

ШИКОТАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 4(5) октября 1994 года

Л.С. Оскорбин, А.О. Бобков, А.И. Спирин, И.Е. Усышкин, А.А. Шишкин, А.А. Шолохова, Н.А. Давыдова, А.А. Поплавский, А.А. Садчикова

Шикотанское землетрясение произошло 5 октября 1994 г. в 00^h23^m местного времени (4 октября в 13^h23^m по Гринвичу) под дном Тихого океана восточнее о. Шикотан ($\varphi=43.54^\circ\text{N}$, $\lambda=147.26^\circ\text{E}$, $h=26$ км) с магнитудой $MLH=8.1$ (см. наст. сб.), $MS=8.4$ [2]. Оно сопровождалось макросейсмическим эффектом на сухопутной и водной поверхности (моретрясения), волнами цунами и интенсивной афтершоковой деятельностью до конца 1994 г. [1-6].

Шикотанское землетрясение ощущалось на территории всех Курильских островов, в том числе в г. Северо-Курильск на о. Парамушир (2-3 балла при $\Delta=1040$ км), Южного и Среднего Сахалина вплоть до г. Александровск-Сахалинский (около 2 баллов, $\Delta=900$ км), а также на территории о-вов Хоккайдо (до 7-8 баллов) и Хонсю (до 5-6 баллов) в Японии. Максимальный же макросейсмический эффект (9 баллов и более) отмечен на северо-востоке о. Шикотан, который расположен в непосредственной близости к очаговой зоне землетрясения.

Подземные толчки такой энергии в районе Южных Курил уже происходили ранее, в частности, 11.08.1969 г. в 21^h27^m ($\varphi=43.58^\circ\text{N}$, $\lambda=147.82^\circ\text{E}$, $h=40$ км, $MLH=8.2$, п. Малокурильское – 6-7 баллов при $\Delta=100$ км) [7]. Расстояние между эпицентрами землетрясений 11.08.1969 г. и 04.10.1994 г. составляет всего лишь 45 км. Местные жители отмечают, что землетрясений с таким макросейсмическим эффектом (9 баллов на о. Шикотан) на Южных Курилах не наблюдалось, по крайней мере, с 1946 г.

Макросейсмический эффект на суше. Макросейсмические наблюдения проведены на Курильских островах [4,5], Сахалине [6] и Японских островах [8]. Независимое детальное обследование зданий и сооружений различной конструкции выполнено в п.п. Малокурильское и Крабовозаводское [9].

Обработка собранных макросейсмических данных произведена на основе модифицированной сейсмической шкалы MMSK-84 [10], по которой в основу оценки сейсмической интенсивности сотрясений положена реакция зданий и сооружений, людей, предметов быта, элементов грунта и рельефа. При этом были использованы признаки повреждения зданий типа А1, А2, Б и В, как без антисейсмических мероприятий, так и с антисейсмическими мероприятиями для расчётной интенсивности 7, 8 и 9 баллов (типа С7, С8 и С9 соответственно).

Для представления интенсивности сотрясений на Японских островах в едином макросейсмическом балле было использовано следующее приближённое соответствие шкал интенсивности JMA [11] и MSK-64 [12]: I* (по JMA) – 1-2 балла, II* – 3-4 балла, III* – 5 баллов, IV* – 6-7 баллов, V* – 8 баллов, VI* – 9-10 баллов, VII* – 11-12 баллов [13, 14].

Перечень населённых пунктов Сахалина, Курильских и Японских островов с указанием интенсивности наблюждённых сотрясений в баллах по макросейсмической шкале (MMSK-84 или MSK-64) и расстояния Δ в км до инструментального эпицентра приведены в табл. 1. Территориальное распределение интенсивности показано на карте расчётных изосейст (рис. 1), где отдельно на двух врезках (б, в) даны изосейсты для о. Шикотан и Японских о-вов (номера пунктов на рис. 1 и в табл. 1 соответствуют друг другу).

