

УСТЬ-СЕЛЕНГИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 10 октября 2001 года

с $MPSP=4.8$, $K_p=12.8$, $I_0=6$ (Прибайкалье)

Я.Б. Радзиминович¹, О.К. Масальский¹, В.В. Ружич², Г.И. Татков³, М.Г. Кустова¹

¹Байкальский филиал ГС СО РАН, г. Иркутск, ian@crust.irk.ru

²Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, ruzich@crust.irk.ru

³Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, tatkov@gin.bgc.buryatia.ru

На оз. Байкал, в районе дельты р. Селенги, 10 октября 2001 г. в 01^h49^m произошло землетрясение с $K_p=12.8$, $MPSP=4.8$, названное по своему местоположению Усть-Селенгинским. Хотя это землетрясение по энергетическому уровню является вполне обычным для Байкальской рифтовой зоны, оно стало наиболее заметным сейсмическим событием региона в 2001 г. и ощущалось на значительной территории Южного Прибайкалья.

Инструментальные данные. На кратчайших расстояниях от эпицентра расположены станции «Степной Дворец» ($\Delta=34$ км) и «Заречье» ($\Delta=36$ км) Бурятского филиала ГС СО РАН (г. Улан-Удэ) [1], однако ограниченные возможности аппаратуры не позволили получить на них записи ускорений. Ближайшей цифровой станцией, записавшей максимальные амплитуды ускорений, оказалась станция «Тырган» ($\Delta=44$ км) (рис. 1).

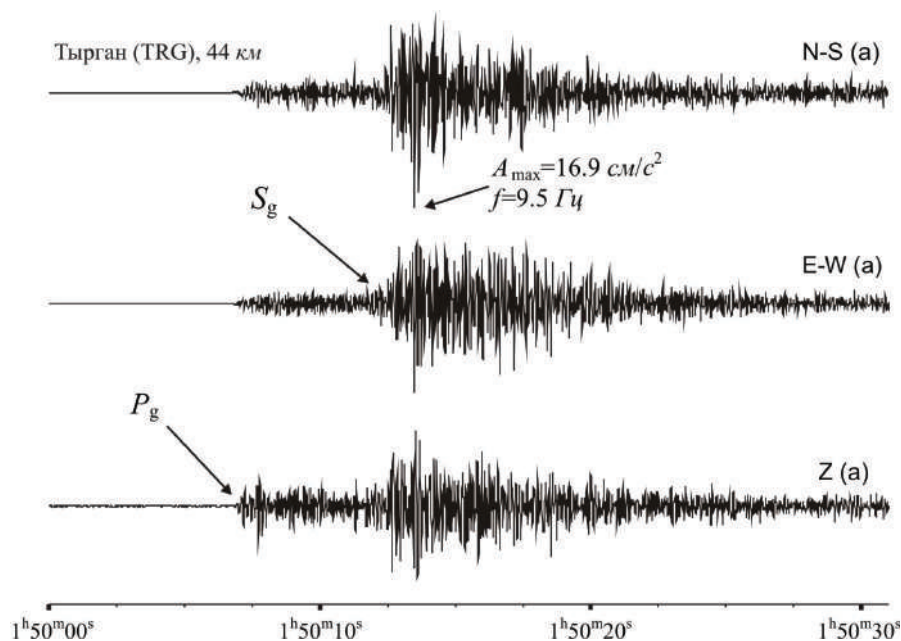


Рис. 1. Акселерограмма Усть-Селенгинского землетрясения, полученная цифровой сейсмической станцией «Тырган»

Локализация гипоцентра Усть-Селенгинского землетрясения, выполненная в Байкальском филиале ГС СО РАН, основана на данных 29 региональных станций, 8 из которых расположены на эпицентральных расстояниях менее 100 км [1]. Решения параметров другими сейсмологическими агентствами, приведенные для сравнения в табл. 1, в целом хорошо согласуются между собой, хотя определения международных агентств демонстрируют заметное (8–10 км) смещение эпицентра к северо-востоку, по сравнению с данными региональной сети станций (рис. 2).

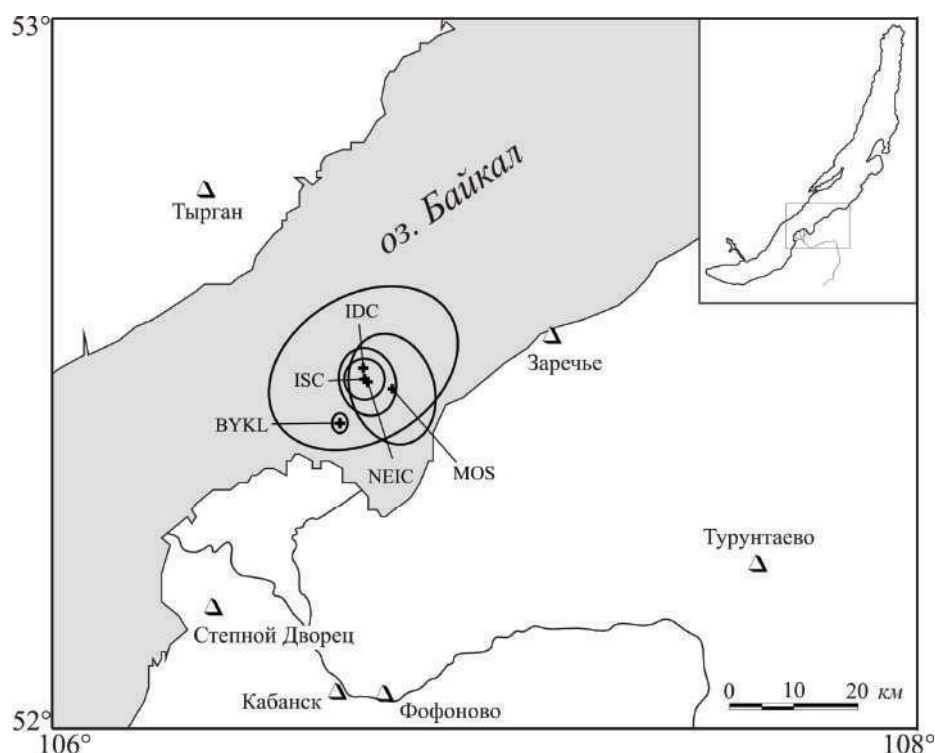


Рис. 2. Сопоставление регионального решения эпицентра Усть-Селенгинского землетрясения с решениями других агентств

Таблица 1. Параметры очага Усть-Селенгинского землетрясения по данным различных сейсмологических агентств

№	Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
				φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
1	BYKL	01 49 59.0	0.2	52.43	0.01	106.66	0.02	21	3	$K_p=12.8\pm 0.3/11$	[2]
2	MOS	01 49 57.2	0.89	52.48	0.08	106.78	0.04	10		$MPSP=4.8/14, MS=4.5/5$	[3]
3	NEIC	01 49 57.22	0.23	52.49	0.05	106.72	0.10	10		$M_s=5.2/1, m_b=4.8/28$	[4]
4	IDC	01 49 59.69	0.46	52.51	0.08	106.71	0.20	16	2.5	$M_s=3.9/1, m_b=4.3/19$	[4]
5	ISC	01 49 58.73	0.82	52.49	0.05	106.72	0.05	19	6.4	$M_s=4.3/3, m_b=4.6/49$	[4]

Примечание. BYKL – Байкальский филиал ГС СО РАН (г. Иркутск); MOS – ГС РАН (г. Обнинск); NEIC – Национальный сейсмологический информационный центр США; IDC – Международный центр данных, США; ISC – Международный сейсмологический центр, Великобритания.

