

III. СИЛЬНЫЕ И ОЩУТИМЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

УДК 550.348.098.64 (571.15)

ТЮКАЛИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 13 февраля 2003 года

с $MS=3.6$, $I_0=4-5$ баллов (Омская область)

И.П. Габсатарова¹, Л.С. Чепкунас¹, А.Ф. Еманов², А.Г. Филина², В.Г. Подкорытова²

¹*ГС РАН, г. Обнинск, ira@gsras.ru,*

²*Алтае-Саянский филиал ГС СО РАН, г. Новосибирск, emanov@gs.nsc.ru*

На территории Западно-Сибирской платформы 13 февраля 2003 г. в 21^h37^m зарегистрировано землетрясение с $MS=3.6$, $MPS=4.2$, эпицентр которого находился близ г. Тюкалинска Омской области, в пределах Западно-Сибирской платформы. Редкое подобного рода событие в этом регионе ощущалось местными жителями в нескольких населенных пунктах. Эпицентральная зона этого явления не была обследована. Все сведения об ощутимости почерпнуты из сообщений местных газет, хотя достоверность их невысока, так как оказалось, что они имеют условную привязку во времени. Так, местная газета «Тюкалинский вестник» от 30 апреля 2003 г. в статье «Что-то типа землетрясения было зафиксировано недавно в Тюкалинском районе Омской области» сообщила: «В один из февральских дней жители деревень Кабырдак, Старосолдатское, Кошкуль, Сарыбалы, Кумыра проснулись от непонятного сильного гула (было 3–4 часа ночи). Все это напоминало рев гусеничного трактора. Но, по словам очевидцев, в ту ночь ни одна сельскохозяйственная машина в окрестностях сел не работала, вся техника находилась в гаражах. Признаки землетрясения ощущались с лихвой: пол дрожал, качались люстры на потолке, во всю завывали собаки. Хотя стояла безветренная погода». В газете были высказаны две версии о природе этого события: возможно, землетрясение; возможно, падение метеорита. Представленные в газете сведения могут быть использованы для оценки макросейсмической интенсивности сотрясений в пяти указанных населенных пунктах, удаленных на расстояния от 17 до 36 км (табл. 1) от «инструментального» эпицентра ($\varphi=55.945^\circ\text{N}$, $\lambda=72.496^\circ\text{E}$ [1]), описанного ниже.

Таблица 1. Макросейсмические данные о землетрясении 13 февраля в 21^h37^m с $MS=3.6$

№	Пункт	φ°, N	λ°, E	$\Delta, \text{км}$
	<u>3–4 балла</u>			
1	г. Тюкалинск	55.86	72.20	17
2	д. Кабырдак	56.11	72.44	19
3	д. Старосолдатское	56.19	72.61	30
4	д. Кумыра	56.20	72.32	30
5	д. Сарыбалы	56.27	72.42	36

Карта пунктов-баллов по описаниям макроэффектов в газете «Тюкалинский вестник» изображена на рис. 1. Оценка интенсивности сотрясений проведена по шкале MSK-64 [2].

Известно, что Западно-Сибирская платформа относится к слабосейсмичным регионам. Она расположена между более сейсмически активными регионами Урала, Казахстана, Алтая и Саян. На картах ОСР-97 А и Б [3] территория Омской области относится к пятибалльной зоне интенсивности сотрясений. Однако на карте ОСР-97 С, показывающей 1% вероятность превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет (период повторяемости сотрясений – 5000 лет), эпицентр этого землетрясения попадает в 6-балльную зону.

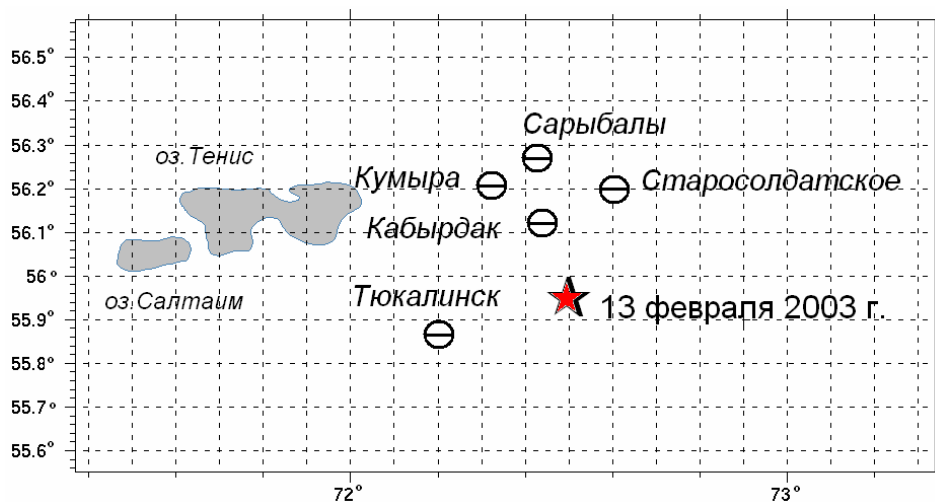


Рис. 1. Карта пунктов-баллов Тюкалинского землетрясения 13 февраля 2003 г. в $21^{\text{h}}37^{\text{m}}$ с $MS=3.6$

Исторические сведения о сейсмичности очаговой зоны Тюкалинского землетрясения выбраны из работ [4, 5], согласно которым здесь произошли два шестибалльных землетрясения: Ишимское – 29.01.1849 г. с $M=3.9$ и Ишим-Иртышское – 13.02.1904 г. с $M=5.8$ (рис. 2). От последнего из них, самого близкого к современному землетрясению 13 февраля 2003 г., отмечались макросейсмические проявления в нескольких пунктах, в том числе и в Тюкалинске. При этом в бюллетене Постоянной центральной сейсмологической комиссии за январь–март 1904 г. [6] опубликованы макросейсмические сведения даже не об одном толчке, а о группе из двух–трех землетрясений 13–14 февраля 1904 г. в населенных пунктах Тобольской губернии: «В селе Саргатка (современное название Саргатское), в 70 км на юго-восток от современного Тюкалинска, ощущалось три удара: в $17^{\text{h}}41^{\text{m}}$, в $21^{\text{h}}31^{\text{m}}$ и в $23^{\text{h}}24^{\text{m}}$. В селе Нижне-Колосовское Тобольской губернии Тарского округа ощущалось два толчка: первый – слабый, второй – значительно сильнее. В этом селе в домах слышался треск, дребезжали стекла, как от сильного грома. На некоторых домах разрушились трубы. Сотрясение продолжалось около пяти минут. В Тюкалинске в ночь на 14 февраля 1904 г. наблюдалось волнообразное землетрясение, продолжавшееся приблизительно около 1–2-х минут».

