

УДК 550.34.097

ПОДЗЕМНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И РЕСПУБЛИКЕ САХА: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СЕЙСМОГРАММ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БАЙКАЛЬСКОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

1, 2) Добрынина А.А., 1, 3) Саньков В.А., 4) Чечельницкий В.В.

¹⁾ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

²⁾ Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

³⁾ Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

⁴⁾ Байкальский филиал Федерального исследовательского центра
«Единая геофизическая служба РАН», Иркутск, Россия

Представлены первые результаты обработки оцифрованных сейсмограмм 10 подземных ядерных взрывов мощностью от 3,2 до 15 кт, произведенных в 1976–1987 гг. в бывшем Советском Союзе на территории Иркутской области, Забайкальского края (Восточная Сибирь) и республики Саха в научных и коммерческих целях. События были зарегистрированы региональной сетью станций, локализованной в пределах Байкальской рифтовой системы и на прилегающих территориях на расстоянии от 173 до 1407 км. По данным о временах первых вступлений получен региональный годограф основных сейсмических фаз (прямые и отраженные от границы Мохо продольные и поперечные волны), определены значения скорости сейсмических волн в земной коре и верхней мантии для всего региона и для трех крупных тектонических структур: Сибирской платформы, Байкало-Патомского нагорья и Забайкальского блока. Полученные значения скорости хорошо согласуются с известными данными о скоростном строении земной коры и верхней мантии Байкальского рифта.

ВВЕДЕНИЕ

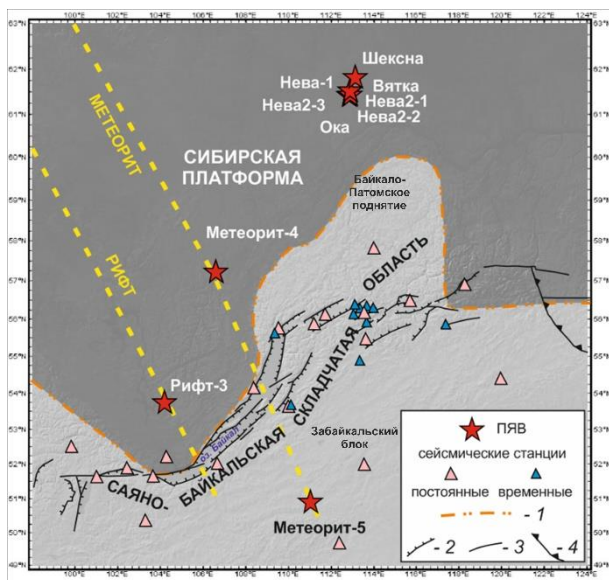
В течение 1976–1987 гг. в бывшем Советском Союзе на территории Иркутской области и Забайкальского края (Восточная Сибирь), а также республики Саха было произведено 10 подземных ядерных взрывов (ПЯВ) (рисунок 1).

На территории Иркутской области и Забайкальского края взрывы были произведены с научной целью и вошли в состав сверхдлинных профилей глубинного сейсмического зондирования «Рифт» и «Метеорит» (3 взрыва) [1]. Остальные 7 взрывов, локализованные на юго-западе республики Саха, имели коммерческое применение (увеличение добычи нефти, строительство нефтехранилища и пр.) [2]. Мощность взрывов варьировала от 3,2 до 15,0 кт (1 килотонна в тротиловом эквиваленте = $4,184 \cdot 10^{12}$ Дж) (таблица 1) [3].

Взрывы были зарегистрированы региональной сетью сейсмических станций, действовавшей на территории Байкальской рифтовой системы (БРС) и прилегающих областей (современный международный код BAGSR). Известен ряд работ, посвященных исследованию взрывов в республике Саха («Шексна», «Ока», «Вятка», серия взрывов «Нева») по данным Якутской региональной сети сейсмических станций [2, 4]. Однако до настоящего времени данные Байкальской сети для обработки ПЯВ не привлекались. В статье представлены первые предварительные результаты анализа сейсмограмм ПЯВ, полученных региональной Байкальской сетью сейсмических станций.

ИССЛЕДУЕМЫЙ РЕГИОН

На территории исследуемого региона структура первого порядка являются архейско-протерозойская Сибирская платформа и Саяно-Байкальская складчатая область. Кайнозойская Байкальская рифтовая система (БРС) наложена на обе эти древние структуры (рисунок 1).