Таблица 1. Макросейсмические данные о Шикотанском землетрясении 4 октября в 13^h23^m ($MLH=8.1$)

№	Пункт	Название острова	Δ , км	№	Пункт	Название острова	Δ , км
<u>9 баллов</u>				8	вершина горы Шикотан	о. Шикотан	48
1	мыс Краб	о. Шикотан	47	9	ю-з берег бухты Крабовая	" – "	51
2	Малокурильское	" – "	49	10	Крабовозаводское	" – "	51
3	Крабовозаводское, кв. Юбилейный	" – "	49	<u>8 баллов</u>			
4	Крабовозаводское, кв. Новый	" – "	51	11	п-ов Димитрова	" – "	44
5	мыс Хромова	" – "	52	12	берег бухты Димитрова	" – "	46
6	севернее горы Шикотан	" – "	54	13	мыс Церковный	" – "	49
7	Кусиро	о. Хоккайдо	241	14	берег бухты Хромова	" – "	53
<u>8-9 баллов</u>				15	с-в берег бухты Крабовая	" – "	53
				<u>7-8 баллов</u>			

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ В 1994 г.

№	Пункт	Название острова	Δ, км	№	Пункт	Название острова	Δ, км
16	МТФ Отградное	о. Шикотан	52	73	Мияко	о. Хонсю	616
17	МТФ Крабозаводское	" – "	53	74	Фукаура	" – "	698
18	о. Полонского	" – "	77	75	Акита	" – "	731
19	о. Зеленый	" – "	101	76	Исиномаки	" – "	757
20	о. Юрий	" – "	102	77	Синдзе	" – "	788
21	о. Анучина	" – "	103	78	Сендай	" – "	794
22	о. Танфильева	" – "	111	79	Саката	" – "	806
23	Рока	о. Итуруп	113	80	Ямагата	" – "	826
24	Березовка	" – "	114	81	Фукусима	" – "	860
25	Урвитово	о. Кунашир	121	82	Онахама	" – "	910
26	Отрада	" – "	123	83	Сиракава	" – "	930
27	Южно-Курильск	" – "	124	84	Мито	" – "	983
28	Горячий пляж	" – "	128	85	Какиока	" – "	1011
29	Лагунное	" – "	130	86	Тиба	" – "	1061
30	берег п. Лагунное	" – "	132	87	Токио	" – "	1072
31	Немуро	о. Хоккайдо	135	88	Иокогама	" – "	1106
32	Головнино	о. Кунашир	143	89	Татейма	" – "	1142
33	Дубовое	" – "	144	90	Адзиро	" – "	1176
34	Алехино	" – "	145		<u>4 балла</u>		
35	Горячие ключи	о. Итуруп	167	91	Пихтовый	о. Сахалин	460
36	Хироо	о. Хоккайдо	350	92	Озёрский	" – "	471
37	Уракава	" – "	396	93	Корсаков	" – "	492
	<u>7 баллов</u>			94	Шебунино	" – "	533