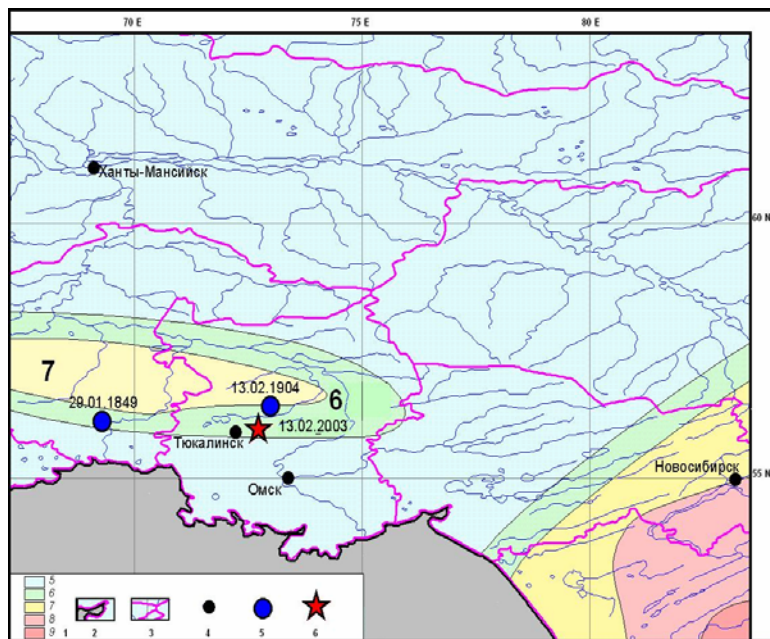


Рис. 2. Фрагмент карты ОСР 97-С для территории Омской области и ее окружения с нанесенными эпицентрами исторических землетрясений и Тюкалинского (рисунок выполнен с использованием ГИС, ESRI ArcView GIS, информационно наполненной в рамках работ по составлению ОСР-97 [3])

1– зоны балльности; 2, 3 – государственная и административная границы соответственно; 4 – населенный пункт; 5, 6 – эпицентр исторического и Тюкалинского землетрясения соответственно.

В тектоническом плане зона очага Тюкалинского землетрясения 2003 г. относится к южной части молодой эпипалеозойской Западно-Сибирской платформы или Западно-

Сибирской плиты в пределах Урало-Сибирской эпипалеозойской платформы. В более дробном делении в [7] она относится к Среднеиртышской синеклизе, расположенной между структурами первого порядка – Тарской седловиной и Омской впадиной. Известно [7, 8], что по результатам ГСЗ и данным об аномалиях магнитного и гравитационного полей для значительной части Западно-Сибирской платформы и районов ее складчатого обрамления выделены крупные блоки, проявленные во всей консолидированной коре и ограниченные разломами, достигающими верхов мантии. В ряде мест отражена и более мелкая разблокировка, отмеченная только в верхней части консолидированной коры. Доминируют пересекающиеся зоны глубинных разломов северо-западного и северо-восточного направлений. Намечаются также разломы с почти меридиональным и широтным простиранием. Подчеркивается важная особенность глубинной структуры Западно-Сибирской платформы – наличие мозаичной системы крупных угловатых блоков с горизонтальными размерами ≥ 100 км.

Сеть станций, зарегистрировавшая Тюкалинское землетрясение и изображенная на рис. 3, виртуальная. Непосредственно на территории Омской области сейсмических станций нет. Ближайшие к эпицентру станции расположены на севере Казахстана и принадлежат Институту геофизических исследований Национального ядерного центра Министерства энергетики и минеральных ресурсов (ИГИ НЯЦ МЭМР РК) [9]. Это высокочувствительные сейсмические группы (Боровое, Зеренда, Чкалово и Восточное), состоящие из нескольких пунктов наблюдений и расположенные на расстоянии $\Delta=270\text{--}380$ км юго-западнее Тюкалинского землетрясения. С севера ближайшей к эпицентру является сеть сейсмических станций Алтае-Саянского филиала ГС СО РАН [10], установленных в зоне нефтегазовых месторождений возле Ханты-Мансийска и выполняющих задачи мониторинга сейсмических явлений в указанном районе. От Тюкалинского землетрясения она находится на расстоянии 550–600 км. С востока ближайшими являются: одна станция «Залесово» с $\Delta=270$ км, принадлежащая Министерству обороны РФ и входящая в международную сеть IMS СТВТО; три станции Алтае-Саянской сети ГС СО РАН («Быстровка», «Ельцовка», «Новосибирск») и станция «Шира», входящая в Красноярскую сейсмическую сеть. Перечисленные станции удалены от Тюкалинского землетрясения на $\Delta=6\text{--}8.5^\circ$. Отметим также две станции ГС РАН («Арти» и «Свердловск» с $\Delta=800$ км), расположенные западнее очаговой зоны на Урале. Кроме того, Тюкалинское землетрясение было зарегистрировано весьма удаленными ($\Delta=24\text{--}31^\circ$) высокочувствительными сейсмическими группами FINES, ARCES, HFS, NOA, действующими на территории Скандинавских государств. Список всех станций приведен в табл. 2.

