

СЕВЕРОБАЙКАЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 13 апреля 1997 года с $MS=4.2$, $I_0=7$ (Прибайкалье)**В.В. Ружич, В.И. Мельникова, Н.А. Гилева, О.П. Смекалин**

Северобайкальское землетрясение произошло 13 апреля 1997 г. в 18^h04^m [1] в долине среднего течения р. Тья, впадающей в оз. Байкал в его северо-западной оконечности, и вызвало сотрясения в эпицентре около 7 баллов. Ему не предшествовали форшоки, а афтершоковая деятельность была кратковременной и весьма незначительной. Всего зарегистрировано 11 афтершоков с $K_p \leq 8.5$, компактно локализующихся, в основном, западнее эпицентра главного толчка (табл. 1).

Таблица 1. Афтершоки Северобайкальского землетрясения 13 апреля

Дата, д м	t_0 , ч мин с	φ°, N	λ°, E	K_p	Дата, д м	t_0 , ч мин с	φ°, N	λ°, E	K_p
13.04	18 04 14.2	55.84	109.31	12.5		22 06 58.0	55.85	109.20	6.5
13.04	19 37 08.9	55.85	109.29	6.5	16.04	14 45 22.2	55.85	109.33	7.1
	20 33 35.6	55.89	109.11	6.7	02.05	22 10 37.3	55.84	109.25	8.5
	23 34 57.7	55.94	109.25	7.3		22 54 07.3	55.79	109.22	5.8
14.04	10 44 14.4	55.83	109.28	6.0	10.05	02 41 26.8	55.71	109.28	6.5
	12 46 54.4	55.87	109.24	6.1	11.05	20 46 59.3	55.70	109.24	6.5

Основные параметры землетрясения по наблюдениям станций Прибайкалья и Забайкалья, а также различных сейсмологических центров приведены в табл. 2, положение эпицентров – на рис. 1. По-видимому, наиболее точно параметры эпицентра установлены региональными сейсмическими станциями БОМСЭ (ВУКЛ), что демонстрирует эллипс ошибок. Решение, близкое к региональному, получено и в агентстве EIDC [2]. С этими и двумя другими результатами определений координат гипоцентра (агентства: ISC, NEIS [2]), согласуются в пределах точности решения и данные агентства MOS [3]. В агентстве ISC довольно высокая точность определения искомым параметров, но здесь для этого привлекались данные лишь 10 станций с эпицентральной расстоянием <800 км, в то время как в БОМСЭ их насчитывалось более 20. Наличие близкой станции "Нижнеангарск", расположенной в 17 км к юго-востоку от эпицентра землетрясения, позволило оценить глубину гипоцентра с приемлемой точностью (стоит отметить, что по данным разных агентств в определении этого параметра нет различий). Магнитуда землетрясения по поверхностным и объемным волнам в ближней зоне по разным источникам изменяется в пределах 4.2-4.6 и 4.4-4.9, соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Основные параметры Северобайкальского землетрясения по региональным данным [1] и данным разных агентств: MOS [3]; ISC, NEIC, EIDC, ВЛ [2]

Ист.	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Эпицентр				h, км	δh , км	Энергетический класс K_p и магнитуды
			φ°, N	$\delta \varphi^\circ$	λ°, E	$\delta \lambda^\circ$			
БОМСЭ (ВУКЛ)	18 04 14.2	0.4	55.84	0.03	109.31	0.0	10	5	$K_p=12.5 \pm 0.5$
MOS	18 04 12.7	0.85	55.90	0.10	109.22	0.17	10		$MS=4.2/9$; $MPSP=4.9/8$
ISC	18 04 13.0	0.19	55.92	0.03	109.14	0.05	10		$M_s=4.3/6$; $m_b=4.7/55$
NEIC	18 04 12.8		55.95		109.10		10		$M_s=4.6/2$; $m_b=4.8/39$
EIDC	18 04 12.5		55.9		109.3		0		$ML=4.5/5$; $m_b=4.5/21$
ВЛ	18 04 11.5		55.98		109.41		10		$M_s=4.4$; $m_b=4.4$