Глубина очага по региональным данным составила $h=21$ км [2], что хорошо согласуется с данными ISC ($h=20$ км) по глубинной фазе pP [4]. Наименьшие глубины очага $h=10$ км приводят агентства MOS и NEIC, которые являются, скорее всего, фиксированными, а не определенными. Магнитуда землетрясения по поверхностным волнам имеет значительный разброс (от 3.9 до 5.2). Можно добавить для сопоставления региональную магнитуду M , пересчитанную по [5] из K_p , равную

$$M=(K_p-4)/1.8=4.9.$$

Отвергая минимальную оценку магнитуды $M=3.9$ агентства IDC, как явно заниженную, определим при разных значениях исходных параметров расчетную интенсивность I_0 сотрясений в эпицентре по региональному уравнению макросейсмического поля [6]:

$$I=1.5M-4.0\lg\sqrt{\Delta^2+h^2}+4.0.$$

Все возможные варианты величины I_0 приведены в табл. 2.

Таблица 2. Расчетные значения I_0 при разных значениях M и h

h , км	M_{ISC}	M_{MOS}	$M_{P_{пер.}}$	M_{NEIC}	\bar{M}
		4.3	4.5	(4.9)	5.2
10	6.4	6.7	7.3	7.8	7.1
16	5.6	5.9	6.5	7.0	6.3
20	5.2	5.5	6.1	6.6	5.9
21	5.2	5.5	6.1	6.6	5.9

Как видим, при минимальной из всех приведенных в таблице вариантах магнитуде $M_{ISC}=4.3$ и максимальной глубине $h=21$ км имеем $I_0=5.2$ баллов, и, наоборот, при максимальной магнитуде $M_{NEIC}=5.2$ и минимальной глубине $h=10$ км получаем $I_0=7.8$ баллов. Для выбора предпочтительного значения I_0 необходимо оценить при известной глубине очага макросейсмическую магнитуду M землетрясения по результатам приведенного ниже обследования в населенных пунктах с максимальной балльностью 5 баллов: Дубинино (16 км), Оймур (17 км), Кудара (23 км), Энхэлук (23 км), Сухая (33 км), Ранжурово (33 км), Заречье (36 км), Бугульдейка (42 км). Из уравнения макросейсмического поля имеем:

$$M = (I - 4.0 + 4.0 \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2}) / 1.5.$$

Если принять в качестве наиболее точной оценку глубины очага по фазе pP ($h=20$ км), то соответствующие расчеты по перечисленным пунктам дают в среднем значение макросейсмической магнитуды $M_{макр}=4.75$, что почти точно совпадает с $M_{ср}=4.72$ в табл. 2. В итоге наиболее достоверное расчетное значение I_0 оказалось равным 5.9 баллов или с округлением имеем $I_0^P=6$ баллов.

Для Усть-Селенгинского землетрясения получено решение механизма очага [7], приведенное в табл. 3, рис. 3.

Таблица 3. Параметры механизма очага Усть-Селенгинского землетрясения из [7]

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					T		N		P		NP1			NP2		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
1	10.10	01 49 59.0	21	12.8	5	320	5	50	83	185	45	40	-98	235	50	-84

Согласно этому решению, землетрясение произошло под действием напряжений растяжения, ориентированных в северо-западном направлении. Обе нодальные плоскости имеют достаточно крутое падение ($DP1=40^\circ$ и $DP2=50^\circ$) и простираются в направлении северо-восточного-запад. Тип движения по обеим плоскостям – сброс с компонентами сдвига (по $NP1$ – правостороннего, по $NP2$ – левостороннего).

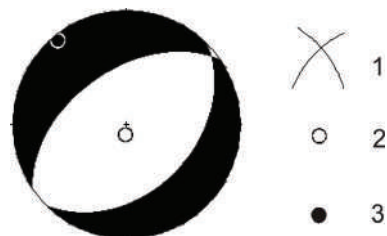


Рис. 3. Стереодиаграмма механизма очага Усть-Селенгинского землетрясения 10 октября с $K_p=12.8$ в проекции нижней полусферы

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Рассматриваемое землетрясение сопровождалось небольшой афтершоковой серией. В период с 10 октября до конца года было зарегистрировано два десятка толчков с энергетическим классом $K_p=5.5-7.5$. Параметры афтершоков приведены в табл. 4, схема расположения их эпицентров – на рис. 4. Область афтершоков слегка вытянута в близширотном направлении (азимут осевой линии равен $AZM=77^\circ$). Ее размеры составляют: $a=23.5$ км, $b=9.5$ км, $S=180$ км².

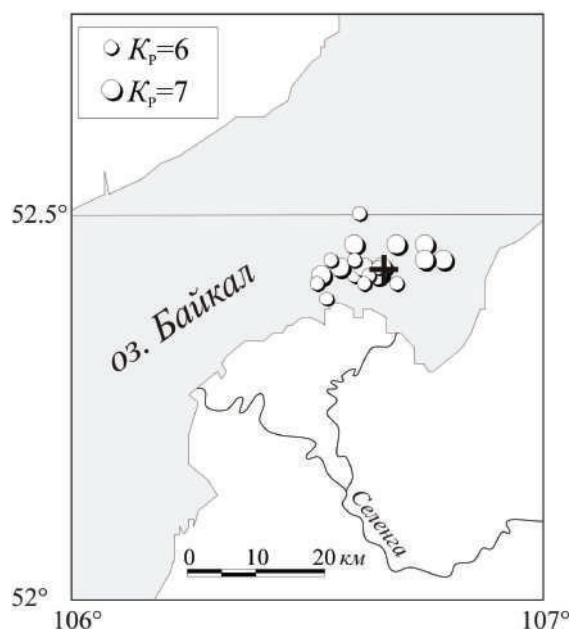


Рис. 4. Карта эпицентров афтершоков Усть-Селенгинского землетрясения

Таблица 4. Основные параметры афтершоков Усть-Селенгинского землетрясения 10 октября в 01^h49^m с $K_p=12.8$

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_p	№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_p
			φ° , N	λ° , E						φ° , N	λ° , E		
Основной толчок							10	15 10	23 42 51.6	52.44	106.60		5.8
	10.10	01 49 59.0	52.43	106.66	21	12.8	11	23 10	19 31 12.6	52.50	106.61		5.6
Афтершоки							12	23 10	23 06 11.3	52.39	106.54		6.3
1	10 10	02 06 21.9	52.42	106.60		6.0	13	24 10	01 34 41.7	52.44	106.79		6.9
2	10 10	02 08 36.1	52.43	106.57		6.8	14	26 10	23 32 02.8	52.42	106.63		5.6
3	10 10	02 19 07.2	52.46	106.60		7.1	15	29 10	05 14 23.1	52.44	106.55		5.7
4	10 10	02 27 47.1	52.43	106.66		7.0	16	24 11	20 40 21.0	52.46	106.69		6.8
5	10 10	02 37 05.6	52.42	106.66		6.5	17	30 11	15 32 44.7	52.41	106.69		5.9
6	10 10	02 40 19.5	52.43	106.62		6.6	18	11 12	03 06 46.1	52.46	106.75		7.0
7	10 10	02 43 01.8	52.42	106.53		7.1	19	14 12	16 41 43.2	52.41	106.62		6.3
8	10 10	08 05 29.1	52.42	106.65		7.0	20	18 12	08 26 26.6	52.41	106.52		5.5
9	10 10	15 09 41.2	52.43	106.65		6.5	21	25 12	07 43 26.4	52.44	106.75		7.5

Макросейсмические данные о проявлениях Усть-Селенгинского землетрясения получены в результате непосредственного обследования населенных пунктов в ближней и дальней зонах, а также посредством рассылки опросных листов. В ближней к эпицентру зоне в дельте р. Селенги изучение последствий землетрясения проведено сотрудниками Геологического института БНЦ СО РАН и Бурятского филиала ГС СО РАН (г. Улан-Удэ) Г.И. Татьковым, В.В. Толочко и Ц.А. Тубановым. В дальней зоне сбор данных производился сотрудниками ИЗК СО РАН по трем направлениям: в Приольхонье, Усть-Ордынском автономном округе и прилегающих районах сведения собраны Р.А. Курушиным, В.В. Чечельницким, А.В. Чипизубовым и С.Г. Аржанниковым; юго-западное побережье оз. Байкал (пос. Култук – г. Бабушкин) обследовано И.А. Емельяновой и А.С. Морозовой; населенные пункты по северо-западному направлению (г. Иркутск – г. Усолье-Сибирское) обследованы О.П. Смекалиным и И.А. Емельяновой. Кроме этого, получено 58 ответов на разосланные опросные листы. В результате получены сведения из 108 населенных пунктов (табл. 5). С наибольшей интенсивностью – около 5 баллов по шкале MSK-64 [8] – землетрясение проявилось в районе дельты р. Селенги на эпицентральных расстояниях $\Delta \sim 15\text{--}35$ км.