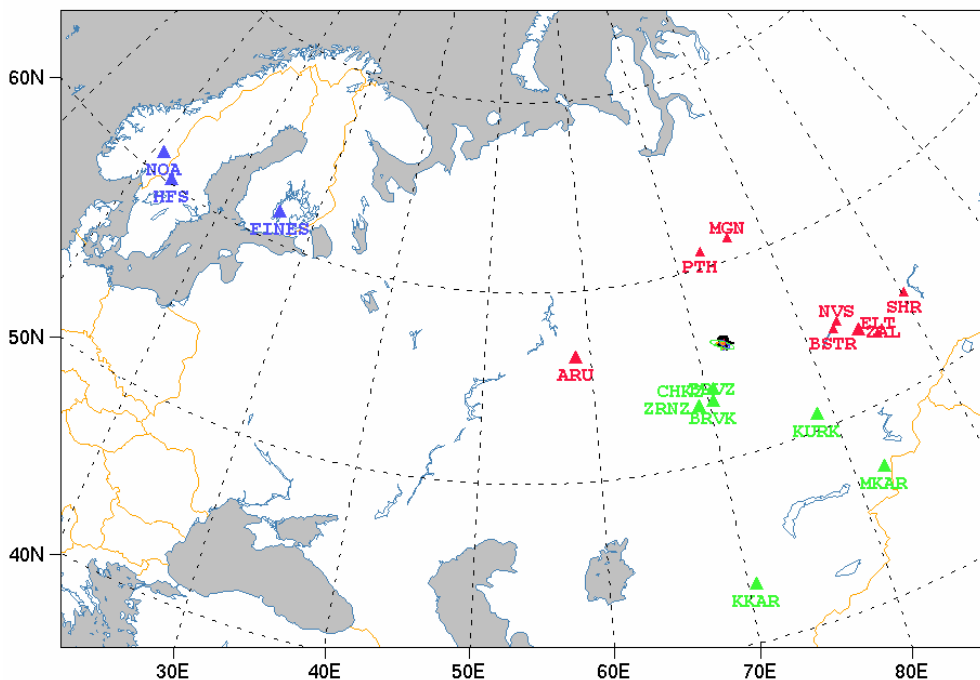


Рис. 3. Сеть сейсмических станций, зарегистрировавшая Тюкалинское землетрясение 13 февраля 2003 г.

Таблица 2. Цифровые станции виртуальной сети, зарегистрировавшей Тюкалинское землетрясение 13 февраля 2003 г.

№	Станция		Координаты		Δ°	Компонента
	Название	Код	φ°, N	λ°, E		
1	Пытьях	PTH	60.7540	72.8510	4.8	N, E, Z
19	Шира	SHR	54.4986	90.1686		N, E, Z
2	Мегион	MGN	61.0266	76.1110	10.2	N, E, Z
3	Быстровка	BSTR	54.5500	82.6600		N, E, Z
4	Ельцовка	ELT	53.2616	86.2398	8.4	N, E, Z
5	Арти	ARU	56.4302	58.5625	7.8	N, E, Z
6	гр. Боровое	BRVK	53.0581	70.2828		N, E, Z
7	Новосибирск	NVS	54.8400	83.2300	6.2	N, E, Z
8	Z-комп. центр. пункта гр. Боровое	BRVZ	53.0580	70.2828		N, E, Z
9	Залесово	ZAL	53.9367	84.7981	2.7	N, E, Z
10	FINES array	FINES	61.4436	26.0771	24.4	N, E, Z
11	Hagfors	HFS	60.1335	13.6945	30.6	N, E, Z
12	NORSAR array	NOA	61.0397	11.2148	31.7	N, E, Z
13	ARCES array	ARCES			30.6	
14	гр. Чкалово	CHKZ	53.6762	70.6152		N, E, Z
15	гр. Каратау	KKAR	43.1034	70.5115		N, E, Z
16	Курчатов	KURK	50.7154	78.6202		N, E, Z
17	гр. Маканчи	MKAR	46.7937	82.2904		N, E, Z
18	гр. Зеренда	ZRND	52.9510	69.0043		N, E, Z
19	Шира	SHR	54.4986	90.1686		N, E, Z
20	Мегион	MNG			10.2	

Параметры Тюкалинского землетрясения были определены в информационно-обрабатывающих центрах (ИОЦ) ГС РАН в Обнинске и ГС СО РАН в Новосибирске, в ИГИ НЯЦ МЭМР РК, в Международном центре данных IDC (Вена, Австрия) – организации, созданной для слежения за соблюдением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Кроме того в [1] получено уточненное решение эпицентра по данным региональных и более удаленных станций, с выделением всех возможных сейсмических фаз. И, наконец, параметры этого землетрясения были получены и в Международном сейсмологическом центре ISC [12] в Ньюбери, Англия. Решения эпицентра Тюкалинского землетрясения по различным источникам приведены в табл. 3 и на рис. 4 с иллюстрацией эллипсов доверительных ошибок, полученных при локации.

Таблица 3. Основные параметры Тюкалинского землетрясения 13 февраля в 21^h37^m с $MS=3.6$ по данным разных агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр							Магнитуда	Источ- ник
			φ°, N	$\delta\varphi^\circ$	λ°, E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	n	GAP $^\circ$		
СБ	21 37 40.2	3.3	55.98	0.09	72.74	0.13	33f	8	151	$MPSP=4.2/2$	[12]
АС ГС СО РАН	21 37 44.0	1.63	55.90	0.06	72.90	0.13	15f			$K_p=9.1$	[13, 14]
ИГИ НЯЦ МЭМР РК	21 37 40.01		55.8841		72.6379		15.4	4	79	$MPVA=2.8, K_p=8.7$	[15]
REV IDC	21 37 36.75		55.90		72.43		0f	6	160	$ML=3.1/2, M_s=3.6/1$	[16]
OBN	21 37 38.34	0.7	55.945	0.06	72.496	0.09	18±6	18	72		[1]
ISC	21 37 36.61	0.71	55.9428	0.06	72.42	0.06		13	150	$M_s=3.6/1, m_b=3.6/1$	[11]

Примечание. Символом f обозначена фиксированная глубина.

Как следует из табл. 3, расхождения в координатах по широте и долготе по разным центрам составляют не более 0.2°. Разброс глубин также незначителен, исключая решения с фикс-

сированными глубинами, равными $h=0$ км по [17], 15 км по [14] и $h=33$ км по [13]. Эллипсы ошибок по различным центрам частично покрывают зону, в которой зафиксированы макро-сейсмические проявления (рис. 4).