■ – Сибирская платформа; --- – сверхдлинные сейсмические профили «Рифт» и «Метеорит»; 1 – граница между Сибирской платформой и Саяно-Байкальской складчатой областью; (2–4) – разломы: 2 – сбросы, 3 – сдвиги, 4 – взбросы и надвиги

Рисунок 1. Расположение эпицентров подземных ядерных взрывов и сейсмических станций Байкальской сети

**ПОДЗЕМНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И РЕСПУБЛИКЕ САХА: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
АНАЛИЗА СЕЙСМОГРАММ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БАЙКАЛЬСКОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

Таблица 1. Параметры исследуемых ПЯВ

№	Дата	Время взрыва	С.Ш.	В.Д.	h, км	mb	у, кт	Название	Источник	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	11/05/76	04:00:00,0	61,458	112,86	1,522		15	Ока	[3]	
		03:59:56,7	61,5280	112,7119	0,0	5,3			NEIS	
		03:59:59,98	61,4580	112,8600	1,5				[8]	
		03:59:59,98	61,4608	112,8952	1,5 f	5,4			IASPEI	
		04:00:22,0	64,00	109,00		5,4			HFS	
		03:59:56,89	61,5241	112,7288	0,0	5,3			ISC	
			61,4608	112,8592					[9]	
		03:59:54,8	61,722	112,288	1,5				Данная статья	
2	08/10/77	22:00:00,1	50,955	110,982	0,494		8.5	Метеорит-5	[3]	
		22:00:01,83	50,9477	110,7815	18,7	5,0			ISC	
		21:59:52,00	50,00	111,00		5,3			HFS	
		21:59:58,8	50,923	110,7609	2,0	5,2			NEIS	
		22:00:00,10	50,955	110,983	0,5	5,0			IASPEI	
		22:00:00,10	50,955	110,983	0,5				[8]	
			52,2	110,2					[1]	
		21:59:56,2	50,969	111,335	0,5				Данная статья	
3	09/10/77	16:00:00,2	57,251	106,551	0,55		7.6	Метеорит-4	[3]	
		16:00:03,3	57,294	106,2399	33	4,8			NEIS	
		16:00:03,31	57,2884	106,2338	33	4,8			ISC	
		16:00:11,0	57,00	103,00		5,0			HFS	
		16:00:00,18	57,251	106,551	0,6				[8]	
		16:00:00,18	57,251	106,551	0,6	4,8			IASPEI	
			56,90	107,10					[1]	
			57,2583	106,5565					[9]	
16:00:03,23	56,999	107,112	0,6		Данная статья					
4	10/08/78	00:00:00,0	61,55	112,85	1,545		15	Вятка	[3]	
		23:59:55,0	62,00	113,00		5,5			HFS	
		23:59:56,80	61,5230	112,8829	0,0	5,2			NEIS	
		23:59:58,7	61,526	112,983	0,0				[8]	
		00:00:00,0	61,5565	112,9922	1,5 f	5,2			IASPEI	
		00:00:01,0	61,800	112,6999	0,0	5,0			NAO	
		10/07/78	23:59:56,96	61,5333	112,8737	0,0			5,2	ISC
		10/07/78		61,5565	112,9922					[9]
10/07/78	23:59:59,5	61,556	112,753	1,5		Данная статья				
5	10/07/79	21:00:00,2	61,85	113,10	1,545		15	Шексна	[3]	
		20:59:56,9	61,854	113,0899	0,0	4,9			NEIS	
		20:59:58,88	61,839	113,1730	0,0				[8]	
		21:00:00,22	61,7679	113,1554	1,5 f	5,0			IASPEI	
		20:59:57,08	61,8515	113,1167	0,0	5,0			ISC	
			61,7679	113,1554					[9]	
		20:59:59,2	61,741	112,686	1,5				Данная статья	
6	07/30/82	21:00:00,0	53,80	104,15	0,554		8.5	Рифт-3	[3]	
		21:00:02,94	53,8043	104,1426	38,3	5,0 MS=4,0			ISC	
		21:00:02,20	53,8130	104,1320	33,0	5,1 MS=3,8			NEIS	
		20:59:59,52	53,8100	104,1310	0,0				[8]	
		21:00:02,10	53,9000	104,2000					PEK	
			54,3	104,1					[1]	
			53,7696	104,1048					[9]	

**ПОДЗЕМНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И РЕСПУБЛИКЕ САХА: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
АНАЛИЗА СЕЙСМОГРАММ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БАЙКАЛЬСКОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

№	Дата	Время взрыва	С.Ш.	В.Д.	h, км	mb	у, кт	Название	Источник	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
7	10/10/82	05:00:00,2	61,5500	112,8500	1,502		15	Нева 1	[3]	
		04:59:36,00	60,1000	117,1000		5,5			HFS	
		04:59:51,90	62,3000	113,5000		4,4			PEK	
		04:59:56,70	61,5530	112,8640	0,0	5,3			NEIS	
		04:59:58,74	61,5330	112,9310	0,0				[8]	
		05:00:00,00	59,4000	107,7000	0,0	5,1			NAO	
		05:00:00,23	61,5006	112,9110	1,5 f	5,3			IASPEI	
		04:59:56,88	61,5291	112,8632	0,0	5,3			ISC	
			61,5006	112,9110					[9]	
	04:59:59,1	61,529	112,268	1,5		Данная статья				
8	07/07/87	00:00:00,0	61,5000	112,8500	1,502		15	Нева 2-1	[3]	
		07/06/87	23:59:46,00	60,3000	115,9000				5,6	HFS
		07/06/87	23:59:56,70	61,5010	112,8030	0,0			5,1	NEIC
		07/06/87	23:59:58,65	61,4860	112,9100	0,0				[8]
		07/06/87	23:59:59,90	61,5000	113,2000					PEK
			00:00:00,00	61,5000	112,4000	0,0			5,2	NAO
			00:00:00,00	61,4317	112,8860	1,5 f			5,2	IASPEI
		07/06/87	23:59:56,93	61,5014	112,8252	0,0			5,1	ISC
				61,4317	112,8860					[9]
	07/06/87	23:59:58,3	61,497	112,693	1,5		Данная статья			
9	07/24/87	02:00:00,0	61,4500	112,8000	1,515		15	Нева 2-2	[3]	
		01:59:55,70	61,5000	112,7000		4,5			PEK	
		01:59:56,80	61,4780	112,7530	0,0	5,1			NEIC	
		01:59:58,69	61,4590	112,8770	0,0				[8]	
		02:00:00,00	61,5000	112,4000	0,0	5,2			NAO	
		02:00:00,00	61,4172	112,8927	1,5 f	5,1			IASPEI	
		02:00:09,00	62,7000	112,7000		5,3			HFS	
		01:59:56,93	61,4574	112,7819	0,0	5,1			ISC	
				61,4172	112,8927					[9]
	01:59:58,5	61,491	113,115	1,5		Данная статья				
10	08/12/87	01:30:00,5	61,4500	112,8000	0,815		3.2	Нева 2-3	[3]	
		01:29:44,00	60,1000	116,4000		5,5			HFS	
		01:29:55,90	61,5000	113,1000					PEK	
		01:29:56,80	61,4550	112,7600	0,0	5,0			NEIC	
		01:29:58,76	61,4410	112,8760	0,0				[17]	
		01:30:00,00	61,5000	112,4000	0,0	4,9			NAO	
		01:30:00,50	61,4266	112,8879	0,8 f	5,0			IASPEI	
		01:29:57,05	61,4592	112,7887	0,0	5,0			ISC	
				61,4266	112,8879					[9]
	01:29:59,9	61,435	112,949	0,8		Данная статья				

Примечание: в графах таблицы по взрывам даны: 1 – порядковый номер; 2 – дата (в формате месяц/день/год); 3 – время (в формате UTC); 4, 5 – координаты эпицентра (С.Ш. и В.Д.); 6 – глубина (буква f обозначает, что расчеты координат и времени велись для фиксированной глубины); 7 – магнитуда; 8 – мощность взрыва, 9 – название, 10 – источник с аббревиатурой, обозначающей сейсмологические агентства мира: HFS – Hagfors Observatory; IASPEI – The International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior; ISC – International Seismological Center; NAO – NORSAR; NEIC (NEIS) – National Earthquake Information Center (National Earthquake Information Service); PEK – China Earthquake Networks Center