38	Иодный	о. Итуруп	126	95	Горнозаводск	" – "	543
39	Лесозаводский	" – "	130	96	Ясноморский	" – "	553
40	Менделеево	о. Кунашир	135		<u>3-4 балла</u>		
41	Серноводск	" – "	136	97	Береговой	" – "	457
42	Белкино	" – "	137	98	Охотское	" – "	489
43	Третьяково	" – "	140	99	Чапаево	" – "	495
44	Данилово	" – "	142	100	Лесное	" – "	497
	<u>6-7 баллов</u>			101	Скалистый	о. Симушир	511
45	Шуми-городок	о. Итуруп	157	102	Лиственничное	о. Сахалин	511
46	Горное	" – "	157	103	Таранай	" – "	512
47	Рыбоводный	" – "	193	104	Анива	" – "	513
48	берег оз. Лебединое	" – "	193	105	Южно-Сахалинск	" – "	519
49	Курильск	" – "	194	106	Зеленодольск	" – "	521
50	Сентябрьское	" – "	216	107	Луговое	" – "	525
	<u>6 баллов</u>			108	Дальнее	" – "	525
51	Буревестник	" – "	157	109	Невельск	" – "	549
52	Рыбаки	" – "	190	110	Правда	" – "	559
53	Абасири	о. Хоккайдо	245	111	Холмск	" – "	564
54	юг о. Урупа	" – "	298		<u>3 балла</u>		
55	Обихиро	о. Хоккайдо	334	112	Ому	о. Хоккайдо	385
56	Томакомаи	" – "	475	113	Асахикава	" – "	394
57	Муцу	о. Хонсю	556	114	Румои	" – "	454
58	Хатинохе	" – "	591	115	Хабаро	" – "	454
59	Аомори	" – "	614	116	Соловьёвка	о. Сахалин	501
60	Мориока	" – "	671	117	Дачное	" – "	503
61	Офунато	" – "	680	118	Мицулёвка	" – "	507
	<u>5-6 баллов</u>			119	Песчанское	" – "	511
62	Китовый	о. Итуруп	197	120	Христофоровка	" – "	512
63	Рейдово	" – "	202	121	Горный, Анивского р-на	" – "	512
	<u>4-5 баллов</u>			122	Хомутово	" – "	514
64	Момбецуидо	о. Хоккайдо	332	123	турбаза "Горный воздух"	" – "	517
65	Новиково	о. Сахалин	439	124	Воскресенское	" – "	517
66	Иваמידзава	о. Хоккайдо	450	125	Новотроицкое	" – "	518
67	Саппоро	о. Саппоро	488	126	Успенское	" – "	520
68	Отару	о. Хоккайдо	508	127	Владимировка,	" – "	
69	Муроран	" – "	529		р-н Южно-Сахалинска		522
70	Куттян	" – "	540	128	Троицкое	" – "	523
71	Хакодате	" – "	565	129	Огоньки	" – "	525
72	Эсаси	" – "	611	130	Новоалександровск	" – "	527
				131	Новая деревня	" – "	528