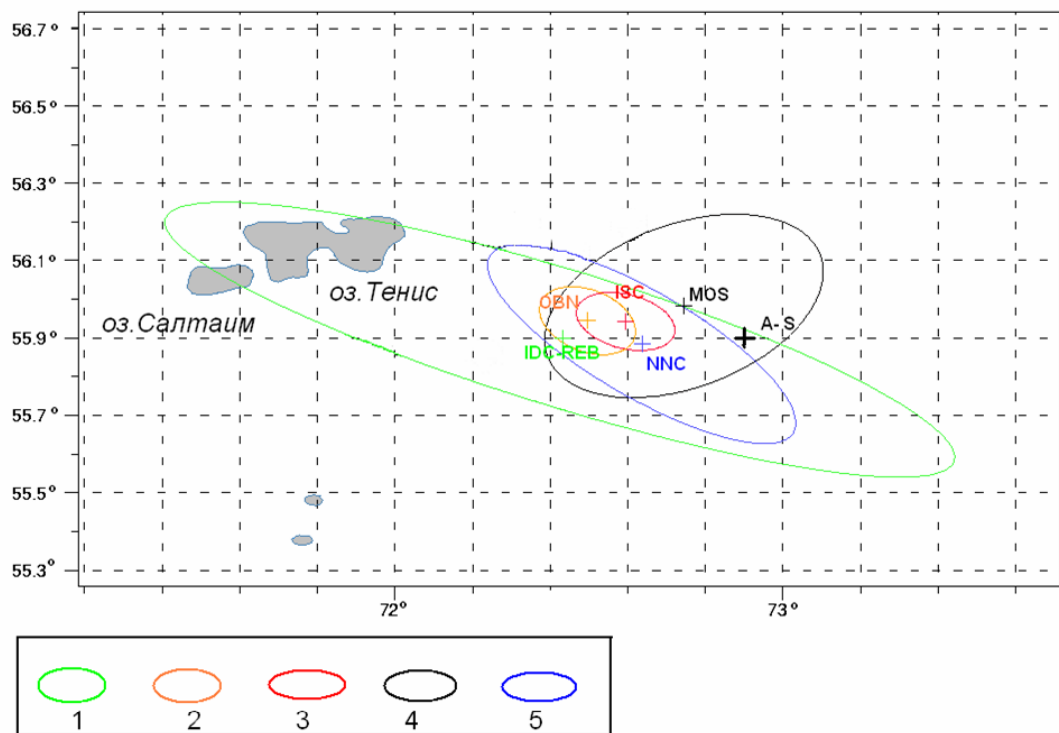


Рис. 4. Решения эпицентра Тюкалинского землетрясения по данным разных агентств

1–5 – эллипс ошибок по данным REB IDC [17], OBN [1], ISC [12], MOS [13], ИГИ НЯЦ МЭМП РК [16] соответственно.

В Сейсмологическом бюллетене [13] использовались данные восьми станций, расположенных в интервале $\Delta=3.2\text{--}32^\circ$, в азимутальном створе $96\text{--}305^\circ$. Это станции, – «Боровое» (BRVK), «Маканчи» (MKAR), «Новосибирск» (NVS), «Залесово» (ZAL), «Арти» (ARU), FINES, HFS, NOA.

В бюллетене ИГИ НЯЦ МЭМП РК [16] к определению параметров привлекались данные четырех станций: «Боровое» BRVK, «Маканчи» MKAR, «Зеренда» (ZRND), «Чкалово» (CHKZ) с $\Delta=2.5\text{--}11^\circ$. Максимальный пустой азимутальный угол в окружении эпицентра $GAP=79^\circ$.

В бюллетене REB IDC [17] к расчету параметров привлекались данные шести станций: ZAL, MKAR, FINES, ARCES, HFS, NOA в интервале расстояний $\Delta=7.4\text{--}31.4^\circ$. Максимальный пустой азимутальный угол в окружении эпицентра $GAP=160^\circ$.

Для получения уточненного бюллетеня основных параметров Тюкалинского землетрясения [1] в ИОЦ ГС РАН были собраны цифровые записи ближайших сейсмических станций. Записи Алтае-Саянской сети ГС СО РАН были представлены пятью трехкомпонентными короткопериодными станциями типа Байкал [11] («Быстровка» (BSTR), «Ельцовка» (ELT), «Шира» (SHR), «Мегион» (MNG) и «Пыть-ях» (PTH)), удаленных на расстояния Δ от 4.8 до 10.2° , ИГИ НЯЦ МЭМП РК по запросу предоставил записи пяти микрогрупп («Боровое» (BRVK), «Чкалово» (CHKZ), «Зеренда» (ZRND), «Маканчи» (MKAR), «Каратау» (KKAR)) и одной трехкомпонентной станции «Курчатов» (KURK). Кроме того, были взяты записи станции «Арти» (ARU), удаленной на расстояние 7.8° . При локации также использовались времена вступления сейсмических фаз сейсмических групп FINES ($\Delta=24.4^\circ$), ARCES, HFS ($\Delta=30.6^\circ$), NOA ($\Delta=31.7^\circ$).

На рис. 5 собраны волновые формы двенадцати станций, рассматриваемые при уточнении параметров Тюкалинского землетрясения, показаны в виде годографа, на который наложены линии годографа IASPEI-91. Здесь же на верхней врезке показано расположение этих станций относительно эпицентра.

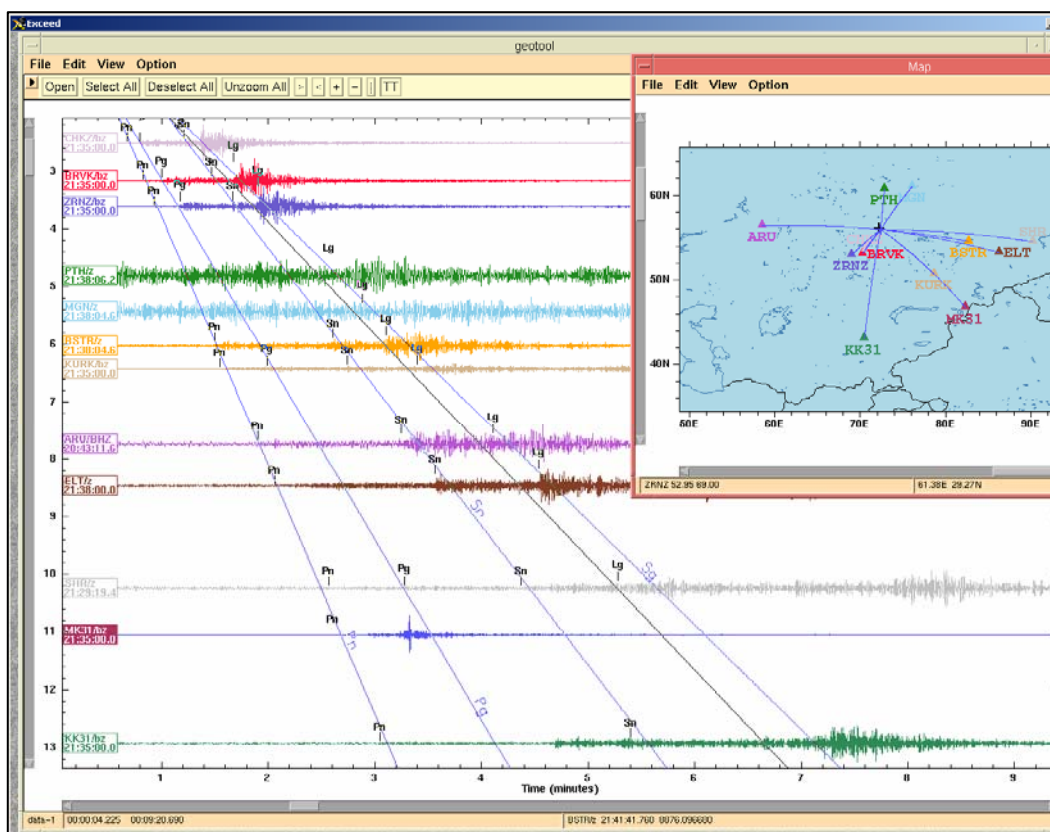


Рис. 5. Изображение всех собранных волновых форм и карты со станциями в рабочих окнах программы Geotool [18] (на записи, расположенные по эпицентральному расстоянию, наложен в графическом виде годограф IASPEI 91 [19])