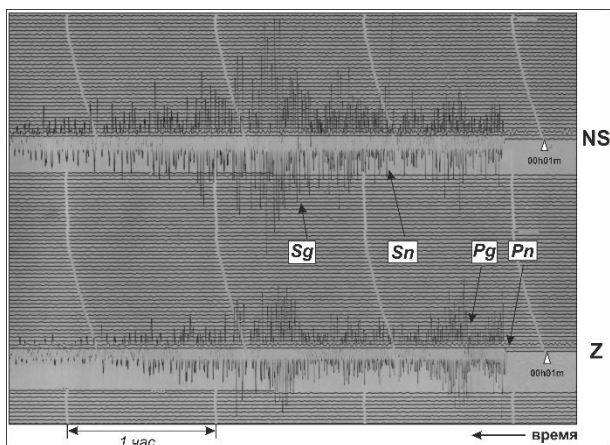
Вместе со Алдано-Становой подвижной областью БРС представляет активную внуконтинентальную границу между Евразийской и Амурской литосферными плитами. Исследования скоростного строения коры и верхней мантии методами глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) выявили существова-

ние низкоскоростного слоя в верхней коре Байкальского рифта [5]. Согласно данным ГСЗ [5] область с аномально низкой скоростью на поверхности мантии ($V_p=7,6-7,8$ км/с, $V_s=4,3$ км/с) наблюдается на обширной территории под Саяно-Байкальской складчатой областью. Под Сибирским кратоном расположе-

на нормальная мантия со скоростями сейсмических волн $V_p=8,0-8,1$ км/с, $V_s=4,55$ км/с. По результатам инверсии невязок времен пробега Р-волн на станциях региональной сети под северо-восточным флангом Байкальской рифтовой системы также наблюдается понижение значений скоростей сейсмических волн в областях возможного частичного плавления мантии, обусловленного тепломассопереносом из-под Сибирского кратона [6]. Согласно ГСЗ [5] и результатам интеграции данных сейсмической томографии [7], толщина земной коры варьируется в пределах 35–42 км под Байкальской впадиной, 43–55 км под горными поднятиями северо-восточного фланга БРС и 36–43 км под Сибирским кратоном.

ДАННЫЕ

В период проведения ядерных взрывов сейсмический мониторинг на исследуемой территории проводился Байкальской опытно-методической сейсмологической экспедицией (в настоящее время – Байкальский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН»). В период 1976–1987 гг. сеть состояла из 20 постоянных и 12 временных аналоговых сейсмических станций (рисунок 1). Станции сети были оснащены короткопериодной (сейсмометры СКМ, ВГЭК) и длиннопериодной (СКД) аппаратурой. Регистрация сейсмических событий велась в непрерывном режиме с фиксацией на фотобумагу, скорость развертки составляла 1 и 2 мм/с. В рассматриваемый период времени в районе Северо-Муйского тоннеля (трасса БАМ) действовала локальная временная сеть сейсмических станций. Поэтому в районе северо-восточного фланга Байкальского рифта оказалось сосредоточено большинство сейсмических станций – 19 (рисунок 1).



→ – времена прихода основных региональных сейсмических фаз: Pn, Pg, Sn и Sg, Δ – начало минуты перед приходом сейсмических волн от взрыва

Рисунок 2. Фрагмент аналоговой сейсмограммы. Взрыв «Нева 2-1». Сейсмическая станция Неляты (эпицентрально расстояние 580 км)

Расстояния от эпицентров ПЯВ до сейсмических станций варьируются в пределах 173–1407 км. На

сейсмограммах хорошо выделяются продольные прямая и отраженная от границы Мохо Р-волны, поперечные S-волны (прямая и отраженная), также на ряде станций регистрируются цуги поверхностных волн (рисунок 2). Всего по 10 взрывам было обработано 213 сейсмограмм и получено 582 значения времен прихода сейсмических волн: 154 – Pg, 175 – Pn, 132 – Sg и 121 – Sn. Эти данные были использованы для релокализации эпицентров взрывов, а также для оценки скоростей сейсмических волн в регионе.

РЕЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭПИЦЕНТРОВ ВЗРЫВОВ

В ряде публикаций, а также на сайте Международного сейсмологического центра приводятся координаты и глубины ПЯВ, определенные разными способами: геодезическим [3], сейсмическим ([8], а также по телесеизмическим данным сейсмологических агентств мира, Internatioanl Seismological Center, <http://www.isc.ac.uk/>), поиска мест взрывов (шахт) на местности [9], а для взрывов, входящих в состав сверхдлинных профилей «Рифт» и «Метеорит», – также по архивным данным [1] (таблица 1). Для каждого взрыва имеется от 6 до 9 различных определений параметров очага. Координаты эпицентра и глубины, время в очаге, а также магнитуда событий могут очень сильно различаться (различия в координатах составляют несколько градусов, а глубины варьируются от 0 до 38,3 км).

