расчета линейного тренда времени пробега в календарном времени с использованием стандартной методики [4], приведены на рисунке 2.

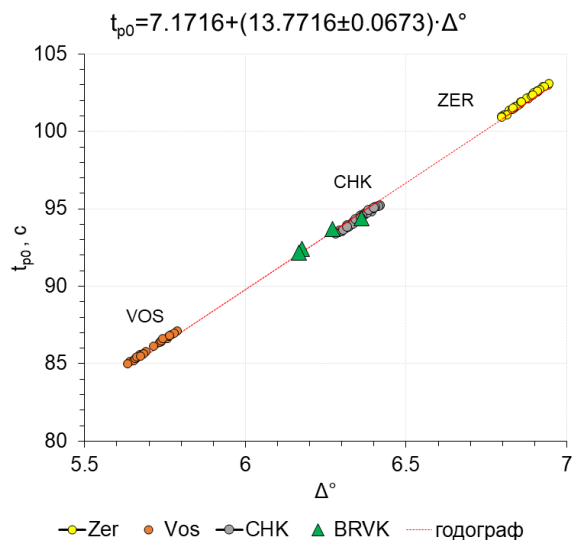


Рисунок 1. Локальный годограф подсистем «Ожерелье» и ГО «Боровое» на дистанциях $5.5^\circ \leq \Delta \leq 7^\circ$

Полученные тренды практически не имеют наклона, что может быть связано с тем, что рассмотрены всего пять испытаний, охвачен короткий период времени в три года (1979–1981 гг.), возможно наличие сезонных вариаций времени пробега продольных волн [5, 6]. С учетом этого результата графики линейных трендов времени пробега были перестроены для отдельных периферийных пунктов с учетом каждого НУПа. Линейные тренды в календарном времени представлены отдельно для периферийных систем Восточное (рисунок 3), Чкалово (рисунок 4), Зеренда (рисунок 5) и центрального пункта BRVK (рисунок 6).

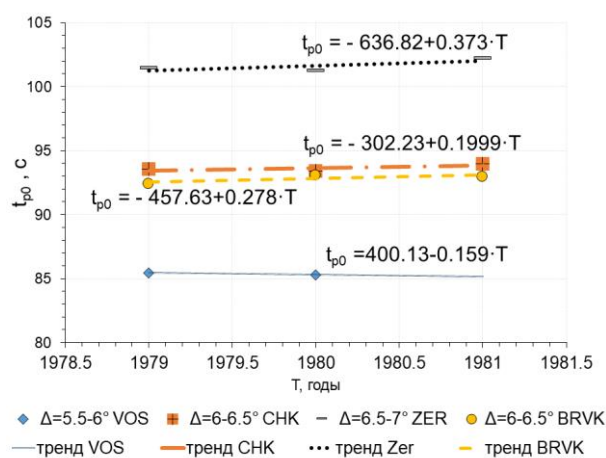


Рисунок 2. Линейный тренд в календарном времени подсистем «Ожерелье» ГО «Боровое»

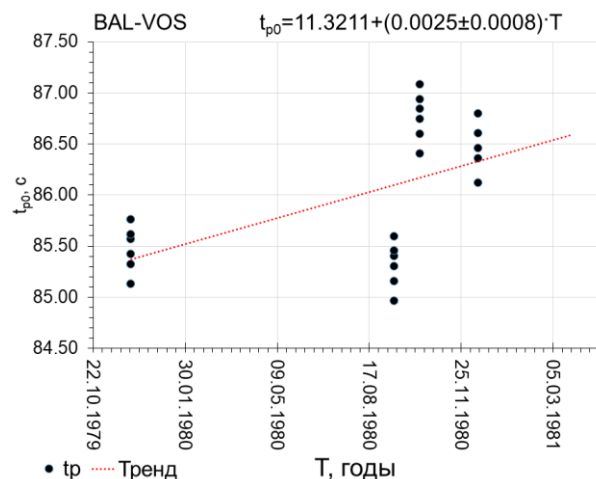


Рисунок 3. Линейный тренд в календарном времени подсистем «Ожерелье»: пункт Восточный $\Delta = 5.5^\circ - 6^\circ$