Глубина очага землетрясения определяется для неглубоких землетрясений надежно лишь при довольно густой сети станций, из которых, по крайней мере, одна должна быть расположена близко к эпицентру [20]. Как отмечалось выше, в настоящем исследовании удалось собрать достаточно представительную информацию по станциям, хорошо окружавшим эпицентр, но ближайшие станции были удалены от эпицентра примерно на 300 км. Этот факт не позволял говорить о возможности определения достоверного значения глубины события при сводной обработке с учетом только вступлений P -волн, как это производится в сейсмологическом бюллетене ГС РАН. Поэтому значение глубины $h=33$ км [13] лишь означает, что очаг находился в земной коре. В рутинной практике Алтае-Саянского филиала ГС СО РАН решения находятся с использованием всех региональных фаз, но при условной фиксированной глубине очага 15 км. В связи с этим поиск достоверного решения гипоцентра был связан с попыткой обнаружения глубинных фаз на записях отдельных станций и их учете при локации. В качестве рабочей программы, позволяющей учесть при локации основные сейсмические волны, в том числе и глубинные фазы, была использована программа LocSat [21].

На записях станции «Новосибирск», удаленной на расстояние $\Delta=6.2^\circ$, была выделена фаза через 5.4 с после вступления волны Pn , которая могла быть интерпретирована как глубинная фаза sPn (рис. 6). Это соответствует глубине очага около 15 км. При локации гипоцентра по программе LocSat с использованием годографа IASPEI-91 [19] эта фаза также использовалась совместно с фазами Pn , Pg , Sn , Lg на расстояниях с Δ от 2.5 до 13° и с фазой P на расстояниях $\Delta=21-31^\circ$. В результате была получена инструментальная глубина Тюкалинского землетрясения, равная $h=18\pm 4$ км. Проверка правильности интерпретации глубинной фазы производилась с использованием кепстрального анализа фрагмента записи, который помогает выделить фазы «эхо-сигналы». Методика такого подхода описана в [22], построение кепстров реализовано в программе Geotool [18]. Наличие на записи эхо-сигнала подтверждается максимальным выбросом кепстра на графике с временной задержкой относительно фазы Pn , соответствующей времени задержки прихода глубинной фазы (рис. 7).

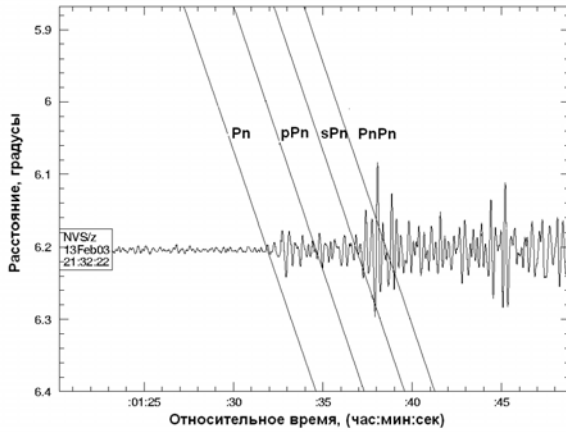


Рис. 6. Фрагмент записи вертикальной компоненты, фильтрованной в полосе 1–6 Гц, с наложением линий годографа IASPEI-91 для фаз P_n , pP_n , sP_n , P_nP_n для глубины 15 км

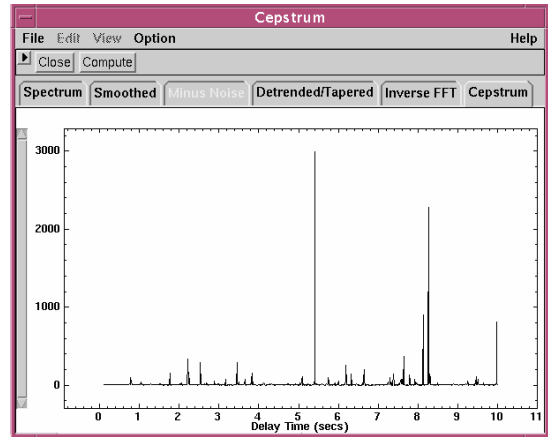


Рис. 7. Кепстр 10-секундного фрагмента записи P -волны, содержащей вступление, интерпретируемое как sP , имеет отчетливый максимальный импульс с задержкой во времени, также равный 5.4 с

Волновая картина Тюкалинского землетрясения затруднена в интерпретации из-за наложения записей двух разных, но близких по времени землетрясений: Тюкалинского с $t_0=21^{\text{h}}37^{\text{m}}38^{\text{s}}$ с $m_b=4.2$ [12] и землетрясения с $t_0=21^{\text{h}}40^{\text{m}}09.8^{\text{s}}$ с $m_b=3.8$ [12], произошедшего на границе Казахстана с Китаем. Особенно это отразилось на записях станций, удаленных на $\Delta=8-9^\circ$, например «Ельцовка» с $\Delta=8.4^\circ$ (рис. 8). На сейсмограммах станций, удаленных на меньшие расстояния, записи двух землетрясений хорошо разделены, например на станции «Быстровка» (рис. 9) и на всех станциях группы «Боровое» (рис. 10, 11). На записях Алтае-Саянских станций отчетливо наблюдаются головные волны P_n , S_n . Максимальные амплитуды имеют волны L_g . О преобладании таких волн на записи для землетрясений Средней Азии и Сибири отмечалось в работе [23]. Прямые продольные волны P_g слабо выделяются на записях Тюкалинского землетрясения на этих расстояниях и в этом направлении.