Район эпицентра. В момент землетрясения, как следует из устного сообщения старшего научного сотрудника Института геофизики СО РАН (г. Новосибирск) П.Г. Дядькова, на удалении 3–5 км от эпицентра находился местный егерь. Проплывая на лодке по одной из протоков р. Селенги, егерь услышал сильный гул, увидел колебания зарослей травы («не как от ветра»), ощутил сильный испуг и от раскачивания лодки чуть не потерял равновесие. В воздух взлетело множество потревоженных птиц; со дна протоки выделилось большое число пузырей болотного газа. Знакомый егеря находился в зимовье на одном из островов и видел раскачивание флюгера, укрепленного на шесте на смотровой вышке высотой 7–8 м. Амплитуда раскачивания флюгера оценивается приблизительно в 0.5 м.

Оймур ($\Delta=17$ км). Землетрясение отчетливо ощущалось многими на открытом воздухе и всеми в помещениях. Женщина, шедшая по улице, ощутила сотрясения и заметила, как на столбах раскачиваются провода; находившийся на улице подросток также почувствовал сотрясения почвы. Водитель стоявшей во дворе автомашины ощутил ее раскачивание. В помещениях ощущался толчок и колебания, слышался сильный звон посуды и оконных стекол. В одном из домов заметили колебания телевизора; в другом доме с высокого шкафа упала коробка. В школе сидевшие в классе ученики видели раскачивание цветка на окне и ощутили дрожание парт.

Кудара ($\Delta=23$ км). Землетрясение «сильно почувствовали» в почтово-телеграфном отделении: слышался шум, ощущалась тряска, колебались лампочки и лампы дневного света под потолком. В деревянном доме «двигались стены, скрежетали стекла», в серванте сдвинулись рюмки ближе к краю полки. Слышалось дребезжание и звяканье посуды. В школе (трехэтажное кирпичное здание) землетрясение ощущалось многими; на первом этаже во время землетрясения расплескалась вода из стакана; в столовой задребезжала ложка в тарелке. На кухне в момент землетрясения отключилась плита, на верхней части стены (направление восток–запад) от внутреннего угла появилось несколько косых нитевидных трещин длиной 30–50 см. У соседней стены (направление север–юг) зазор между потолком и стеной (шириной 0.5–1.0 см), по словам работников столовой, был и до землетрясения.

Энхэлук ($\Delta=23$ км). Землетрясение замечено в помещениях и под открытым небом. На базе Иркутской геофизической партии слышали шум «как от тяжелой машины с неровно работающим мотором»; ощущались длительные колебания земли. Тяжелое металлическое кресло сдвинулось вместе с сидящим на нем человеком; отмечено перемещение на столе системного блока компьютера; слышалось дребезжание стекол. Работавший в гараже мужчина почувствовал землетрясение и выбежал на улицу; другой очевидец, также бывший в гараже, ощутил колебания и заметил покачивание электрической лампочки. Продавщица магазина, находившаяся на улице, услышала шум и увидела, как забор и баня затряслись; в помещении магазина в этот момент дребезжали бутылки, со шкафов упали неустойчиво лежавшие коробки с конфетами. В доме замечено колебание зеркала и висячих предметов. На открытом воздухе землетрясение ощущалось людьми в состоянии покоя: трое мужчин сидели на земле (курили) и ощутили колебания; землетрясение замечено рыбаками: одним в лодке на воде, другим – на берегу. Люди вне помещений, занятые работой или находившиеся в движении, землетрясение не заметили.

На открытом воздухе землетрясение ощущалось по-разному. Один из очевидцев не понял, что произошло, но испытал внезапное недомогание. Шедшая по улице женщина почувствовала, что земля под ногами «ходит»; в другом случае мужчина и женщина, находившиеся в движении, землетрясение не заметили. Сидевшему в стоящей машине водителю показалось, что ее кто-то раскачивает. Землетрясение ощущалось находившимся в лодке в море мужчиной в виде резкого удара снизу и дрожания.

Сухая ($\Delta=33$ км). Землетрясение ощущалось как в помещениях, так и под открытым небом. Слышался сильный гул, похожий на шум трактора или тяжелой машины. В школе ученики ощутили землетрясение, некоторые, находившиеся в северном крыле школы, испугались, заметили, что «двигались» парты и шкафы, некоторые выбежали на улицу; в южном крыле школы (кабинет физики) землетрясение почувствовали не все. Повара в столовой отметили шум, тряску, звон стекол в окне, дребезжание посуды, однако ничего не упало и не разбилось. Учащиеся были выведены из помещений. В магазине продавщица заметила раскачивание висячих предметов. На улице отмечено колебание изгороди.

Заречье ($\Delta=36$ км). Землетрясению предшествовал гул, напоминавший работу тяжелой техники. Землетрясение ощущалось практически всеми людьми, находившимися в помещениях, некоторые испугались. Отмечено общее сотрясение рубленых деревянных одноэтажных домов; в одном из домов на крыше «стучал» не прибитый шифер; в другом доме, по словам хозяйки, на печную задвижку из трубы осыпались мелкие кусочки глины, сама печь не пострадала; в штукатурке появилось несколько нитевидных трещин; слышалось дребезжание посуды; в серванте упали рюмки. Под открытым небом землетрясение замечено многими. Находившаяся на улице женщина услышала шум и заметила, как затряслась детская коляска; сидевший на бревне мужчина также ощутил сотрясения. Из 23 человек трое землетрясение не заметили. Интенсивность сотрясений составила 5 баллов.

Бугульдейка ($\Delta=42$ км). Землетрясение ощущалось в виде удара («как трактор наехал») и сотрясений. Слышался гул. В магазинах дребезжали бутылки, падали неустойчивые предметы (флаконы с шампунем). В одном из магазинов продавщица испугалась и хотела убежать, но боялась падения предметов с полок и страховала их. В школе (брусовое здание) ощущался толчок, в кабинете химии упали пробирки, колебались висячие предметы. Некоторые ученики покинули помещение. В частных деревянных домах наблюдались тряска и дребезжание посуды, в одном случае отмечено появление трещин в штукатурке. В момент землетрясения многие покинули помещения или испытали такое желание. По данным опроса местных жителей, вода в оз. Байкал стала мутной, «рыба не ловилась». В самом поселке у подножия горы в делювиальных отложениях были обнаружены небольшие свежие оползни, образование которых, возможно, связано с ощущавшимся землетрясением.

Иркутск ($\Delta=159$ км). Землетрясение ощущалось как резкий, сильный толчок практически на всей территории города; сильные сотрясения отмечены в зданиях различных типов, в том числе на первых этажах. Согласно результатам опроса населения, проведенного сотрудниками сейсмической станции «Иркутск» и БФ ГС СО РАН, основные макросейсмические данные сводятся к следующему.

На первых этажах кирпичных и крупнопанельных зданий, а также в одноэтажных деревянных домах наблюдалось колебание мебели, в том числе тяжелой; колебались и смещались предметы на столах; дребезжали оконные стекла и посуда; качались висячие предметы, с амплитудой 3–5 см раскачивалась настольная лампа, колебалась жидкость в сосудах. Отмечено падение предметов: в одном случае со стола упал телефон, в другом – посыпались с полок книги; в третьем – рассыпалась стопка книг. Наблюдалось перемещение тележки с инструментами. Самопроизвольно открывались дверцы шкафов; в районе Академгородка открылась тяжелая металлическая наружная дверь в подъезде дома. Имеются сообщения об осыпании штукатурки и побелки. Спящие просыпались, многие испытывали сильный испуг.