Тектоника района и механизмы очагов землетрясений. Эпицентральная область описываемого землетрясения, располагающаяся близ границы Байкальской горной области с Сибирской платформой (рис. 2), характеризуется интенсивными складчатыми и разрывными деформациями, возникшими в докембрийское время. Несколько миллионов лет назад, в период необайкальской рифтогенной активизации, когда формировалась Байкальская рифтовая впадина, ряд древних зон разломов взбросо-сдвигового и надвигового типа, в том числе и тех, между которыми расположен очаг землетрясения, испытали очередной всплеск тектонической

активности [4]. Ее последствия в виде смещений вершинной поверхности и молодых протяженных тектонических рвов и уступов зафиксированы в южной части Тья-Абчадского разлома, проходящего непосредственно западнее эпицентра землетрясения, и по Кичерскому разлому, ограничивающему с северо-запада северную часть Байкальской впадины и расположенному восточнее эпицентра. В результате сейсмогеологических исследований в зонах указанных разломов было локализовано несколько очагов древних (возрастом от первых сотен до первых тысяч лет) землетрясений с магнитудами в диапазоне 6.7-7.5 [5]. Все они расположены южнее и восточнее Северобайкальского землетрясения 1997 г.



Рис. 1. Положение эпицентра Северобайкальского землетрясения по данным региональным БОМСЭ (ВУКЛ) [1] и различных сейсмологических центров (ISC, NEIC, EIDC, ВЛ [2], MOS [3]).

1 – инструментальный эпицентр (код агентства указан рядом); 2,3 – области возможного положения эпицентра по данным БОМСЭ и ISC/MOS, соответственно; 4 – населенный пункт.

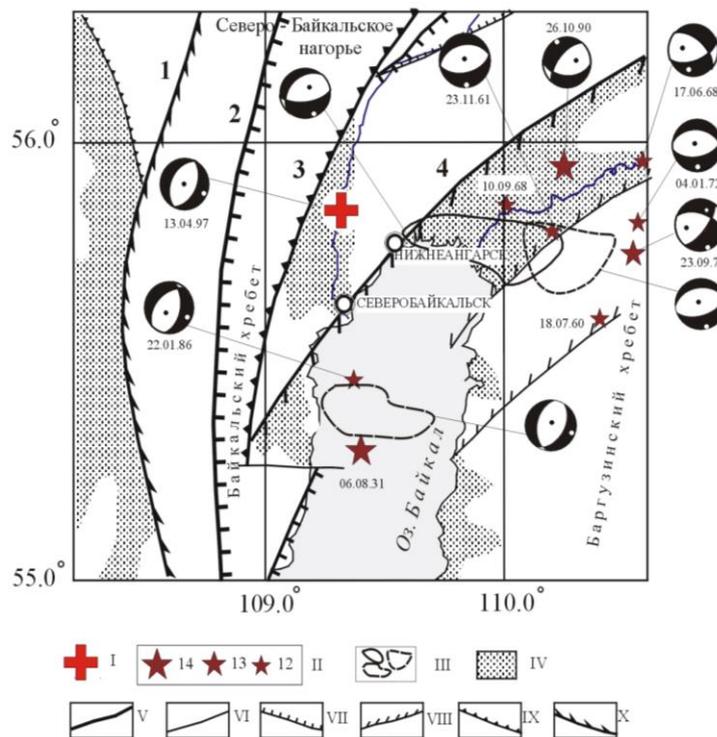


Рис. 2. Тектоническая схема района Северобайкальского землетрясения 13 апреля 1997 г.

I – эпицентр землетрясения 13 апреля 1997 г; II — эпицентры землетрясений с $K_p=12-14$, происшедших до события 13 апреля; III – контуры, ограничивающие эпицентральные поля слабых землетрясений, для которых механизмы очагов определены групповым способом [6] (фокальные механизмы представлены в проекции нижней полусферы, области волн сжатия на стереограммах зачернены, оси главных напряжений сжатия и растяжения – темные и светлые точки, соответственно); IV – осадочное заполнение впадин; V – генеральные разломы, активные в кайнозое: Аkitканский (1), Грамнинский (2), Тья-Абчадский (3), Кичерский (4) [7]; VI – региональные разломы; 7 – сброс; 8 – сбросо-сдвиг; 9 – взброс; 10 – взбросо-сдвиг по [8].