№	Пункт	Название острова	Δ, км	№	Пункт	Название острова	Δ, км
132	Высокое	" – "	532		<u>2 балла</u>		
133	Пожарское	" – "	538	192	Чистоводное	о. Сахалин	547
134	Санаторный	" – "	539	193	Айнское	" – "	682
135	Сокол	" – "	541	194	Краснополье	" – "	714
136	Долинск	" – "	545	195	Ольховка	" – "	729
137	Селезнёво	" – "	545	196	Тымовское	" – "	884
138	Чапланово	" – "	547	197	Александровск-Сахалинский	" – "	903
139	Лопатино, Невельского р-на	" – "	547		<u>1-2 балла</u>		
140	Синегорск	" – "	548	198	Китами	о. Хоккайдо	275
141	Пятиречье	" – "	550	199	Вакканай	" – "	489
142	Стародубское	" – "	553	200	Суцу	" – "	585
143	Углезаводск	" – "	554	201	Шахтёрск	о. Сахалин	742
144	Быков	" – "	557	202	Аикава	о. Садо	968
145	Зырянское	" – "	557	203	Такада	о. Хонсю	1046
146	Яблочный	" – "	572	204	Нагано	" – "	1075
147	Чехов	" – "	598	205	Сува	" – "	1145
148	Взморье	" – "	605	206	Канадзава	" – "	1187
149	Томари	" – "	620	207	Иида	" – "	1203
150	Восточный, Макаровского р-на	" – "	636	208	Иродзаки	" – "	1220
151	Поречье, Макаровского р-на	" – "	658	209	Хамамацу	" – "	1269
152	Макаров	" – "	662	210	Нагояю	" – "	1285
153	о. Матуа	" – "	684	211	Хиконе	" – "	1317
154	Поронайск	о. Сахалин	708	212	Тоека	" – "	1375
155	Углегорск	" – "	735	213	Тидзима	" – "	1888
156	Победино	" – "	778		<u>Ощущалось</u>		
157	Онор	" – "	817	214	Евстафьево	о. Сахалин	424
158	Аидзувакамацу	о. Хонсю	908	215	Пригородное	" – "	484
159	Ниигата	" – "	932	216	Рыбацкое	" – "	511
160	Никко	" – "	995	217	Золоторыбное	" – "	512
161	Уцуномия	" – "	998	218	Перепутье	" – "	520
162	Теси	" – "	1025	219	Ловецкое	" – "	549
163	Маэбаси	" – "	1046	220	Пензенское	" – "	627
164	Кумагая	" – "	1061	221	Медвежье	" – "	710
165	Кавагути	" – "	1065		<u>Не ощущалось</u>		
166	Титиба	" – "	1087	222	Сергеево	" – "	609
167	Каруидзава	" – "	1091	223	Ильинский	" – "	630
168	Кацуура	" – "	1095	224	Парусное	" – "	662
169	Вадзимаю	" – "	1110	225	Тельновский	" – "	760
170	Кору	" – "	1138	226	Лесогорск	" – "	765
171	Мисима	" – "	1167	227	Бошняково	" – "	782
172	о. Осима	" – "	1175	228	Роцино	" – "	792
173	Сидзуока	о. Хонсю	1209	229	Палево	" – "	858
174	о. Мияке	" – "	1230	230	Красная Тымь	" – "	876
175	о. Хатидзе	" – "	1315	231	Арково	" – "	905
	<u>2-3 балла</u>						
176	Весточка	о. Сахалин	504				
177	Ключи	" – "	533				
178	Бамбучек	" – "	543				
179	Покровка	" – "	551				
180	Пионеры	" – "	582				
181	Костромское	" – "	584				
182	Красноярское	" – "	595				
183	Новосибирское	" – "	602				
184	Красногорск	" – "	672				
185	Леонидово	" – "	721				
186	Матросово	" – "	739				
187	Буюклы	" – "	747				
188	Ельники	" – "	761				
189	Смирных	" – "	769				
190	Кировское	" – "	868				
191	Северо-Курильск	о. Парамушир	1038				