Практически все те же эффекты в более сильной степени наблюдались и на верхних этажах зданий. В крупнопанельных и кирпичных домах на 2–9-х этажах отмечены сильная тряска и движение тяжелой мебели (некоторые очевидцы опасались ее падения); сдвигались системные блоки компьютеров; заметнее раскачивались висячие предметы. Более острой была реакция людей, многие выходили из помещений или испытывали такое желание.

Приведенные сведения отражают проявления землетрясения по территории города в целом, однако необходимо особо отметить, что сочетание всех вышеперечисленных макросейсмических эффектов в одном месте не отмечалось ни разу. Средняя оценка интенсивности сотрясений по городу составляет 4–5 баллов, но на отдельных участках – не менее 5 баллов.

Макросейсмические данные об Усть-Селенгинском землетрясении по совокупности всей имеющейся информации приведены в табл. 5.

Таблица 5. Макросейсмические данные об Усть-Селенгинском землетрясении 10 октября в 01^h 49^m с $K_p=12.8$

№	Пункт	Δ , км	Звук	№	Пункт	Δ , км	Звук
	<u>5 баллов</u>			3	Кудара	23	Гул
1	Дубинино	16	гул	4	Энхэлук	23	Гул
2	Оймур	17	Гул	5	Сухая	33	гул

№	Пункт	Δ, км	Звук	№	Пункт	Δ, км	Звук
6	Ранжурово	33	гул	57	Нестерово	83	
7	Заречье	36	гул	58	Бабушкин	96	
8	Бугульдейка	42	гул	59	Харанцы	102	
9	Малое Голоустное	92		60	Баяндай	104	
	<u>4–5 баллов</u>			61	Куйтун	124	
10	Шерашево	20	гул	62	Заиграево	128	
11	Творогово	32	гул	63	Листвянка	138	
12	Степной Дворец	34	гул	64	Тэгда	155	
13	Шергино	36	гул	65	Большой Луг	180	
14	Таловка (Ольхон. р-н)	40	гул	66	Ангарск	188	Гул
15	Истомино	41	гул	67	Байкальск	200	Гул
16	Кабанск	42	гул	68	Тельма	201	
17	Никольск	42	гул	69	Усолжье-Сибирское	206	
18	Еланцы	45	гул	70	Култук	217	
19	Исток	47	гул	71	Слюдянка	219	
20	Иркутск	159		72	Кутулик	279	
21	Шелехов	175			<u>3 балла</u>		
22	Дачная (ж/д. ст.)	179		73	Култущная	69	
	<u>4 балла</u>			74	Боярский	78	
23	Колесово	37	гул	75	Улан-Удэ	93	
24	Фофоново	43	гул	76	Большое Голоустное	95	
25	Нюки	45	гул	77	Танхой	143	
26	Тресково	45	гул	78	Новоселенгинск	148	
27	Мостовка	45	гул	79	Выдрино	175	
28	Таловка	45	гул	80	Тихоновка	183	
	(Прибайкальск. р-н)			81	Верхоленск	197	
29	Береговая	46	гул	82	Бохан	210	
30	Брянск	47	гул	83	Торы	260	
31	Селенгинск	49	гул		<u>2–3 балла</u>		
32	Каменск	52		84	Сухой Ручей	81	
33	Куреть	53	гул	85	Гусиноозерск	128	
34	Ильинка	54	гул	86	Кяхта	231	
35	Большая Речка	56	гул	87	Чикой	241	
	(Кабанский р-н)			88	Черемхово	254	
36	Посольская (ж/д. ст.)	56		89	Хилок	286	
37	Посольское	56			<u>2 балла</u>		
38	Алагуй	59		90	Хогот	104	
39	Косая Степь	60		91	Закаменск	327	
40	Куртун	61			<u>Не ощущалось</u>		
41	Шаманка	105		92	Кика	92	
42	Хатар-Хадай	106		93	Онгурен	148	
43	Ользоны	113		94	Максимиha	165	
44	Горячий Ключ	120		95	Мухоршибирь	173	
45	Харанут	121		96	Качуг	178	
46	Добролет	125		97	Петровск-	196	
47	Бозой	134			Забайкальский		
48	Усть-Ордынский	135		98	Окино-Ключи	206	
49	Байтог	144		99	Хоринск	213	
50	Хомутово	153		100	Бада	250	
51	Грановщина	161		101	Суво	261	
52	Мегет	177	гул	102	Красный Чикой	271	
	<u>3–4 балла</u>			103	Шимбилик	290	
53	Черноруд	63		104	Аршан	294	
54	Байкальский Прибой	64		105	Баянгол	293	
55	Сахюрта (МРС)	67		106	Кырен	320	
56	Турунтаево	70	гул	107	Утата	322	
				108	Зима	349	

По данным табл. 5 построена карта изосейст и график зависимости интенсивности сотрясений от эпицентрального расстояния (рис. 5).

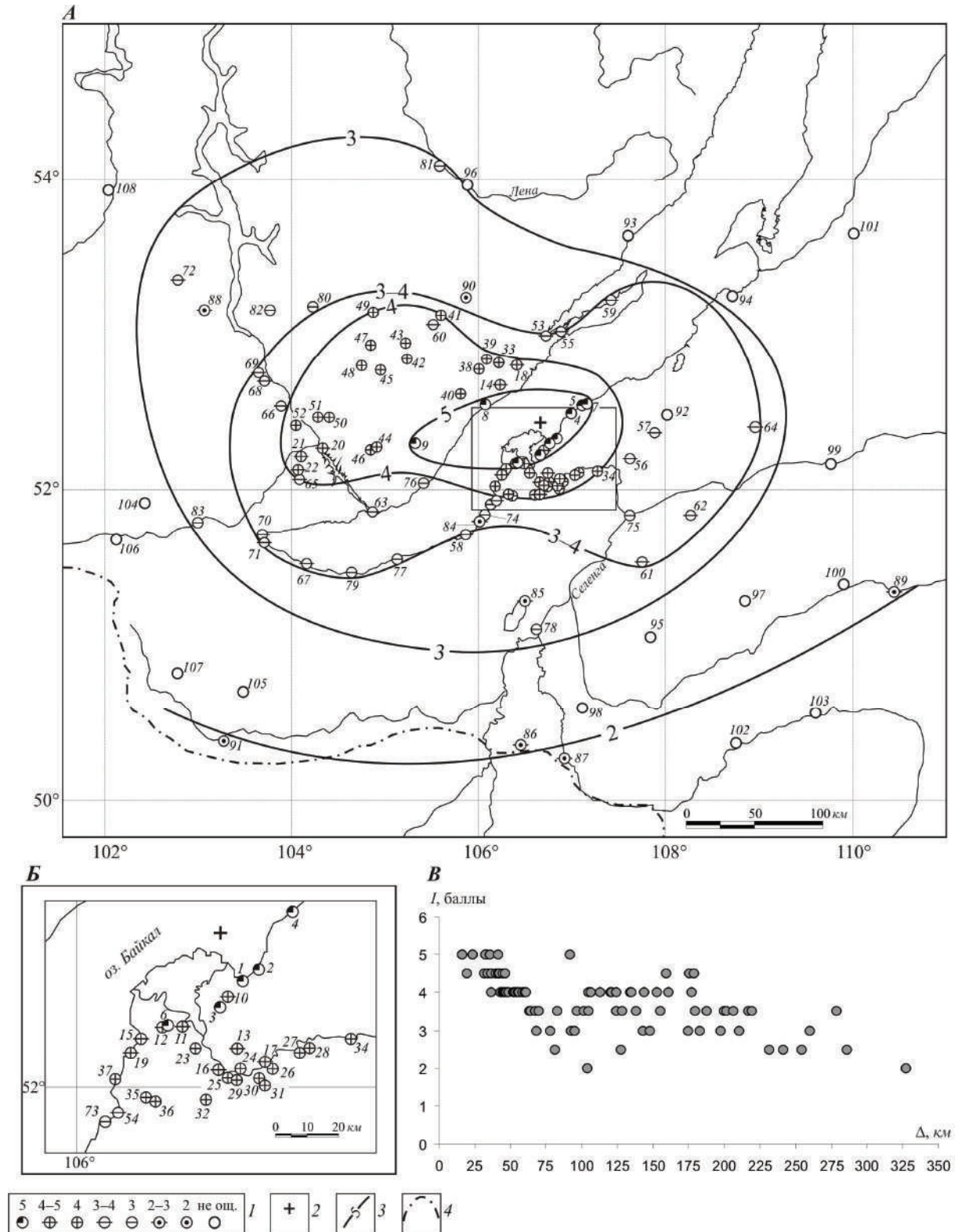


Рис. 5. Карта изосейст Усть-Селенгинского землетрясения

1 – балльность; 2 – эпицентр по инструментальным данным; 3 – изосейста; 4 – государственная граница. А – общая зона осязтимости и карта изосейст; Б – ближняя к эпицентру зона (выделена на схеме А прямоугольником); В – зависимость интенсивности сотрясений (I) от эпицентрального расстояния (Δ). Номера пунктов на схемах А и Б соответствуют табл. 5.