В данной статье сделана попытка оценить положение эпицентра взрывов, используя времена прихода сейсмических волн на региональные станции Байкальского рифта. Релокализация выполнялась с использованием программы «HYPOCENTER» [10] и скоростных моделей, полученных для Сибирского кратона и складчатой области на сверхдлинных профилях «Рифт» и «Метеорит» [1]. Для взрывов, произведенных на территории республики Саха, релокализация проведена по данным всех станций сети, а также с учетом времен приходов сейсмических волн только на станции, локализованные на северо-восточном фланге БРС. Расчеты координат эпицентра и времени велись для фиксированной глубины, приведенной в [3]. Результаты релокализации эпицентров взрывов приведены в таблице 1. Отклонение по времени варьируется в пределах от 0,5 до 5,2 секунд, смещение координат эпицентра в отдельных случаях может достигать ~40 км.

Значительные отклонения по времени в очаге и ошибки в определении эпицентров, полученные при релокализации ПЯВ по данным Байкальской региональной сети станций, могут объясняться как односторонним расположением и удаленностью сейсмических станций, так и неточной скоростной моделью среды, выбранной для расчетов. Сопоставление реального времени прихода сейсмических волн от ПЯВ на территории республики Саха с теоретическими показало, что для коровых продольных волн Pg наблюдается запаздывание во времени прихода, в то время как для верхнемантийных волн Pn и Sn, наобо-

рот, наблюдается более ранний приход. Для волны Sg теоретические и наблюдаемые времена прихода совпадают. Это также свидетельствует о том, что реальная скоростная структура на трассе от эпицентров ПЯВ до Байкальского рифта может значительно отличаться от выбранной модели.

Проблема выбора скоростной модели среды осложняется тем, что трасса «источник – приемник» проходит через две тектонические структуры – древнюю Сибирскую платформу и Саяно-Байкальскую складчатую область, отличающуюся высокой степенью неоднородности. Возможным решением проблемы с выбором скоростной модели может быть инверсия невязок времен прихода сейсмических волн от ПЯВ с использованием заверенных на местности координат и глубин взрывов по данным [9].

ПОСТРОЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГОДОГРАФОВ

Исследуемые ядерные взрывы локализованы в практически асейсмических районах – на территории Сибирской платформы (2 взрыва западнее оз. Байкал и 7 – на территории Якутии) и в Забайкальском блоке (1 взрыв) (рисунок 1). Взаимное расположение взрывов и регистрирующих сейсмических станций позволяет оценить скорости сейсмических волн в земной коре и верхней мантии региона.

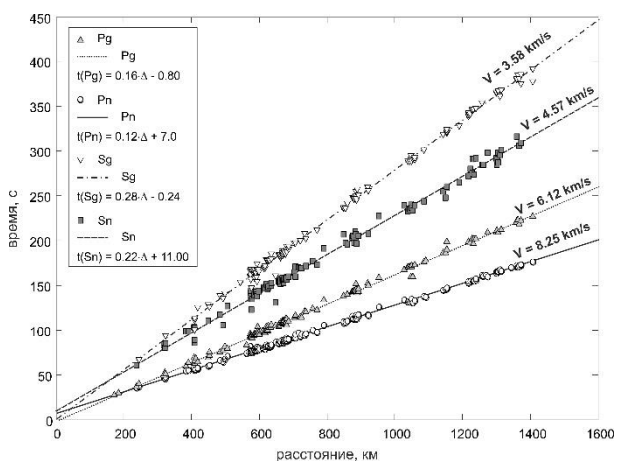


Рисунок 3. Годограф региональных фаз сейсмических волн для БРС на основе данных ПЯВ

Для построения регионального годографа и определения скоростей сейсмических волн в коре и верхней мантии региона использовались определенные по аналоговым сейсмограммам времена вступления основных сейсмических фаз – Pg, Pn, Sg и Sn. Построение годографов и оценка скоростей сейсмических волн выполнены как для всего региона по всем станциям и взрывам, так и отдельно для трех крупных тектонических структур, входящих в его состав – Сибирской платформы, Байкало-Патомского нагорья и Забайкальского блока Амурской литосферной плиты (рисунок 1). Для расчета значений скоростей в литосфере Сибирской платформы использованы данные взрывов «Рифт-3» и «Метеорит-4», полученные на станциях, локализованных на западном побережье