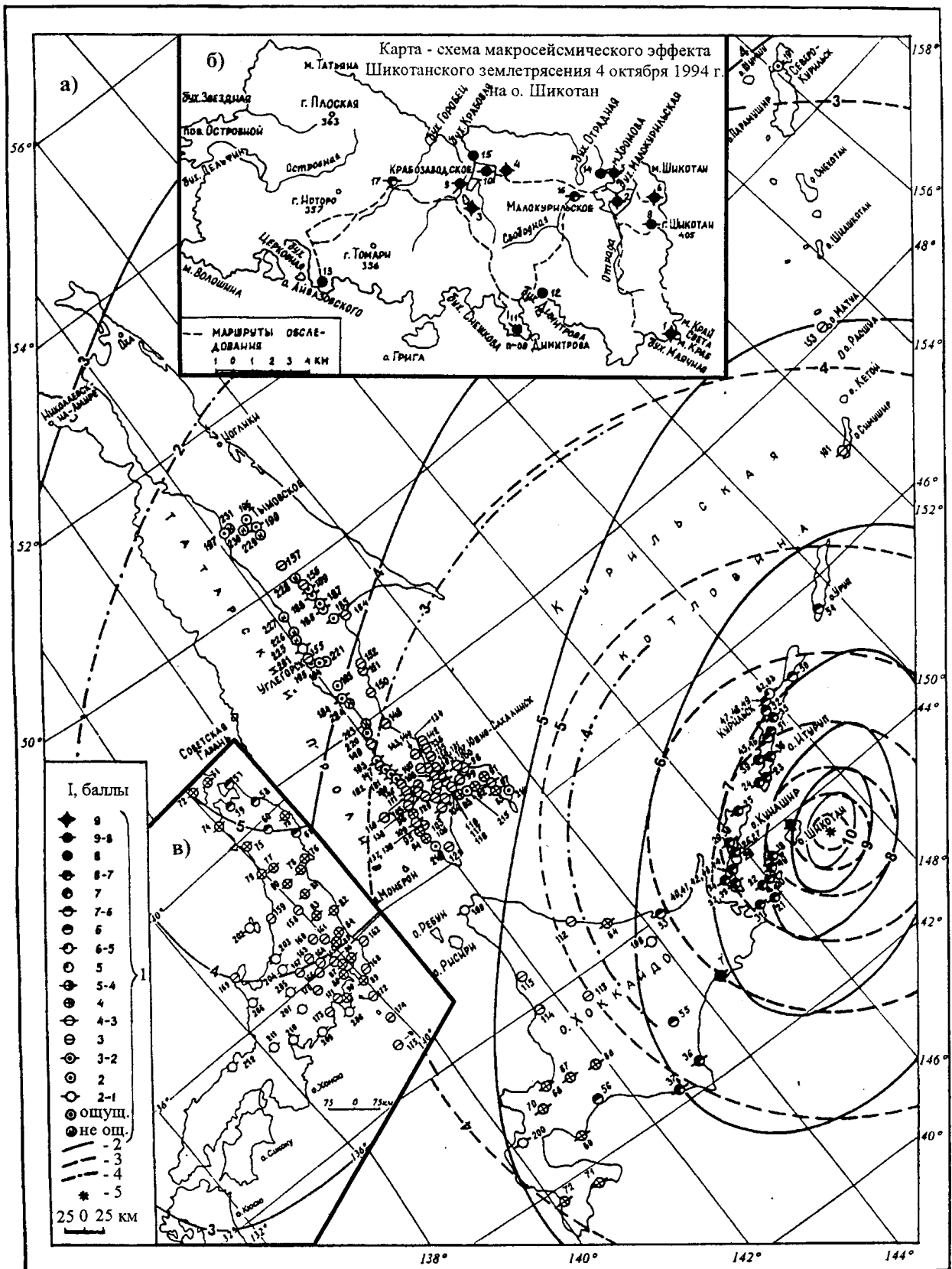


Рис. 1. Поверхностный эффект Шикотанского землетрясения 4 октября в $13^{\circ}23''$ (MLN=8.1) в акватории Курильских о-вов (а), на о. Шикотан (б), и на Японских о-вах (в)

1 – интенсивность сотрясений I в баллах по шкале MSK-64 [2]; 2 – расчётные эллипсоидные изосейсты по уравнениям (6); 3 – расчётные круговые изосейсты по уравнению (4); 4 – то же по уравнению (5); 5 – инструментальный эпицентр землетрясения.

Расчёт радиусов изосейст (рис. 1) произведен по уравнениям макросейсмического поля (1, 2), найденным по средним радиусам наблюдаемых изосейст для 5-ти курильских землетрясений в [15]:

$$I_0 = 1.5 MLN - 4.5 \lg h \text{ (км)} + 4.5 \quad (1)$$

$$I_i = 1.5 MLN - 4.5 \lg r_i \text{ (км)} + 4.5 \quad (2)$$

где h – глубина гипоцентра, r_i – гипоцентрального расстояние.

Для Шикотанского землетрясения 4 октября в уравнениях (1) и (2) были уточнены значения численных коэффициентов s (при lgr_i) и c (свободный член), а коэффициент при магнитуде MLN был принят равным b=1.5. На первом этапе обработка данных табл. 1 проводилась корреляционным методом. В результате получено, что коэффициент корреляции между I_i и r_i равен (-0.97). Затем численные значения параметров s и c для уравнений (1) и (2) трижды определялись способом наименьших квадратов по совокупности наблюдаемых данных: а) – по всем наблюдаемым данным из табл. 1, но без Японских о-вов; б) – отдельно для пунктов на Курильских о-вах; в) – отдельно для пунктов на Сахалине.