Карта изосейст содержит четыре замкнутые изосейсты с $I_i=5, 4, 3-4$ и 3 балла, изосейста с $I_i=2$ проведена лишь фрагментом на юге исследуемой территории. Все четыре изосейсты вытянуты в близширотном направлении. Большая ось всей системы изосейст имеет направленность с востока на запад. Геометрические характеристики поля изосейст приведены в табл. 6.

Таблица 6. Основные параметры макросейсмического поля Усть-Селенгинского землетрясения

I_i , баллы	Геометрические параметры поля изосейст, км				Площадь S_i зоны, км ²
	l_a	l_b	\bar{l}	l_a/l_b	
5	132	51	82	2.59	5080
4	247	96	154	2.57	17680
3-4	379	138	229	2.74	39420
3	504	300	389	1.68	65485

Примечание. Среднее \bar{l} является средним геометрическим.

Однако средние характеристики макросейсмического поля не могут отразить его особенностей, касающихся прежде всего ассиметрии макросейсмических проявлений. Действительно, распределение интенсивности сотрясений при Усть-Селенгинском землетрясении свидетельствует о слабом затухании сейсмических колебаний в западных и северо-западных румбах. В частности, четырехбалльные эффекты наблюдались по указанным направлениям на эпицентральных расстояниях до 150–160 км, тогда как к югу и юго-востоку сотрясения такой же интенсивности отмечены в пунктах на расстояниях лишь в 50–60 км. Сравнительно быстрое затухание колебаний отмечается в северо-восточном направлении – на расстояниях 150–160 км землетрясение уже не ощущалось. Подобная ассиметричность изосейст землетрясений Прибайкалья, с индивидуальными вариациями в зависимости от местоположения эпицентра, неоднократно наблюдалась и ранее, в частности при недавних землетрясениях: Северобайкальском (13.04.1997 г. с $MS=4.2, I_0=7$ [9]), Южно-Байкальском (25.02.1999 г. с $M_w=5.9, I_0=8$ [10]) и двух Кичерских (21.03.1999 г. в 16^h16^m и 16^h17^m с $MS=6.0$ и 5.7 соответственно, с суммарным $I_0=7-8$ [11]). Возможно, наблюдаемый эффект связан с меньшей раздробленностью субстрата Сибирской платформы, по сравнению с зоной собственно Байкальского рифта.

Особого внимания заслуживают аномально сильные эффекты в г. Иркутске и его окрестностях. Расчетное значение интенсивности сотрясений в Иркутске, согласно региональному варианту макросейсмического уравнения [6], при $M_{макр}=4.75$ составляет

$$I_i = 1.5 M - 4.0 \lg \sqrt{21^2 + 159^2} + 4.0 = 2.3 \text{ балла,}$$

в то время как наблюдавшиеся эффекты оцениваются в среднем в 4–5 баллов. Эта оценка основана на большом объеме макросейсмических материалов и представляется достаточно надежной. Кроме того, указанное значение интенсивности сотрясений подтверждается и инструментальными данными (рис. 6).

Уравнение, связывающее балльность и амплитуду ускорений, для территории Прибайкалья было опубликовано С.И. Шерманом с соавторами [12]:

$$A_{\max} = 0.0933 \cdot e^{0.96I_i},$$

где A_{\max} – максимальная амплитуда ускорений, $см/с^2$; I_i – интенсивность сотрясений в пункте наблюдений. В этой же работе приводятся соотношения балльности и максимальных амплитуд ускорений для шкал MSK-64 [8], MMSK-92 [13], а также полученные для территории Иркутска (табл. 7).

Максимальная амплитуда ускорений колебаний по записям сейсмической станции «Иркутск» на рыхлых грунтах составила $A_{\max}=12.2 \text{ см/с}^2$ (компонента N–S) (рис. 6). Согласно приведенным выше соотношениям, интенсивность сотрясений по инструментальным данным оценивается в 5.1 балла, что полностью соответствует эффектам, отмеченным в районе расположения сейсмической станции «Иркутск».

Очень похожая картина макросейсмических эффектов наблюдалась во время катастрофического Цаганского землетрясения 12.01.1862 г. [14, 15], проявившегося в г. Иркутске значительно сильнее, чем в промежуточных между городом и эпицентром пунктах на меньших эпицентральных расстояниях.

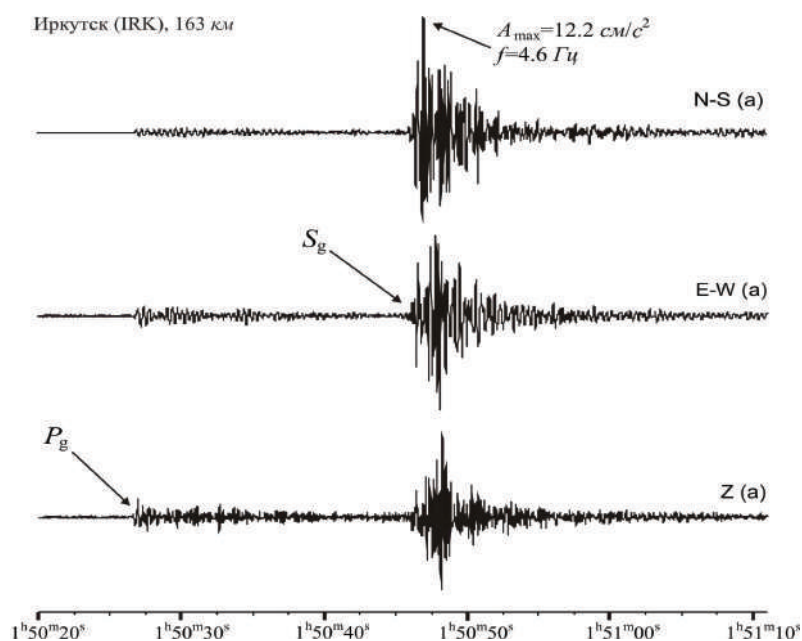


Рис. 6. Акселерограмма Усть-Селенгинского землетрясения, полученная цифровой сейсмической станцией «Иркутск»

Таблица 7. Соотношение балльности и амплитуды ускорений по [12]

I_s , балл (MSK-64)	$A, \text{см/с}^2$					
	MSK-64		MMSK-92		для Иркутска	
	I	II	I	II	I	II
1	–	<1.5	–	<0.7		<0.40
2	2.1	1.5–3.0	1.1	0.7–1.75	0.65	0.40–1.05
3	4.3	3–6	2.8	1.75–4.4	1.70	1.05–2.75
4	8.5	6–12	7	4.4–11.0	4.5	2.75–7.24
5	17.4	12–25	17.5	11–28	11.8	7.24–19.05
6	35	25–50	44	28–70	31	19.1–51
7	71	50–100	110	70–175	81	51–132
8	141	100–200	280	175–440	214	132–347
9	228	200–400	700	440–1100		

Повышенная интенсивность сотрясений, вплоть до повреждений зданий, отмечалась в г. Иркутске и при других сильных событиях рассматриваемого района, в частности во время сильных Байкальского 26.11.1903 г. ($M \sim 6.7$) [16] и Среднебайкальского 29.08.1959 г. ($M=6.8$) [17] землетрясений. Таким образом, видна определенная закономерность, заключающаяся в усилении сейсмических колебаний в районе г. Иркутска и отчасти в пунктах, лежащих вдоль долины р. Ангары при землетрясениях с очагами на Среднем Байкале и в дельте р. Селенги. Четкого, детального объяснения это явление пока не находит.