оз. Байкал и в пределах юго-западного фланга рифтовой системы; в Забайкальском блоке использованы данные взрыва «Метеорит-5», полученные на станциях, расположенных в пределах самого блока и близ восточного побережья оз. Байкал. Для Байкало-Патомского нагорья рассматривались взрывы на территории Якутии, зарегистрированные сейсмическими станциями северо-восточного фланга БРС. Годограф для всей территории построен для расстояний от 173 до 1407 км (рисунок 3), полученные скорости сейсмических волн для каждой структуры приведены в таблице 2.

Таблица 2. Скорости сейсмических волн в земной коре и верхней мантии

Район	Скорость, м/с							
	Pn	σ_{Pn}	Pg	σ_{Pg}	Sn	σ_{Sn}	Sg	σ_{Sg}
Весь район	8,25	0,03	6,12	0,03	4,57	0,03	3,58	0,02
Сибирская платформа	8,21	0,15	6,09	0,06	4,71	0,10	3,54	0,11
Забайкальский блок	8,32	0,17	6,17	0,16	4,78	0,14	3,61	0,07
Байкало-Патомское нагорье	8,31	0,10	6,05	0,10	4,77	0,13	3,54	0,08

Примечание: σ – среднеквадратичное отклонение

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В целом скорости сейсмических волн в коре и верхней мантии региона, полученные в настоящей работе, достаточно хорошо согласуются с результатами предшествующих исследований скоростного строения Байкальского рифта и окружающих территорий. В частности, полученные значения скоростей продольных волн в верхней мантии ($V_{Pn}=8,25$ км/с) достаточно хорошо соответствуют значениям скоростей на границе Мохо (8,0 км/с), определенным по результатам сейсмического профилирования в Байкальском рифте (сверхдлинные профили «Рифт» и «Метеорит») [1]. Скорости поперечных Sn волн хорошо согласуются с результатами инверсии приемных функций – $V_S=4,4-4,5$ км/с [6].

По записям ПЯВ, полученным на региональных сейсмических станциях Якутской сети (серия «Нева»), в предшествующих работах были определены следующие значения скоростей P и S волн в коре и верхней мантии Сибирского кратона: $V_{Pn}=8,313$ км/с, $V_{Pg}=6,158$ км/с, $V_{Sn}=4,695$ км/с и $V_{Sg}=3,594$ км/с [2] и $V_{Pn}=8,27$ км/с, $V_{Pg}=6,20$ км/с, $V_{Sn}=4,67$ км/с и $V_{Sg}=3,55$ км/с [4]. Значения скоростей сейсмических волн в верхней мантии, полученные в настоящей работе для тех же событий по станциям Байкальского региона, значительно ниже: на ~0,2–0,8 % для P волн и на ~0,4–2,7 % для S волн, а в коре, напротив, выше ~0,6–1,3 %. Такое пространственное распределение скоростей сейсмических волн хорошо согласуется с моделью SibCrust: для территории Сибирского кратона скорости Pn волн равны ~8,2 км/с, средняя кора характеризуется пониженными скоростями P-волн (до 5,2 км/с), в кристаллическом фундаменте $V_{Pg}=6,6$ км/с; для Саяно-Байкальской складчатой области отмечается понижение сейсмических скоро-

стей в мантии до 8,1 км/с, а в коре и фундаменте, наоборот, повышение – $V_{Pg}=5,8-6,7$ км/с [7].

Пониженные значения скоростей в мантии Байкальской рифтовой системы относительно кратона отражают результаты проявления активных деформаций литосферы в зоне современной межплитной границы между Евразией и Амурской плитой. Низкая скорость сейсмических волн указывает на существование региональной низкоскоростной аномалии под корой. Ранее существование аномально низкой скорости сейсмических волн под границей Мохо было установлено по данным ГСЗ [5]. Позднее это было подтверждено данными исследований на двух субмеридиональных опорных профилях ГСЗ: 1-СБ и 3-ДВ, – на территории Восточного Забайкалья [11]. Согласно результатам сейсмотомографии по временам пробега от региональных землетрясений [12], область пониженных скоростей сейсмических Р-волн приурочена к северо-восточному флангу БРС, скорости увеличиваются на юго-восток (Забайкальский блок) и северо-запад (Байкало-Патомское поднятие).