Известно, что в пределах территории, изображенной на рис. 2, в 20-м столетии происходили землетрясения и более высокого энергетического уровня, чем толчок 13 апреля. Это Нижнеангарское землетрясение 06.08.1931 г. в $18^{\text{h}}16^{\text{m}}$ с $M=5.9$ [9,10] и событие 26.10.1990 г. в $18^{\text{h}}17^{\text{m}}$ с $K_p=14.2$ [11]. Однако очаги как этих, так и четырех других менее сильных ($K_p=12$) толчков, располагаются или южнее, или восточнее эпицентра Северобайкальского землетрясения. В окрестностях последнего за период инструментальных наблюдений зафиксировано лишь редкое поле слабых (преимущественно с $K_p=7-9$) толчков, что можно интерпретировать как проявление в этом месте сейсмического затишья в течение, по крайней мере, полувекового отрезка времени, которое было прервано описываемым землетрясением.

Как показывают фокальные механизмы землетрясений [12], происшедших на данной территории до описываемого события, в очагах наблюдаются сбросовые или сдвиго-сбросовые типы смещений, а простирание плоскостей разрывов согласуется с направлением основных геоструктур. Доминирующий в этом районе сеймотектонический режим растяжения характеризуется близгоризонтальной осью преимущественно северо-запад-юго-восточной ориентации и близвертикальным сжатием (рис. 2). Композитные механизмы очагов трех групп слабых землетрясений ($K_p=6-11$), эпицентры которых располагаются в акватории оз. Байкал и вблизи г. Нижнеангарска, отражают те же тенденции [6].

Решение механизма очага Северобайкальского землетрясения [13] получено по стандартной методике А.В. Введенской [14]. В качестве исходных данных использовались знаки первых вступлений волн P_g и P_n на записях 19 региональных сейсмических станций. Как видно из рис. 3, определение механизма очага достаточно надежно, поскольку изменение азимутов AZM осей напряжений и их углов с горизонтальной плоскостью PL меньше 10° . "Рифтовый" тип фокального механизма (ось сжатия – близвертикальна, растяжения – близгоризонтальна) и наклонные нодальные плоскости северо-восточного простирания хорошо вписываются в известное напряженно-деформированное состояние района и позволяют интерпретировать само землетрясение, как один из сеймотектонических эпизодов вовлечения в опускание геоблока, примыкающего к Байкальской впадине с северо-запада.

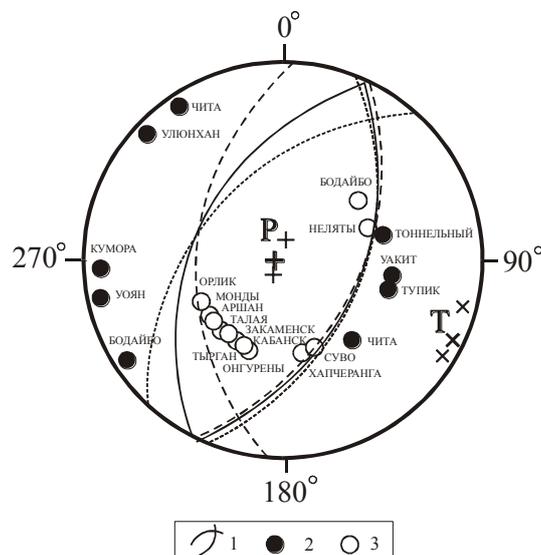


Рис. 3. Механизм очага Северобайкальского землетрясения в проекции нижней полусферы

1 – нодальные линии (пунктиром обозначены предельные положения); 2,3 – волны сжатия и разрежения, соответственно; P, T – оси главных напряжений сжатия и растяжения, соответственно.

Макросейсмические проявления. Северобайкальское землетрясение ощущалось на значительной территории. Данные о его макросейсмических эффектах (рис. 4 и табл. 3) получены в результате обследования ближайших к эпицентру населенных пунктов вдоль трассы Байкало-Амурской железнодорожной магистрали и опроса свидетелей из более удаленных пунктов. Эта работа и анализ полученных сведений были проведены сотрудниками лаборатории сейсмогеологии ИЗК СО РАН И.А. Емельяновой, О.П. Смекалиным и Л.Е. Гофман под руководством В.В. Ружича и начальником сейсмической станции "Нижнеангарск" Н.И. Шеметовым.