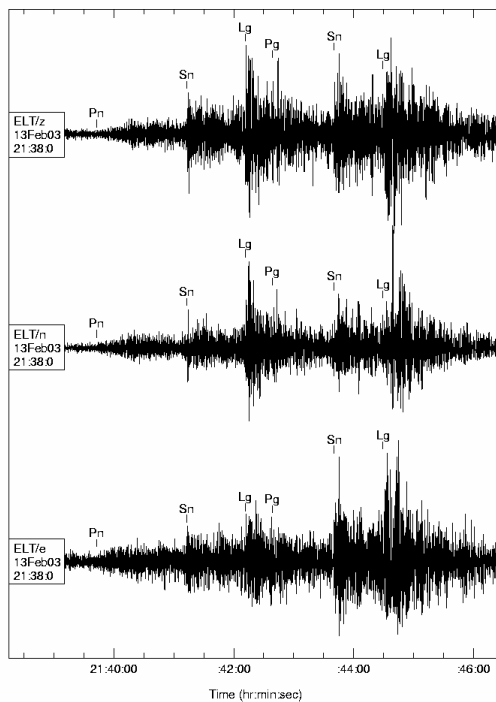


Рис. 8. Трехкомпонентные записи 13 февраля двух землетрясений с $t_0=21^{\text{h}}37^{\text{m}}38^{\text{s}}$ и с $t_0=21^{\text{h}}40^{\text{m}}09.8^{\text{s}}$ на станции «Ельцовка» ($\Delta=8.4^\circ$)

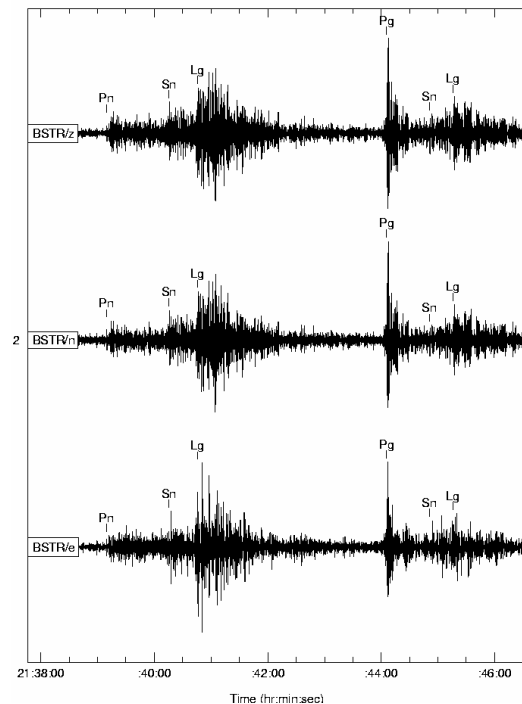


Рис. 9. Трехкомпонентные записи 13 февраля двух землетрясений с $t_0=21^{\text{h}}37^{\text{m}}38^{\text{s}}$ и с $t_0=21^{\text{h}}40^{\text{m}}09.8^{\text{s}}$ на станции «Быстровка» ($\Delta=5.9^\circ$)

На записях казахстанских станций максимальные амплитуды характеризуют отчетливо выделяющуюся фазу Lg . За 14–15 с до нее только на записях станции «Зеренда» слабо проявляются головные поперечные волны Sn , имеющие более высокочастотный состав (рис. 11, 13). В группе продольных волн регистрируемая в первых вступлениях головная волна Pn слабо различается на фоне сейсмического шума, а вот следом приходящая прямая волна Pg выделяется с большим отношением сигнал/шум.

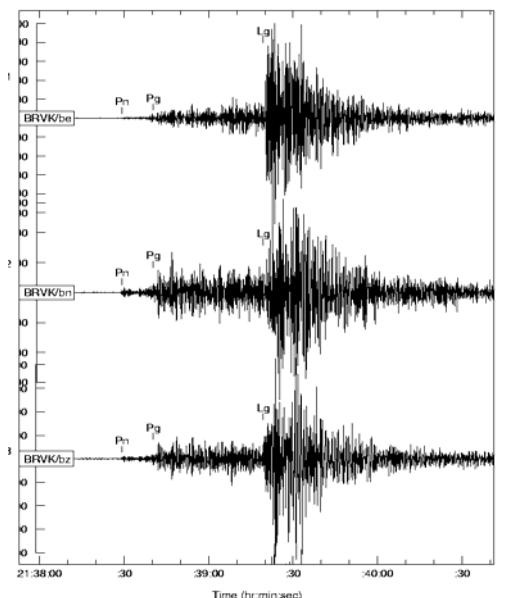


Рис. 10. Трехкомпонентная запись Тюкалинского землетрясения на станции «Боровое» ($\Delta=3.2^\circ$)

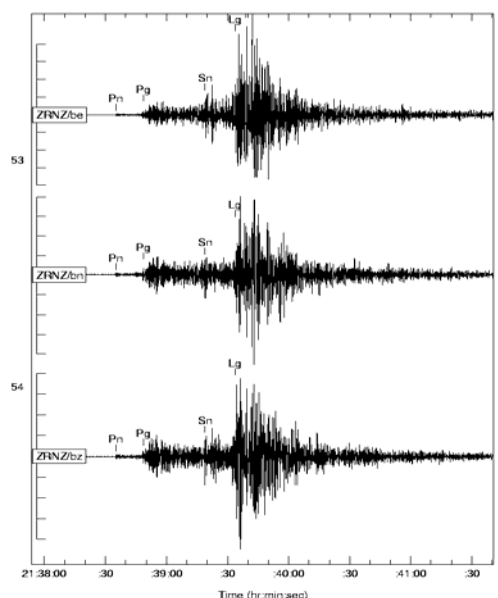


Рис. 11. Трехкомпонентная запись Тюкалинского землетрясения на станции «Зеренда» ($\Delta=3.7^\circ$)

Сравнение спектров 10-секундных фрагментов записи в сейсмических фазах, зарегистрированных на станции «Боровое» и «Зеренда» (вертикальная компонента), показано на рис. 12, 13. На станции «Боровое» Sn -волна не выделяется на фоне коды Pg и других отражений. На станции «Зеренда» волны Pn , Sn имеют более высокочастотный спектр. Характер соотношения спектральных амплитуд в различных фазах, по-видимому, свойствен землетрясениям, а не поверхностным взрывным источникам.