Слой с высоким затуханием сейсмических волн под корой северо-восточного фланга Байкальского рифта наблюдается также согласно результатам расчетов сейсмической добротности [13]. Существование такого слоя может быть связано либо с возможным внедрением силла базальтов, вылавившихся в мантии северо-восточного фланга БРС [11], либо с наличием высокотемпературной шпинель-пироксеновой фации мантии [14].

ЛИТЕРАТУРА

1. Pavlenkova, G.A. Upper mantle structure of the Northern Eurasia from peaceful nuclear explosion data / G.A. Pavlenkova, N.I. Pavlenkova // *Tectonophysics*. – 2006. – № 416. – P. 33–52.
2. Mackey, K.G. Seismic characterization of Northeast Asia and analysis of the Neva peaceful nuclear explosions / K.G. Mackey, K. Fujita, H.E. Hartse, L.K. Steck, R.J. Stead // *The 27th Seismic Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies*. – 2005. – P. 61–70.
3. Sultanov, D.D. A seismic source summary for Soviet peaceful nuclear explosions / D.D. Sultanov, J.R. Murphy, Kh.D. Rubinstein // *Bull. Seismol. Soc. Am.* – 1999. – V. 89 (3). – P. 640–647.
4. Burkhard, K.M. Peaceful Nuclear Explosion Seismogram Analysis: Constraining the Velocity Structure of Eastern Siberia / K.M. Burkhard, Z.T. Eriksen, K.G. Mackey // 2016 AGU Fall Meeting, 2016. T43B-3047. (<http://abstractsearch.agu.org/meetings/2016/FM/T43B-3047>).
5. Крылов, С.В. Недр Байкала (по сейсмическим данным) / С.В. Крылов [и др.] // М.: Наука. – 1981. – 105.
6. Мордвинова, В.В. Строение земной коры и верхней мантии Центральной Азии на основе телесеизмических объемных волн: автореф. дис. докт. геол.-мин. наук: 25.00.10 / Мордвинова Валентина Владимировна. – Институт земной коры СО РАН, Иркутск, 2009. – 50 с.
7. Cherepanova, Y. Crustal structure of the Siberian craton and the West Siberian basin: An appraisal of existing seismic data / Y. Cherepanova [et al] // *Tectonophysics*. – 2013. – № 609. – P. 154–183.
8. Engdahl, E.R. Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures / E.R. Engdahl, R.D. van der Hilst, R. Buland // *Bull. Seis. Soc. Amer.* – 1998. – V. 88. – P. 722–743.
9. Mackey, K.G. Improvement of GT classification of Soviet PNEs / K.G. Mackey [et al] // *NNC RK Bulletin*. – 2016. – № 2(66). – P. 123–127.
10. Lienert, V. HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares / V. Lienert, E. Bery, L.N. Frazer // *Bull. Seism. Soc. Am.* – 1986. – V. 76. – P. 771–783.
11. Канарейкин, Б.А. Строение переходной зоны кора – мантия Байкальской рифтовой зоны по опорным и региональным сейсмическим профилям ГСЗ / Б.А. Канарейкин [и др.] // *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания.* – Вып. 15. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2017. – С. 114–116.
12. Соловьев, В.М. Особенности скоростного строения верхней мантии Забайкалья на участке Монголо-Охотского орогенного пояса / В.М. Соловьев [и др.] // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 1065–1082. doi:10.5800/GT-2017-8-4-0333.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обработки аналоговых сейсмограмм ПЯВ, зарегистрированных Байкальской сетью сейсмических станций на расстояниях от 173 до 1407 км, получены данные о временах прихода сейсмических волн Pn, Pg, Sn and Sg. Выполнена релокализация эпицентров ядерных взрывов с использованием региональных скоростных моделей. Построены региональные годографы прямых и отраженных от границы Мохо продольных и поперечных волн, которые могут быть использованы в дальнейшем для локализации региональных землетрясений и промышленных взрывов. Определены скорости сейсмических волн в коре и мантии. По полученным данным хорошо фиксируются пониженные скорости в верхней мантии и высокие – в коре.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, проект № 17-45-388049. В Институте земной коры СО РАН работа выполнена в рамках темы НИР ПФНИ ГАН IX.136.1.2. «Исследование факторов, определяющих закономерности развития сейсмического процесса и сейсмическую опасность Прибайкалья» (гос. номер АААА-А16-116121550016-3).