В сеймотектоническом аспекте очаг Усть-Селенгинского землетрясения приурочен к Селенгино-Чивыркуйскому грабену, являющемуся на современном этапе эволюции Среднебайкальской впадины ее главным структурным элементом [18]. Грабен характеризуется наличием густой сети активных разломов, а также высокой сейсмической активностью, подтверждающейся такими мощными землетрясениями, как Цаганское (12.01.1862 г., $M \sim 7.5$), Байкальское (26.11.1903 г., $M \sim 6.7$) и Среднебайкальское (29.08.1959 г., $M=6.8$) [19]. Наиболее опасным в сейсмическом отношении в районе дельты р. Селенги признается Дельтовый прогиб – линзовидный блок земной коры, вытянутый в северо-восточном направлении и заключенный между двумя ветвями системы разломов Черского. Одна из ветвей проходит по озерному фронту Селенгинской депрессии, другая (Дельтовый разлом) ограничивает прогиб от горного обрамления. Мощность рыхлых отложений в Дельтовом прогибе достигает 6000 м, из них около 800 м приходится на четвертичные отложения. Более детально тектоника рассматриваемого района описана в работе [20].

Длинная ось облака эпицентров зарегистрированных афтершоков и длинная ось изосейсты пятого балла хорошо согласуются друг с другом по положению в эпицентральной зоне и ориентированы с запада–юго-запада на восток–северо-восток. Отмечается удовлетворительная корреляция их с простираем обеих нодальных плоскостей, полученных при решении фокального механизма. Все эти макросейсмические и сейсмологические проявления очага землетрясения позволяют увязать его с весьма сейсмоактивным разломом, пересекающим дно озера в восточном–северо-восточном направлении и выделенным С.И. Шерманом [46]. Этот разлом в целом совпадает с одной из ветвей системы глубинных разломов Черского.

В предшествующие десятилетия с 1962 г. в районе эпицентра Усть-Селенгинского землетрясения регистрировались лишь слабые и умеренные события с $K_p \leq 13$ (табл. 8).

Таблица 8. Параметры землетрясений с $K_p \geq 12$ в районе дельты р. Селенги за период 1862–2001 гг.

Дата, д м год	t_0 , ч мин с $\pm \delta t_0, c$	Эпицентр		h , км $\pm \delta h$	M $\pm \delta M$	I_0 , баллы $\pm \delta I_0$	Примечания	Источ- ник
		φ°, N $\pm \delta \varphi^\circ$	λ°, E $\pm \delta \lambda^\circ$					
12.01.1862	07 19 ± 10 мин	52.3 ± 0.5	106.7 ± 0.5	20 0–40	7.5 ± 0.3	10 ± 0.5	Цаганское (Кударинское, Селенгинское), 10 –10(3); 9 –25(3); 8 –90(3); 7 –145(3); 6 –210(3); 5 –320(3); 4 –450(4); 3 –780(6)	[19]
12.01.1885	16 ± 1 ч	52.5 ± 0.5	106.5 ± 0.5	(25) 12–50	6.7 ± 0.5	(8–9) ± 1	6 –85(2); 5 –200(6); 4 –325(3)	[19]
18.05.1904	18 57 ± 1 мин	(52.5) ± 1.0	(106.5) ± 1.0	– 15–60	5.0 ± 0.3	(5–6) ± 1	4 –150(3); 3 –205(5)	[19]
27.06.1904	21 29 ± 1 мин	52.5 ± 1.0	106.5 ± 1.0	– 15–60	5.3 ± 0.2	(6) ± 1	5 –45(1); 4 –100(4); 3 –230(3)	[19]
09.05.1907	22 48 ± 1 мин	52.2 ± 0.5	106.5 ± 0.5	27 18–40	5.8 ± 0.2	7 ± 0.5	6 –45(5); 5 –120(16); 4 –220(14); 3 –340(4)	[19]
01.07.1941	06 25 49 ± 5 с	52.6 ± 0.5	106.8 ± 0.5	– 5–30	5.8 ± 0.5	0		[19]
25.11.1952	13 14 38 ± 5 с	52.7 ± 0.5	106.8 ± 0.5	– 5–30	5.0 ± 0.5	(6–7)		[19]
12.06.1954	22 26	52.2	106.4				$K_p=12$	[14]
29.08.1959	17 03 14 ± 2 с	52.68 ± 0.1	106.98 ± 0.1	20 ± 10	6.8 ± 0.2	9 ± 0.5	Среднебайкальское: 8 –20(1); 7 –45(1); 6 –100(17); 5 –260(58); 4 –500(14)	[19]
08.09.1959	11 18	52.71	107.10		4.5		$K_p=12$	[21]
24.09.1959	09 48	52.63	107.11		4.5		$K_p=12$	[21]
08.10.1959	14 14 10 ± 5 с	52.7 ± 0.2	107.1 ± 0.2	– 5–30	5.1 ± 0.5	(7) ± 1	4 –195(1)	[19]
22.09.1960	15 32 25	52.6 ± 0.7	107.0 ± 0.7	4.5			$K_p=12$	[22]
25 06 1961	19 36 23 ± 2 с	52.4 ± 0.2	106.7 ± 0.2	20 ± 10	5.2 ± 0.5			[19]
10 02 1963	06 48 29 ± 2 с	52.6 ± 0.2	106.9 ± 0.2	14 10–21	5.0 ± 0.5	7 ± 0.5	6 –25(7); 5 –50(20); 4 –100(7)	[19]
29.10.1963	03 45 37	52.56 ± 0.4	106.91 ± 0.4				$K_p=12$	[23]
17.10.1964	20 49 07	52.30 ± 0.07	106.50 ± 0.07		4.5		$K_p=12$	[24]
11.12.1964	07 30 41	52.40 ± 0.07	106.30 ± 0.07		4.5		$K_p=12$	[24]
28.01.1969	18 25 23	52.63 ± 0.15	107.22 ± 0.15				$K_p=12$, 4 –57(3), 3 –4–87(2), 3 –123(3)	[25]
24.03.1970	09 13 12	52.46 ± 0.15	106.67 ± 0.15				$K_p=12$ 3 –40(1), 2 –160(1)	[26]