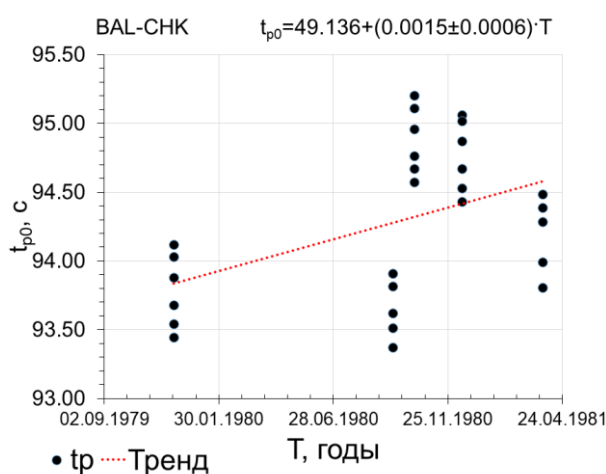


Рисунок 4. Линейный тренд в календарном времени подсистем «Ожерелье»: пункт Чкалово $\Delta = 6^\circ - 6.5^\circ$

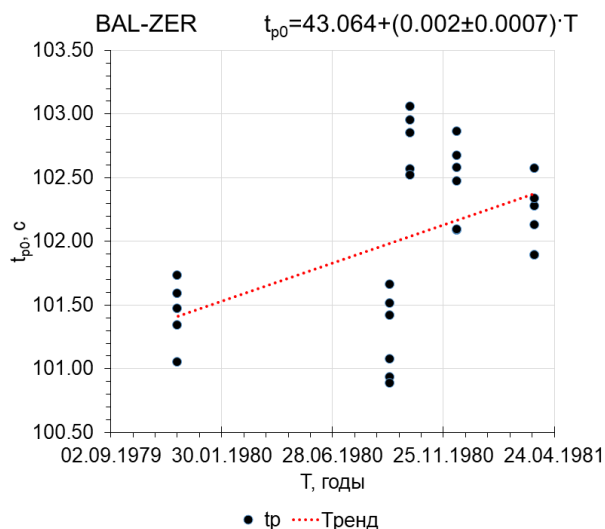


Рисунок 5. Линейный тренд в календарном времени подсистем «Ожерелье»: пункт Зеренда $\Delta = 6.5^\circ - 7^\circ$

Все представленные линейные тренды имеют положительную динамику изменения времени пробега волны. Однако, вероятнее всего, нужно аппроксимировать тренд другими функциями (например, периодическими) для учета сезонности вариаций, а также влияний планетарного масштаба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для трассы «площадка Балапан – подсистема «Ожерелье» (BAL – OZH) геофизической обсерватории «Боровое» (по периферийным пунктам Зеренда, Восточный и Чкалово) составлены таблицы времен пробега волны P , построен локальный годограф, который удовлетворяет уравнению: $t_{p0} (\text{сек}) = 7,1716 + (13,7716 \pm 0,0673) \cdot \Delta^\circ$, где Δ – расстояние в градусах.

При оценке линейных трендов времени пробега продольной волны получены следующие зависимости:

- Балапан (BAL) – Восточный (VOS) – $t_{p0} (\text{сек}) = 11,321 + (0,0025 \pm 0,0008) \cdot T (\text{год})$;
- Балапан (BAL) – Чкалово (CHK) – $t_{p0} (\text{сек}) = 49,136 + (0,0015 \pm 0,0006) \cdot T (\text{год})$;

ЛИТЕРАТУРА

1. Ан, В.А. Системы группирования «Ожерелье» геофизической обсерватории «Боровое» / В.А. Ан, П.Б. Каазик, К.С. Непейна, Т.В. Челюбеева // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – Вып. 2. – С. 27–31.
2. Ан, В.А. Линейный тренд времени пробега продольной сейсмической волны / В.А. Ан, Л.Д. Годунова, П.Б. Каазик // Вестник НЯЦ РК. – 2014. – Вып. 2. – С. 81–94.
3. Создание базы сейсмических данных по подземным ядерным взрывам, проведенным на испытательных полигонах / В.М. Овчинников, Л.Д. Годунова, Т.В. Челюбеева, Л.И. Полякова, В.А. Лаушкин, В.А. Ан / Отчет по гранту РФФИ 97-07-90225-в. – 1998. – 6 с.
4. Ан, В.А. Годографы геофизической обсерватории «Боровое» по подземным ядерным испытаниям / В.А. Ан, П.Б. Каазик, Т.В. Челюбеева // Вестник НЯЦ РК. – 2016. – Вып. 2. – С. 90–95.
5. Ан, В.А. Изменения времени пробега продольной сейсмической волны в календарном времени / Н.Н. Михайлова, Л.Д. Годунова, П.Б. Каазик, В.М. Овчинников // Вестник НЯЦ РК. – 2005. – Вып. 2. – С. 41–45.
6. Дараган, С.К. Лунные и сезонные вариации параметров сейсмических волн от подземных ядерных взрывов / ДАН. – 1997. – Т. 352, № 3. – С. 396–399.
7. Ан, В.А. Вариации времени пробега продольной сейсмической волны // В.А. Ан, Л.Д. Годунова, П.Б. Каазик // Вестник НЯЦ РК. – 2012. – Вып. 2. – С. 25–33.