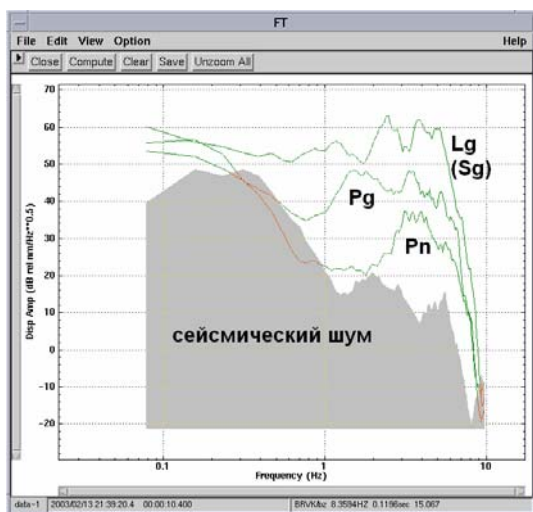


Рис. 12. Сравнение спектров (сглаженных с использованием 10-секундного окна) вертикальных компонент сейсмических фаз Pn , Pg , Lg (Sg) на станции «Боровое»

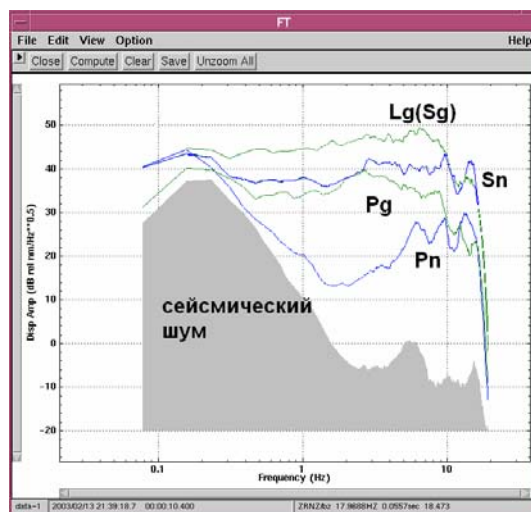


Рис. 13. Сравнение спектров (сглаженных с использованием 10-секундного окна) вертикальных компонент сейсмических фаз Pn , Pg , Sn , Lg (Sg) на станции «Зеренда»

Записи более удаленной ($\Delta=7.8^\circ$) станции «Арти» существенно отличаются по составу и динамической выраженности от аналогичных записей для сибирских и казахстанских землетрясений. Здесь максимально выражена головная волна Sn по амплитудам в широком диапазоне частот. Это хорошо видно и на записях в полосе $0.5\text{--}4.5\text{ Гц}$ и на спектрограмме вертикальной компоненты (рис. 14, 15). Волна Lg , напротив, менее выражена.

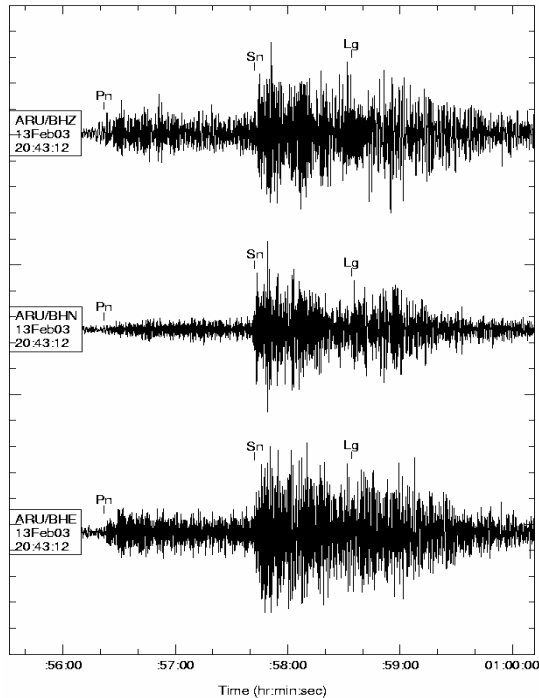


Рис. 14. Трехкомпонентная широкополосная запись Тюкалинского землетрясения на станции «Арти» ($\Delta=7.9^\circ$), фильтрованная в полосе $0.5\text{--}4.5\text{ Гц}$

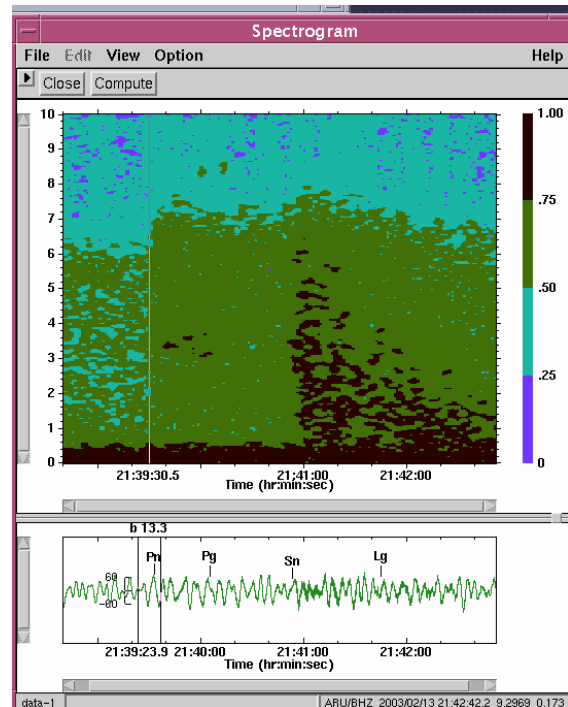


Рис. 15. Спектрограмма вертикальной компоненты записи Тюкалинского землетрясения на станции «Арти»; цветом показано нормированное значение спектра мощности; наибольшим значениям спектра мощности соответствует более темный цвет; внизу нефильтрованная запись вертикальной компоненты

Времена пробега сейсмических фаз продольных и поперечных Pn , Pg , Sn , Sg -волн относительно полученного гипоцентра при глубине 15 км использовались в дальнейшем при построении регионального годографа юга Западной Сибири, изображенного на (рис. 16). На этом годографе заметны отличия полученных для Тюкалинского землетрясения скоростей распространения сейсмических фаз от средних значений скоростей в [24], используемых в рутинной практике Алтае-Саянского региона.

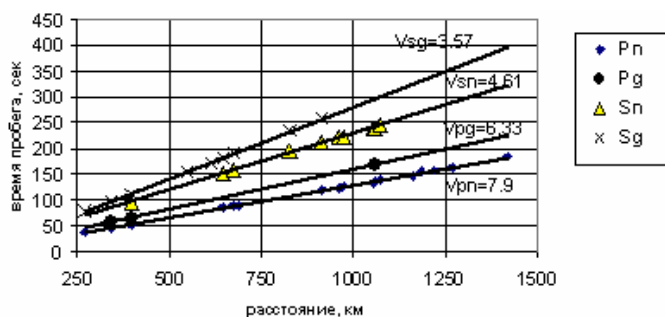


Рис. 16. Годограф сейсмических волн Тюкалинского землетрясения 13 февраля 2003 г. с $MS=3.6$

Годограф головных Pn и Sn -волн представлен на рис. 17 в редуцированном виде. Характер редуцированного годографа свидетельствует, возможно, о смене типа волны на расстояниях $800\text{--}900\text{ км}$ и в окрестности 1200 км .