В результате были получены следующие уравнения:

$$I_i = 1.5MLN - (6.04 \pm 0.12) \lg r_i \text{ (км)} + (7.69 \pm 0.31), \sigma_I = \pm 0.5, \text{ (Сахалин + Курилы)} \quad (3)$$

$$I_i = 1.5MLN - (4.88 \pm 0.31) \lg r_i \text{ (км)} + (5.40 \pm 0.65), \sigma_I = \pm 0.6, \text{ (Курилы)} \quad (4)$$

$$I_i = 1.5MLN - (4.88 \pm 0.64) \lg r_i \text{ (км)} + (4.44 \pm 0.77), \sigma_I = \pm 0.4, \text{ (Сахалин)} \quad (5)$$

По уравнениям макросейсмического поля (1-5) были рассчитаны интенсивность I₀ в эпицентре и радиусы r(I_i) теоретических круговых изосейст. Расчётная интенсивность сотрясений в эпицентре I₀ по уравнениям (2-5) равна 10.3, 11.3, 10.6 и 9.7 баллов соответственно. Значения r(I_i) по этим уравнениям вместе со среднеарифметическими наблюдаемыми значениями расстояний до инструментального эпицентра (без пунктов на Японских островах), приведены в табл. 2 для каждого балла. На рис. 1 показаны расчётные изосейсты по уравнениям (4-5).

Таблица 2. Средние значения радиусов $\bar{r}(I_i)$ наблюдаемых и радиусы r(I_i) расчётных изосейст для интенсивности сотрясений от 2 до 10 баллов

I _i , баллы	$\bar{r}(I_i)$, км (наблюдённые)	r(I _i) – расчётные по (2-7)						
		(2)	(3)	(4)	(5)	(6, 1/2ℓ _a)	(6, 1/2ℓ _b)	(7)
10	-	15	34	24	-	53	30	12
9	50	43	57	50	25	88	51	41
8	50	80	87	87	51	146	85	79
7	135	137	131	143	88	243	142	140
6	215	231	194	231	146	406	237	242
5	-	387	285	372	236	677	395	415
4	509	647	418	597	379	1130	660	709
3	571	1080	613	958	609	1885	1100	1210
2	743	1800	898	1535	976	3140	1835	2070

Параметры теоретических изосейст эллипсоидной формы определены на основе данных о предполагаемых размерах очага землетрясения. За продольную ось ℓ_a эллипса первой изосейсты с интенсивностью I₀= 10.3 согласно (1) взято значение ℓ_a=90 км из табл. 3 в работе [16] для Курильских островов, за поперечную ось ℓ_b – двойная глубина гипоцентра землетрясения 2h=52 км. Ориентация продольной оси принята вдоль простирания Южных Курильских островов. Показанные в табл. 2 длины полуосей 1/2ℓ_a, 1/2ℓ_b последующих изосейст вычислялись по формулам:

$$1/2\ell_a(I_i) \approx \text{slg}[\ell_a(I_i-1)/\ell_a(I_i)], \quad 1/2\ell_b(I_i) \approx \text{slg}[\ell_b(I_i-1)/\ell_b(I_i)] \quad (6)$$

где $s=4.5$ согласно уравнению (2) и $I_i = 10.3; 10, 9, \dots, 2$ балла. Значения $r(I_i)$ по (6) помещены в табл. 2, а сами изосейсты изображены на рис. 1. В этой же таблице помещены также величины $r(I_i)$, вычисленные по уравнению (7) макросейсмического поля сахалинских землетрясений из [17]:

$$I_i = 1.6 MLH - 4.3 \lg r_i \text{ (км)} + 3.3 \quad (7)$$

при $MLH=8.1$ и $h=26$ км.