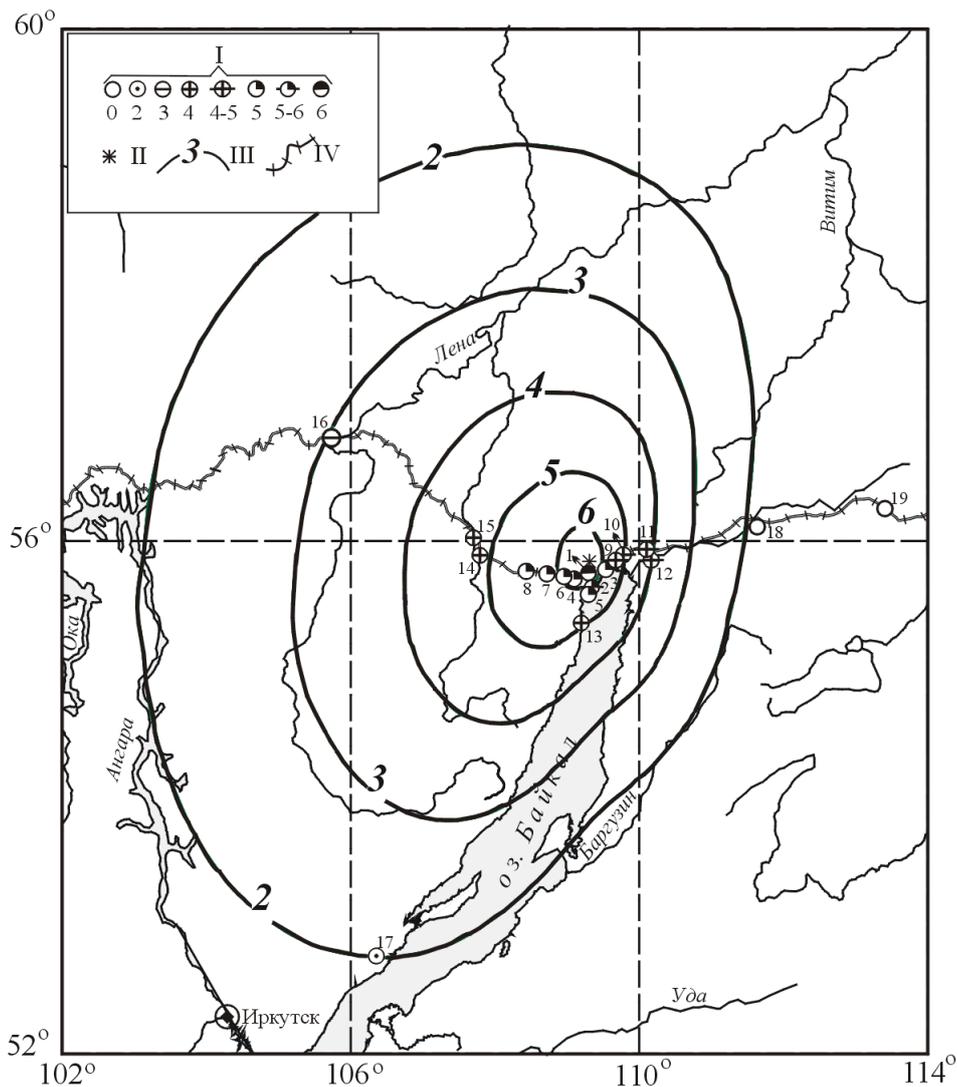


Рис. 4. Макросейсмическая схема Северобайкальского землетрясения

I – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [15]; II – инструментальный эпицентр [1]; III – теоретическая изосейста по [16]; IV – линия железной дороги. Номера населенных пунктов соответствуют табл. 3.

Таблица 3. Макросейсмические данные о Северобайкальском землетрясении 13 апреля в 18^h04^m
 ($K_p=12.5$, $MS=4.2$)

№	Пункт	Δ , км	Звук	№	Пункт	Δ , км	Звук
	<u>6 баллов</u>			11	Кичера, ж/д ст.	50	
1	Тыя, ж/д ст.	10	гул	12	Верх. Заимка, пос.	55	
	<u>5-6 баллов</u>				<u>4 балла</u>		
2	г. Северобайкальск	23	гул	13	Байкальское, село	60	
	<u>5 баллов</u>			14	Улькан, ж/д ст.	95	
3	Нижнеангарск, пос.	17	гул	15	Окунайский, пос.	100	
4	Солнечный, пос.	20	гул		<u>3 балла</u>		
5	Заречный, пос.	25		16	Усть-Кут, город	245	
6	Гоуджекит, ж/д ст.	26	гул		<u>2 балла</u>		
7	Гранитный, раб. пос.	35	гул	17	Тырган	405	
8	Кунерма, ж/д ст.	55			<u>Не ощущалось</u>		
	<u>4-5 баллов</u>			18	Новый Уоян, поселок	150	
9	Душкочан, пос.	23		19	Разлив, ж/д станция	250	
10	Холодная, ж/д ст.	28					