Дата, д м год	t_0 , ч мин с $\pm\delta t_0$, с	Эпицентр		h , км $\pm\delta h$	M $\pm\delta M$	I_0 , баллы $\pm\delta I_0$	Примечания	Источ- ник
		φ° , N $\pm\delta\varphi^\circ$	λ° , E $\pm\delta\lambda^\circ$					
20.03.1972	06 51 01.3	52.45 ± 0.15	106.65 ± 0.15		4.0		$K_p=12$ 4–26(1), 3–74(3), ощ. –50(4)	[27]
17.01.1976	16 50 50.6	52.72 ± 0.07	106.92 ± 0.07	15		(6) ± 1	$K_p=12$ 4–39(1), 2–182(1)	[28]
19.05.1976	10 09 03.5	52.26 ± 0.07	106.41 ± 0.07	20	4.3	(5) ± 1	$K_p=12$ 4–29(1), 3–98(2), 2–174(1), ощ. –95(1)	[28]
07.09.1977	04 34 11.2	52.30 ± 0.07	106.48 ± 0.07	15			$K_p=12$ 4–41(2), 2–246(2)	[29]
30.11.1978	16 23 16.6	52.78 ± 0.07	107.12 ± 0.07	30			$K_p=12$	[30]
30.07.1980	06 42 43.0	52.61 ± 0.07	106.92 ± 0.07	15			$K_p=12$	[31]
27.07.1982	21 26 34.0 ± 0.2 с	52.43 ± 0.01	106.65 ± 0.02	20 ± 3	4.9 _{MPV}		$K_p=12.5$	[32]
08.08.1983	22 40 21.7 ± 0.2 с	52.38 ± 0.01	106.66 ± 0.02	20 ± 3		(5) ± 1	$K_p=11.7$ 4–28(7), 3–4–80(1), 3–98(3), 2–3–185(2).	[33, 34]
10.03.1985	03 37 54.8 ± 0.2 с	52.70 ± 0.07	106.98 ± 0.07	20 ± 3	4.8	(6) ± 1	$K_p=12.6$ 4–54(9), 3–132(10), 2–205(1)	[35, 36]
25.03.1985	10 57 28.1 ± 0.2 с	52.27 ± 0.07	106.43 ± 0.07	20 ± 3		(5) ± 1	$K_p=11.7$ 4–13(3), 3–85(6)	[35]
04.08.1987	01 34 45.8 ± 0.2 с	52.76 ± 0.07	106.72 ± 0.07	20 ± 19		(5) ± 1	$K_p=11.7$ 3–4–25(1), 3–105(2), 2–3–170(1)	[37]
09.01.1990	00 09 29.9 0.2 с	52.30 ± 0.02	106.44 ± 0.02	20 ± 3			$K_p=12.2$ 4–92(18), 3–154(5), 2–3–100(1), 2–335(2)	[38, 39]
13.07.1993	12 28 38.3 ± 0.2 с	52.25 ± 0.02	106.44 ± 0.02	23 ± 3	4.5	7 ± 0.5	$K_p=12.8$ 7–6(1), 6–7–10(1), 6–16(11), 5–30(8), 5–41(4), 4–5–65(3), 4–93(6), 3–4–147(8), 3–129(13), 2–3–154(6), 2–157(2)	[40, 41]
09.08.1995	02 09 33.9 ± 0.3 с	52.64 ± 0.02	106.90 ± 0.03	18 ± 4	4.2		$K_p=11.6$	[42]
30.09.1998	20 06 57.6 ± 0.3 с	52.76 ± 0.02	107.08 ± 0.03		3.8		$K_p=11.9$	[43]
10.10.2001	01 49 59.0 ± 0.2 с	52.43 ± 0.01	106.66 ± 0.02	21 ± 3	4.5	6 ± 0.5	$K_p=12.8$, Усть-Селенгинское 5–35(9), 4–5–69(13), 4–83(30), 3–4–144(20), 3–150(11), 2–3–203(6), 2–215(2)	[2]

Примечание. Сведения об ощутимости типа «4–12(5)» означают, что интенсивность сотрясений $I=4$ баллов отмечена на среднем для пяти пунктов эпицентрального на расстоянии 12 км.

Практически в этом же месте были отмечены ощутимые землетрясения 24.03.1970 г. [26], 20.03.1972 г. [27] и 27.07.1982 г. [44] с $K_p=12.0–12.5$. В непосредственной близости располагался также очаг землетрясения 25.06.1961 г. с $K_p=13.0$ [19]. Эпицентры остальных событий были рассеяны по акватории оз. Байкал и по дельте р. Селенги (рис. 7).

Сопоставимое с Усть-Селенгинским по энергии землетрясение в последний раз было зарегистрировано в этом районе (к юго-западу от эпицентра события 10.10.2001 г.) 13.07.1993 г. ($K_p=12.8$) [41, 45]

В заключение отметим, что Усть-Селенгинское землетрясение, вкупе с другими сильными событиями с очагами в этом же районе, демонстрирует возможный сценарий сейсмического воздействия на населенные пункты Южной Сибири в случае возникновения в районе дельты р. Селенги сильного землетрясения с $M=7.0–7.5$. Наиболее уязвимыми в такой ситуации, кроме эпицентральной зоны, могут оказаться густонаселенные промышленные районы Южной Сибири, расположенные вдоль долины р. Ангары.

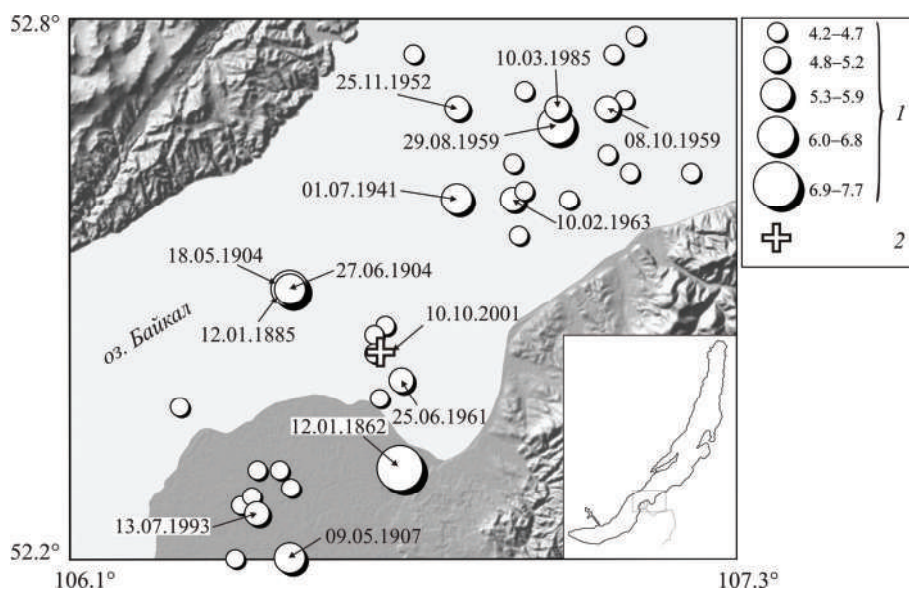


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений за 1862–2001 гг. в окрестности очаговой зоны Усть-Селенгинского землетрясения 2001 г.

1 – магнитуда M землетрясения; 2 – инструментальный эпицентр.

Л и т е р а т у р а

1. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Масальский О.К. Прибайкалье и Забайкалье. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.)
2. Леонтьева Л.Р., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Тигунцева Г.В., Хайдурова Е.В., Андрусенко Н.А., Виноградова Л.П., Тимофеева В.М., Евсеева Е.Д., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Масальская Л.Н., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Плюхина А.Н., Емельянова Л.В., Федюшкина Я.И. Прибайкалье и Забайкалье. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
3. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2001 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2001–2002.
4. Bulletin of the International Seismological Centre for 2001. – Berkshire: ISC, 2002–2003.
5. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
6. 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.
7. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. (отв. сост.), Татомир Н.В., Добрынина А.А. Прибайкалье и Забайкалье. (См. раздел VII (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
8. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
9. Ружич В.В., Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Смекалин О.П. Северобайкальское землетрясение 13 апреля 1997 года с $MS=4.2$, $I_0=7$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 226–232.
10. Радзиминович Н.А., Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Масальский О.К., Радзиминович Я.Б., Ружич В.В., Бержинская Л.П., Ордынская А.П., Емельянова И.А., Смекалин О.П. Южно-Байкальское землетрясение 25 февраля 1999 года с $K_p=14.6$, $I_0=8$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 264–279.
11. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Н.А., Ружич В.В., Масальский О.К., Радзиминович Я.Б., Бержинский Ю.А., Бержинская Л.П., Павленов В.А., Емельянова И.А. Кичерские землетрясения 21 марта 1999 года с $K_p=14.5$ и 14.2 , $I_0=7-8$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 280–295.