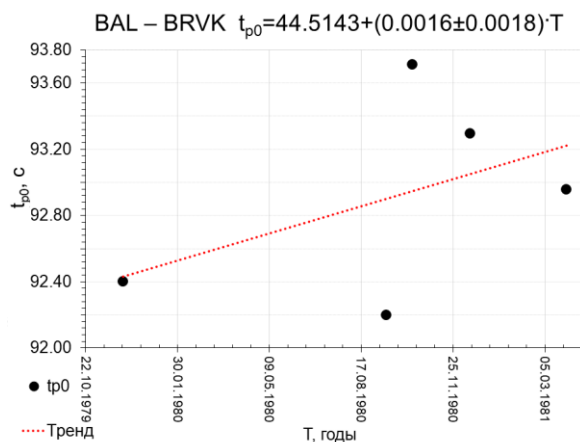


Рисунок 6. Линейный тренд в календарном времени геофизической обсерватории «Боровое»

- Балапан (BAL) – Зеренда (ZER) – $t_{p0} (\text{сек}) = 43,064 + (0,002 \pm 0,0007) \cdot T (\text{год})$;
 - Балапан (BAL) – ГО «Боровое» (BRVK) – $t_{p0} (\text{сек}) = 44,5143 + (0,0016 \pm 0,0018) \cdot T (\text{год})$.
- Здесь T – время в календарном времени.

Значение постоянной в уравнении тренда для трассы Балапан (BAL) – Восточный (VOS) отличается из-за того, что запись взрыва 1981 г. на НУПах отсутствует. Для остальных пунктов и ГО «Боровое» величины постоянной в уравнении тренда близки по значениям (43,064 – Зеренда, 49,136 – Чкалово, 44,5143 – ГО «Боровое»). Это свидетельствует о высокой точности регистрации взрывов на площадке Балапан.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудника Института динамики геосфер РАН Л.Д. Годунову за постоянное внимание и помощь при выполнении данного исследования.

При проведении исследования использовалась база данных Института динамики геосфер РАН, созданная при поддержке гранта РФФИ № 97-07-90225.

**СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНЫҢ БАЛАПАН АЛАҢЫ – «БУРАБАЙ»
ОБСЕРВАТОРИЯСЫНЫҢ «ОЖЕРЕЛЬЕ» ТОПТАСТЫРУ ЖҮЙЕЛЕРІ**

¹⁾ К.С. Непина, ²⁾ В.А. Ан, ²⁾ Т.В. Челубеева

¹⁾ *Бішкек қаласындағы PFA ғылыми станциясы, Бішкек, Қырғызстан*

²⁾ *Садовский PFA геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей*

1979 жылдан 1981 жылға дейінгі кезеңде Семей сынау полигонының (ССП) Балапан алаңында өткізілген 5 жерастылық ядролық жарылыстарды тіркеу мысалында үлкен базалық «Бурабай» сейсмикалық топтастыру жүйесінің Зеренді, Восточный, Чкалово шеттегі пункттерімен тіркелген *P* бойлық толқыны жолының уақыттық сызықтық трендтері алынды және жергілікті годографтары зерттелді. Трендтің алынған теңдіктеріндегі тұрақтық өлшемдері мағыналары бойынша жуық, ал бұл жағдай Балапан алаңындағы жарылыстардың дәл тіркелгендігін куәландырады «Ожерелье» топтастыру жүйелері.

**BALAPAN TEST SITE OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE – SEISMIC ARRAYS
“OZHEREL’E” OF THE GEOPHYSICAL OBSERVATORY «BOROVOYE»**

¹⁾ K.S. Nepeina, ²⁾ V.A. An, ²⁾ T.V. Chelubeeva

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

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

Using the example of recording of 5 underground nuclear explosions from 1979 to 1981 at Balapan Semipalatinsk Test Site (STS) carried out during the period, local time-travel curves and linear trends of the body wave travel time of *P* wave, which was recorded by peripheral points Zerenda, Vostochnyy, Chkalovo of the large-base system of a seismic array “Borovoye”, were obtained and studied. The values of the constant in obtained equations of the trend are close, which signifies high accuracy of the explosions’ recording at Balapan Test Site by the subsystem seismic arrays “Ozherel’e”.