На ж/д станции *Тыя* при обследовании выявлен максимальный сейсмический эффект (табл. 3). По наблюдениям дежурного персонала станции вначале послышался очень сильный ("страшный") нарастающий гул со стороны ущелья р. Тыя (с северо-востока), перешедший затем в короткие резкие толчки увеличивающейся интенсивности. Стены и пол сильно колебались ("ходили ходуном"). Через 5-7 минут гул и толчки затихли, но затем снова послышался с той же стороны менее громкий нарастающий гул, не сопровождавшийся толчками и продолжавшийся минуты три. Спустя короткое время слабый гул без толчков был слышен в течение примерно минуты третий раз. Единственное на станции одноэтажное, сейсмостойкое, с небольшим сроком износа здание вокзала с жестким армированным фундаментом и навесными панелями, стоящее на необводненных грунтах 1-2 категории, получило следующие повреждения: в кабинете начальника станции на стыке блоков стены и потолка растрескалась и обрушилась штукатурка (куски размером ~60-80 см², толщиной ~3-5 см), в зале ожидания образовалась трещина с высыпанием штукатурки по всей длине стыковочного шва между плитами потолочного перекрытия. Такие деформации можно отнести к повреждениям 1 степени для сейсмостойких жилых зданий и оценить интенсивность в этом пункте как 6-балльную.

В г. *Северобайкальске* на эпицентрального расстоянии около 22 км были отмечены макросейсмические эффекты, оцененные как 5-6-балльные. Большинство жителей города проснулось, многие испытали сильный испуг, а часть – паническое или шоковое состояние. Много людей, в основном в районе многоэтажной застройки, покинули дома и не возвращались в них до рассвета. Был слышен громopodobный, по некоторым впечатлениям похожий на взрыв, гул. Сотрясались здания, скрипели стены брусковых домов, отмечались волнообразные колебания стен и полов, со стуком сотрясались водопроводные трубы и отопительные батареи. Сильно шаталась и, в единичных случаях, сдвигалась мебель, открывались дверцы мебели, качались люстры, дребезжала посуда, падали небольшие легкие предметы. В некоторых служебных помещениях сработала сигнализация. Наблюдались проявления сильного испуга и волнения у животных. В центральной части города, застроенной панельными и кирпичными 5-этажными зданиями, в основном, 122 и 166 серий с различными системами сейсмоустойчивости (сейсмопояс, полуплавающий фундамент, спецсвязь), некоторые здания получили в ряде мест повреждения 1-й степени – мелкие трещины на стыках потолочных панелей, непротяженные разрывы обоев в квартирах верхних этажей, заметные трещины на стыках потолочных и стеновых блоков. Наблюдались также вертикальные и горизонтальные трещины длиной от 20-25 см до 1.5-2 м в стеновых панелях квартир верхних этажей и выпадение небольших кусков штукатурки с потолочных панелей. Отмечены два случая отрыва на 1-2 см подъездных тамбуров от корпуса панельного дома. В кирпичных зданиях типографии и детского сада произошло оседание перемычек над дверными проемами, образовались многочисленные заметные трещины и осыпание и выпадение штукатурки на продольных и поперечных перегородках, волосяные трещины в капитальных углах, произошел разрыв обоев в результате трещинообразования в кирпичной кладке. В других частях города, застроенных сборно-щитовыми одноэтажными зданиями, исчерпавшими срок эксплуатации, и частными одноэтажными брусковыми и засыпными домами разного срока эксплуатации из наиболее тяжелых повреждений отмечены случаи вертикального смещения на 5-7 см щитовых панелей и разрушение верхней кладки кирпичной печи в старом (20 лет) сборно-щитовом доме. Таким образом, повреждения сооружений в г. Северобайкальске согласно шкале MSK-64 [15] соответствуют, по максимуму, 6-балльным сотрясениям (повреждения 1-й степени в отдельных зданиях типа Б). Характерные для подобной интенсивности поведенческие реакции людей и их окружения также убеждают в том, что в ряде мест города была достигнута 6-балльная отметка, хотя во многих его районах верхний уровень соответствовал 5-балльным сотрясениям. Существенное приращение интенсивности сотрясений в некоторых зданиях возникло за счет высотности зданий и плохого состояния грунтов в виду их повышенной обводненности. В ряде мест отрицательную роль сыграло неудовлетворительное качество строительства, поэтому для г. Северобайкальска признано целесообразным оценить интенсивность сотрясений от 5 до 6 баллов.