13. Добрынина, А.А. Новые данные о затухании сейсмических волн в литосфере и верхней мантии северо-восточного фланга Байкальской рифтовой системы / А.А. Добрынина, В.А. Саньков, В.В. Чечельницкий // Доклады академии наук. – 2016. – Т. 468, № 1. – С. 88–92.
14. Pospeev, A.V. The velocity structure of the upper mantle and regional deep thermodynamics of the Baikal rift zone / A.V. Pospeev // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2012. – № 3(4). – P. 377–383.

**ШЫҒЫС СІБІР МЕН САХА РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР:
БАЙКАЛ СЕЙСМИКЛЫҚ СТАНЦИЯЛАР ЖЕЛІСІНІҢ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ
СЕЙСМОГРАММАЛАРДЫ ТАЛДАУДЫҢ АЛДЫН АЛА НӘТИЖЕЛЕРІ**

1, 2) А.А. Добрынина, 1, 3) В.А. Саньков, 4) В.В. Чечельницкий

1) *РФА СБ Жер қыртысы институты, Иркутск, Ресей*

2) *РФА СБ Геологиялық институты, Улан-Удэ, Ресей*

3) *Иркутск мемлекеттік университеті, Иркутск, Ресей*

4) *РФА Бірыңғай геофизикалық қызметі» Федераль зерттеу орталығының Байкал филиалы, Иркутск, Ресей*

Бұрын болған Кеңс Одағының Иркутск облысы, Күнгеі Байкал өлкесі (Шығыс Сібір) және Саха Республикасы аумақтарында ғылыми және коммерциялық мақсатында 1976–1987 ж.ж. жүргізілген, 3,5–15 кт. қуатымен, 10 жерасты ядролық жарылыстардың цифрланған сейсмограммаларын өңдеудің бірінші нәтижелері келтірілген. Оқиғалар, Байкал рифттік жүйесі шегінде және жанасқан аумақтарда жергіліктелген, аймақтық станциялар желісімен 173–1407 км қашықтықтарында тіркелген. Түсудің бірінші уақыттары туралы деректер бойынша негізгі сейсмикалық фазалардың (тура және Мохо шекарасынан шағылысқан кума және көлденең толқындар) аймақтық годографы алынған, бар аймақ және үш ірі тектоникалық құрылымдар: Сібір платформасы, Байкал-Патом тау өлкесі және Күнгеі Байкал блогы үшін жыр қыртысы мен жоғарғы мантияда сейсмикалық толқындардың жылдамдығының мәндері анықталған. Жылдамдықтың алынған мәндері Байкал рифтінің жер қыртысы мен жоғарғы мантияның жылдамдық құрылысы туралы мәлім деректерімен жақсы үйлеседі.

**UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS IN EASTERN SIBERIA
AND THE SAKHA REPUBLIC: PRELIMINARY RESULTS OF SEISMOGRAM ANALYSIS
BASED ON BAIKAL SEISMIC STATIONS NETWORK**

1, 2) A.A. Dobrynina, 1, 3) V.A. Sankov, 4) V.V. Chechelnickey

1) *Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*

2) *Geology Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia*

3) *Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

4) *Baikal Branch of Federal Research Center
"Unified Geophysical Survey RAS", Irkutsk, Russia*

During 1976–1987 in the former USSR on the territory of Irkutsk and Chita area (the Eastern Siberia) and Sakha Republic (Yakutia) ten peaceful nuclear explosions were conducted in scientific and commercial applications. The peaceful nuclear explosions have yields in the range of 3.2 to 15 kt. The events were registered by regional analog seismic stations network located in the Baikal rift system and surroundings at distances from 173 to 1407 km. The paper shows the first results of the treatment of these seismograms. Using arrival times, regional travel time curves for the both crustal and mantle seismic phases (Pn, Pg, Sn and Sg) were constructed and regional velocities of seismic waves were determined for the whole region and three main tectonic structures – Siberian platform, Baikal-Patom uplift and Transbaikal block. The velocities obtained well correlated with the data known on the velocity structure of the Earth's crust and upper mantle of the Baikal rift system.