12. Шерман С.И., Бержинский Ю.А., Павленов В.А., Аптикаев Ф.Ф. Региональные шкалы сейсмической интенсивности. Опыт создания шкалы для Прибайкалья. – Новосибирск: СО РАН, филиал «Гео», 2003. – 189 с.
13. Шебалин Н.В., Аптикаев Ф.Ф. Развитие шкал типа MSK // Вычислительная сейсмология. Вып. 34. – М.: Геос, 2003. – С. 210–253.
14. Голенецкий С.И. Землетрясения в Иркутске. – Иркутск: Имя, 1997. – 96 с.
15. Голенецкий С.И. Макросейсмические проявления катастрофического Цаганского землетрясения 1862 г. на Байкале // Физика Земли. – 1996. – № 11. – С. 3–13.
16. Вознесенский А.В. Байкальское землетрясение 13 (26) ноября 1903 г. // Известия Постоянной Центральной сейсмической комиссии. – 2. – Вып. I. – СПб.: Типография Императорской АН, 1905. – С. 1–51.
17. Солоненко В.П., Тресков А.А. Среднебайкальское землетрясение 29 августа 1959 года. – Иркутск: Иркутское кн. изд-во, 1960. – 36 с.
18. Леви К.Г., Бабушкин С.М., Бадардинов А.А., Буддо В.Ю., Ларкин Г.В., Мирошниченко А.И., Саньков В.А., Ружич В.В., Вонг Х.К., Дельво Д., Колман С. Активная тектоника Байкальской впадины // Геология и геофизика. – 1995. – 36. – № 10. – С. 154–163.
19. Голенецкий С.И., Хромовских В.С. (отв. сост.), Кисловская В.В., Кондорская Н.В., Солоненко В.П., Шебалин Н.В. 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, 1977. – С. 315–338.
20. Сейсмогеология и детальное сейсмическое районирование Прибайкалья / Под ред. В.П. Солоненко. – Новосибирск: Наука, 1981. – 168 с.
21. Введенская Н.А., Джанузаков К.Д., Иодко В.К., Кондорская Н.В., Ландырева Н.С., Мишарина Л.А., Султанова З.З., Цхакая А.Д., Юркевич О.И. Бюллетень сильных землетрясений СССР за 1959 г. // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 7. (Тр. ИФЗ АН СССР; № 22(189)). – М.: АН СССР, 1962. – С. 3–24.
22. Введенская Н.А., Иодко В.К., Кондорская Н.В., Ландырева Н.С., Мишарина Л.А., Семенов П.Г., Табулевич В.Н. Бюллетень сильных землетрясений в СССР за 1960 г. // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 8. (Тр. ИФЗ АН СССР; № 28(195)). – М.: АН СССР, 1963. – С. 61–76.
23. Каталог землетрясений Монголо-Сибирского региона. Ч. I. (1963–1966 гг.) / Под ред. В.М. Кочеткова. – Новосибирск: ИЗК СО РАН, 1992. – 173 с.
24. Мишарина Л.А., Пшенников К.В., Букина К.И., Востокова А.Я., Кольцова М.С., Новомейская Ф.В., Перевалова Г.И., Попова З.Л., Фомина Е.В. Землетрясения Байкала // Землетрясения в СССР в 1964 году. – М.: Наука, 1967. – С. 103–127.
25. Голенецкий С.И., Букина К.И., Анисимова Л.В., Мьельникова Г.Л., Новомейская Ф.В., Перевалова Г.И., Солоненко Н.В., Третьяк Э.А., Фомина Е.В. Землетрясения Прибайкалья // Землетрясения в СССР в 1969 году. – М.: Наука, 1973. – С. 106–121.
26. Голенецкий С.И., Букина К.И., Новомейская Ф.В., Фомина Е.В., Перевалова Г.И., Анисимова Л.В., Мьельникова Г.Л., Третьяк Э.А., Хромовских В.С., Курушин Р.А., Демьянович М.Г., Николаев В.В. Землетрясения Прибайкалья // Землетрясения в СССР в 1970 году. – М.: Наука, 1973. – С. 124–146.
27. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья // Землетрясения в СССР в 1972 году. – М.: Наука, 1976. – С. 105–118.
28. Голенецкий С.И., Букина К.И., Анисимова Л.В., Белова Л.И., Белова Н.И., Виноградова Л.П., Вторушина Г.Н., Дорогокупец Н.И., Дреннова Г.Ф., Масальская Л.Н., Ощепкова В.Ф., Перевалова Г.И. Региональный каталог землетрясений Прибайкалья // Землетрясения в СССР в 1976 году. – М.: Наука, 1980. – С. 191–198.
29. Голенецкий С.И., Букина К.И., Анисимова Л.В., Белова Л.И., Виноградова Л.П., Вторушина Г.Н., Дорогокупец Н.И., Дреннова Г.Ф., Масальская Л.Н., Михалева Л.А., Ощепкова В.Ф., Перевалова Г.И. Региональный каталог землетрясений Прибайкалья // Землетрясения в СССР в 1977 году. – М.: Наука, 1981. – С. 199–203.
30. Голенецкий С.И., Букина К.И., Анисимова Л.В., Белова Л.И., Вторушина Г.Н., Дорогокупец Н.И., Дреннова Г.Ф., Евсеева Е.Д., Масальская Л.Н., Михалева Л.А., Ощепкова В.Ф., Пере-

- валова Г.И., Фомина Е.В., Чупрова В.Г. Региональный каталог землетрясений Прибайкалья // Землетрясения в СССР в 1978 году. – М.: Наука, 1982. – С. 161–165.
31. Голенецкий С.И., Андрусенко Н.А., Анисимова Л.В., Белова Л.И., Букина К.И., Вторушина Г.Н., Дреннова Г.Ф., Евсеева Е.Д., Масальская Л.Н., Перевалова Г.И., Тигунцева Г.В., Фомина Е.В., Чупрова В.Г. Региональный каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1980 году. – М.: Наука, 1983. – С. 200–206.
 32. Голенецкий С.И., Голенецкая И.Г., Перевалова Г.И. Региональный каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1982 году. – М.: Наука, 1985. – С. 190–197.
 33. Голенецкий С.И., Голенецкая И.Г., Перевалова Г.И. Региональный каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья с $K_p > 8.5$ // Землетрясения в СССР в 1983 году. – М.: Наука, 1986. – С. 222–227.
 34. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья. – М.: Наука, 1986. – С. 69–75.
 35. Голенецкий С.И., Голенецкая И.Г., Перевалова Г.И. Региональный каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 270–274.
 36. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья. – М.: Наука, 1988. – С. 124–135.
 37. Голенецкий С.И., Голенецкая И.Г. Региональный каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1987 году. – М.: Наука, 1990. – С. 232–238.
 38. Голенецкий С.И., Голенецкая И.Г. Региональный каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1990 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1996. – С. 173–176.
 39. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья. – М.: ОИФЗ РАН, 1996. – С. 60–67.
 40. Голенецкий С.И., Голенецкая И.Г. Региональный каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. – М.: ГС РАН, 1999. – С. 185–190.
 41. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. – М.: ГС РАН, 1999. – С. 69–82.
 42. Голенецкий С.И., Леонтьева Л.Р. Прибайкалье и Забайкалье. Региональный каталог землетрясений // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ГС РАН, 2001. – С. 305–307.
 43. Леонтьева Л.Р., Гилёва Н.А., Тигунцева Г.В., Хайдурова Е.В., Андрусенко Н.А., Виноградова Л.П., Тимофеева В.М., Евсеева Е.Д., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Масальская Л.Н., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б. Региональный каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения Северной Евразии в 1998 году. – Обнинск: ГС РАН, 2004. – С. 371–411 (CD).
 44. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1982 году. – М.: Наука, 1985. – С. 52–66.
 45. Голенецкий С.И., Ружич В.В., Дреннова Г.Ф., Емельянова И.А. Ощутимые и сильные землетрясения района дельты реки Селенги и толчок 13 июля 1993 г. // Вулканология и сейсмология. – 1995. – № 4–5. – С. 215–223.
 46. Шерман С.И. Нестационарная тектонофизическая модель разломов и ее применение для анализа сейсмического процесса в деструктивных зонах литосферы // Физическая мезомеханика. – 2005. – 8. – № 1 – С. 71–79.