В *районном центре Нижнеангарск*, где отсутствует многоэтажная застройка, а жилой и хозяйственный массив строений в основном представлен деревянными и, реже, шлакозаливными одноэтажными домами, эффекты интенсивности сотрясений, превышающие 5 баллов, не выявлены, хотя этот пункт расположен на чуть меньшем удалении от эпицентра, чем г. Северобайкальск. Как крайний случай проявления тяжести повреждений следует отметить

образование здесь трещин в кирпичной печи двухэтажного дома из бруса, что можно расценить, как проявление эффекта сотрясений в 6 баллов. Однако подобные единичные случаи рассматривались, как исключения, и при определении интегральной балльности для пунктов не учитывались.

5-балльные проявления землетрясения отмечены также в ряде населенных пунктов, перечисленных в табл. 3. Многие жители при этом, услышав гул или почувствовав колебания, проснулись, некоторые испугались и на короткое время покинули дома. В помещениях колебались висячие предметы, звенела посуда, стекла окон. Открывались дверцы мебели, падали легкие предметы. Отмечены случаи осыпания известки, разрыва обоев, вскрытия старых трещин.

Ввиду невозможности полномасштабного макросейсмического обследования последствий данного сейсмического события, необходимого при составлении карты изосейст традиционным способом, был применен экспресс-метод построения таких карт. Он опирается на разработанный программный пакет "Изосейста" для оперативного построения подобных карт при недостатке или полном отсутствии сведений о макросейсмических параметрах землетрясения [16]. Программа учитывает накопленный опыт по изучению параметров спадания интенсивности сейсмических колебаний в разных районах и по различным направлениям, смоделированным для отдельных районов территории Восточной Сибири. На рис. 4 приведена построенная таким способом карта изосейст, учитывающая осредненные значения собранных макросейсмических сведений о Северобайкальском землетрясении и опирающаяся на соответствующие подобранные подобные коэффициенты уравнений. Оценка балльности в эпицентре производилась согласно принятым уравнениям для условий Восточной Сибири [17].

Для данного землетрясения, как и для многих других байкальских землетрясений, отмечается аномально слабое затухание интенсивности сотрясений в направлении на Сибирскую платформу к северу, западу и юго-западу от эпицентра. Поэтому не удивительно, что заметные эффекты сотрясений фиксировались в г. Усть-Кут (пункт 16 на рис. 4) на расстоянии 240 км. Распространение сейсмических колебаний в юго-восточном и восточном направлениях, напротив, отличается более высокой степенью затухания сотрясений, поскольку в п.п. Новый Уоян и Разлив (пункты 18,19 на рис. 4), отстоящих на расстоянии 155 и 250 км, если судить по имеющимся скудным данным, землетрясение практически не ощущалось.

Отмеченные особенности распространения сейсмических сотрясений обусловлены, вероятно, хорошей волновой проводимостью высококонсолированного раннедокембрийского фундамента Сибирской платформы. В локальных районах региона, как показывает опыт обследований, интенсивность транзитных сейсмических колебаний во многом зависит от местных структурно-геологических условий и, прежде всего, от глубины залегания, мощности и обводненности подземных горизонтов, наличия мерзлоты, зон разломов. При этом вариантность отмеченных условий в свою очередь определяет разброс макросейсмических проявлений землетрясения. Дополнительно к этому нельзя не учитывать также и субъективность мнений специалистов при проведении опросов населения и изучении макросейсмических последствий. Все это в комплексе создает ошибку порядка $\delta I = \pm(0.5-1.0)$ балл даже при традиционном построении карт изосейст на основе макросейсмического обследования. В случае землетрясения 13 апреля ошибка δI построения осредненных изосейст составляет ± 1 балл макросейсмической шкалы.