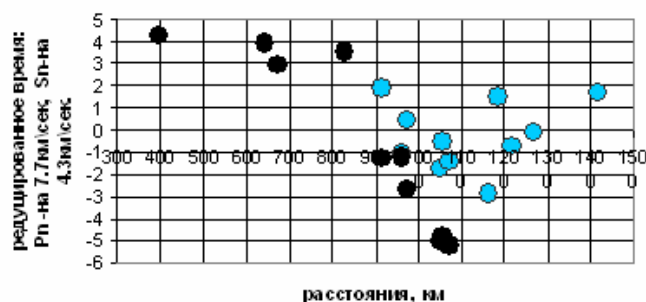


Рис. 17. Редуцированные годографы Pn - и Sn -волн Тюкалинского землетрясения при $v_{Pn}=7.7$ км/с, $v_{Sn}=4.3$ км/с,

Совместный анализ волновых форм Тюкалинского землетрясения на разных эпицентральных расстояниях и результаты определения параметров по данным различных сейсмологических центров свидетельствует в пользу того, что рассматриваемое сейсмическое со-

бытие имеет тектоническую, а не «метеоритную» природу. К тому же очаг Тюкалинского землетрясения 13 февраля 2003 г. расположен в очаговой области землетрясения 13 февраля 1904 г.

Таким образом, приведенные выше детальные исследования имеющихся сейсмических записей на расстояниях от 270 км до 3500 км показывают на заглубленное, а не на близповерхностное событие. Это означает, что нет сомнений в природе описанного события, т.е. 13 февраля 2003 г. вблизи г. Тюкалинск было зарегистрировано тектоническое землетрясение с глубиной гипоцентра в пределах $h=15-18$ км.

Учитывая расстояния, магнитуду, глубину эпицентра можно по известным формулам затухания макросейсмической интенсивности с использованием средних значений коэффициентов $b=1.5$, $v=3.5$, $c=3.0$ [25] определить интенсивность сотрясений в эпицентре, а именно:

$$I_0 = bM - v \lg h + c.$$

При $M=3.6$, $h=15$ км расчетная интенсивность сотрясений в эпицентре составляет $I_0=4.3$, т.е. 4–5 баллов.

Л и т е р а т у р а

1. Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Еманов А.Ф., Филина А.Г., Подкорытова В.Г. Тюкалинское землетрясение 13 февраля 2003 года в Омской области // Активный геофизический мониторинг литосферы Земли: Материалы Второй Международного симпозиума, г. Новосибирск, Академгородок, 12–16 сентября 2005. – Новосибирск: Наука, СО РАН, 2005. – С. 361–367.
2. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
3. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект новых карт сейсмического районирования территории России «Природные опасности России. Сейсмические опасности» / Под ред. Г.А. Соболева. – М.: Наука, 2000.
4. Ананьин И.В. (отв. сост). XIV. Европейская часть СССР, Урал и Западная Сибирь [1467–1974 гг.; $M \geq 3.0$; $I_0 \geq 4$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 465–470.
5. Унифицированный каталог землетрясений Северной Евразии с древнейших времен по 1990 год // Государственная научно-техническая программа Российской Федерации по проблеме «Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии». Отв. ред. Н.В. Кондорская, В.И. Уломов – М.: ОИФЗ РАН, 1996. – <http://www.segis.ru>.
6. Бюллетень Постоянной центральной сейсмической комиссии. – Январь–март, 1904.
7. Рудкевич М.Я. Тектоника Западно-Сибирской плиты и ее районирование по перспективам нефтегазоносности. – М.: Недра, 1969. – 280 с.
8. Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР. – М.: Наука, 1980.
9. Бейсенбаев Р.Т., Ли А.Н., Калмыкова Н.А., Неверова Н.П., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Казахстан // Землетрясения Северной Евразии в 2002 году. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 168–174.
10. Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н. Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 г.). – Москва–Обнинск: ГС РАН, 2001. – 86 с.

11. **Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В.** Алтай и Саяны. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
12. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2003.** – Berkshire: ISC, 2005–2006.
13. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2003 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2003–2004.
14. **Каталог Алтае-Саянского региона в 2003 г.** // Землетрясения России. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 55–64.
15. **Филина А.Г., Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Данциг Л.Г., Денисенко Г.А., Кузнецова Н.В., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Щевелёва С.С., Шевкунова Е.В.** Каталог землетрясений Алтая и Саян за 2003 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
16. **Сейсмологический бюллетень Казахстана** <http://www.kndc.kz/rus/index.php>
17. **Reviewed Event Bulletin (REB)** of the CTBT_IDC from 2003/02/13 00:00:00 to 2003/02/14 00:00:00, generated 2003/02/21 16:27:10.
18. **John Coyne, Karen Clark, Stephen Lloyd.** IDC Documentations Geotool Software User Tutorial. – 16 July 2003. – P. 59.
19. **Kennet B.L.N. ed.** IASPEI 1991 Seismological Tables // Research School of Earth Sciences Australian National University. – 1991.
20. **Кондорская Н.В.** Выделение волны sP при неглубоких землетрясениях и ее использование для определения глубины очага. // Сборник статей по сейсмологии (Труды геофизического института АН СССР, № 36 (163)). – М.: Наука. – С. 35–9.
21. **Bratt S.R. and T.C. Bache.** Locating events with a space network of regional arrays // Bull. Seismol. Soc. Am. – 1988. – 78. – № 2 – С. 780–798.
22. **Канасевич Э.Р.** Анализ временных последовательностей в геофизике. – М: Недра, 1985. – 400 с.
23. **Молнар П., Нерсесов И.Л., Рузайкин А.И., Халтурин В.И.** Волны Lg и их распространение в Центральной Азии // Сборник советско-американских работ по прогнозу землетрясений. Том 1, книга 1. – Душанбе: Дониш, 1976. – С. 185–206.
24. **Филина А.Г.** Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 120–124.
25. **Шебалин Н.В.** Коэффициенты уравнения макросейсмического поля по регионам // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 30.