Несмотря на сравнительно небольшой ($K_p=12.5$) энергетический уровень Северобайкальского землетрясения, при его обследовании удалось собрать весьма полезную для северобайкальского района сейсмологическую и макросейсмическую информацию, которая может быть использована для уточнения сейсмической опасности и оценок сейсмического риска, связанных с возникновением очередных возможно более сильных землетрясений.

Л и т е р а т у р а

1. Леонтьева Л.Р., Гилева Н.А. (отв. сост.), Г.В. Тигунцева, Е.В. Хайдурова, Н.А. Андрусенко, Л.П. Виноградова, В.М. Тимофеева, Е.Д. Евсева, В.И. Дворникова, Г.Ф. Дрокова, Л.В. Анисимова, Л.Н. Масальская, Г.Ф. Дреннова, Г.В. Курилко, М.Б. Хороших. Прибайкалье и Забайкалье. См. раздел III в наст. сб. (на CD).
2. **Bulletin of the International Seismological Centre (for 1997). 1999-2000.** Berkshire, ISC.
3. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 1997 год. 1997-1998.** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. Обнинск: Изд-во ОмЭ ИФЗ РАН.

4. **Замараев С.М., Васильев Е.П., Мазукабзов А.М. и др. 1979.** Соотношение древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск: Наука (СО). 125 с.
5. **Чипизубов А.В. 1977.** Палеосейсмодислокации Северного Прибайкалья и их значение для оценки сейсмической опасности Кичерского отрезка трассы БАМ (Нижнеангарск-Ангоя) // Тезисы докл. на конференции "Молодая наука БАМу". Иркутск: Изд-во ИЗК СО АН СССР. С. 14-15.
6. **Мишарина Л.А., Солоненко А.В., Мельникова В.И., Солоненко Н.В. 1985.** Напряжения и разрывы в очагах землетрясений // Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмичность. Новосибирск: Наука (СО). С. 74-121.
7. **Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы. 1977.** / Отв. ред. В.П. Солоненко. Новосибирск: Наука (СО). 303 с.
8. **Карта неотектоники Прибайкалья и Забайкалья (М 1: 2 500 000). 1982.** / Гл. ред. Н.А. Логачев. Иркутск: Изд-во ИЗК СО АН СССР.
9. **Солоненко В.П. 1968.** Сильные землетрясения по сейсмостатистике // Сеймотектоника и сейсмичность рифтовой системы Прибайкалья. М.: Наука. С. 60-66.
10. **Голенецкий С.И., Хромовских В.С. (отв. сост.), Кисловская В.В., Кондорская Н.В., Солоненко В.П., Шебалин Н.В. 1977.** V. Прибайкалье [(2000 до н.э.-500 н.э.)-1974 гг.; $M \geq 5.0$; $I_0 \geq 6$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука. С. 315-338.
11. **Голенецкий С.И., Белоусов О.В., Дреннова Г.Ф., Аржанников С.Г., Баскаков В.С., Чипизубов А.В. 1996.** Землетрясение 26 (27) октября 1990 г. в районе Северного Байкала // Землетрясения в СССР в 1990 году. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. С. 67-71.
12. **Солоненко А.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И., Козьмин Б.М., Кучай О.А., Суханова С.С. 1993.** Напряжения и подвижки в очагах землетрясений Сибири и Монголии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып.1. С. 113-122.
13. **Мельникова В.И., Радзиминович Н.А.** Прибайкалье и Забайкалье. См. раздел IV в наст. сб. (на CD).
14. **Введенская А.В. 1969.** Исследования напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М.: Наука. 130 с.
15. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). 1965.** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: Изд-во МГК АН СССР. 11 с.
16. **Ружич В.В., Левина Е.А. 2003.** Программный пакет для оперативного построения карт изосейст прогнозируемых или только что произошедших землетрясений // Оценка и управление природными рисками. Материалы Всероссийской конференции "Риск-2003". Т.1. М.: Изд-во Российского университета дружбы народов. С. 243-245.
17. **Солоненко А.В., Кочетков В.М. 1977.** Энергетическая классификация землетрясений // Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы. Новосибирск: Наука (СО). С. 79-91.