Анализ макросейсмического эффекта Шикотанского землетрясения в населённых пунктах Южных Курильских островов показывает, что наиболее пострадали здания и сооружения, построенные с применением штучных строительных материалов (шлакоблоков, пемзоблоков, силикатного кирпича), особенно с низким качеством цементного раствора, при этом усиление повреждающего эффекта связано с использованием в качестве перекрытий массивных железобетонных конструкций. Однако нужно отметить, что среди сооружений такого типа имеются здания, возведённые с применением антисейсмических мероприятий, которые почти не пострадали. Так, например, здание билетной кассы на берегу бухты Малокурильской, построенное в начале 1994 г. из шлакоблоков, видимых повреждений не получило. Наименьшая степень повреждений отмечена для деревянных зданий, особенно построенных с применением антисейсмических мероприятий.

Макросейсмические проявления максимальных сотрясений на островах сопровождались обширными, интенсивными и разнообразными вторичными эффектами в грунтах: оползнями по склонам, образованием трещин, оседанием грунта, обвалами, осыпями и т.п., которые могут происходить на фоне значительных региональных деформаций, вызванных землетрясением – поднятий или опусканий островов, как целых блоков. Все эти эффекты были выявлены при полевом обследовании последствий землетрясения на о. Шикотан. Они существенно затрудняют анализ макросейсмических данных и усложняют задачу оценки сейсмической опасности и риска для конкретных населённых пунктов.

Макросейсмический эффект на водной поверхности. Колебания морского дна (как верхней границы земной коры) вследствие прихода сейсмических волн из очага землетрясения вызывают волны давления, которые распространяются в водной толще, как в жидком слое, и достигают её поверхности. Волновая картина сейсмических волн на поверхности воды (моря, океана) оказывается более простой, чем на поверхности морского дна. Это связано с тем, что жидкий слой отсеивает поперечные волны и обменные волны различных типов (как поперечные на последнем участке пути) в водной толще. Это объясняется равенством нулю в воде модуля сдвига, определяющего распространение поперечных волн. Поверхность океана (как верхняя граница жидкого слоя) обладает хорошими отражающими свойствами для сейсмических волн. Это благоприятствует образованию кратных сейсмических волн, испытавших одно или несколько отражений в слое. При определённых условиях может происходить интерференция волны, падающей снизу на поверхность воды, с волной, отражённой от поверхности. При одинаковых эпицентральных расстояниях направление прихода сейсмических волн к поверхности воды всегда ближе к вертикальному, чем на суше. Поэтому на судах землетрясения ощущаются обычно в виде вертикальных толчков. Вместе с тем суда будут подвергнуты колебаниям от всех типов сейсмических волн, составляющую волновую картину в конкретном месте водной поверхности.

В соответствии с табл. 2 в работе [6] составлена табл. 3, в которой дано краткое описание макросейсмического эффекта Шикотанского землетрясения на судах и приведена оценка интенсивности моретрясения по "шкале моретрясений" согласно [18]. Географическое расположение судов показано на рис. 2. Номера судов в табл. 3 и на рис. 2 соответствуют друг другу. Эпицентральное расстояние Δ указано от инструментального эпицентра землетрясения.

Таблица 3. Макросейсмические данные о моретрясениях от Шикотанского землетрясения 4 октября 1994 г. (описание дано по [6])

№ на рис. 2	Название судна	Δ , км	Характеристика моретрясения
5-6 баллов			
1	Рыболовное судно "Пелагиаль"	19	Судно шло с тралом, при постановке последнего. Ощущались сильные толчки. Судно сильно трясло, как при попадании на камни. От тряски электрические лампочки побились, 2 зеркала и несколько

№ на рис. 2	Название судна	Δ, км	Характеристика моретрясения
			плафонов разлетелись, треснула масляная труба на главном двигателе.
2	Судно "Атласово"	27	Тряска была очень сильной, судно подбрасывало, как на камнях. Боялись, что корабль развалится. Вода бурлила рябью и пузырями. До этого был штиль, потом – снова штиль.
3	СТР "Валдайск"	28	Вдруг ощутили резкие вертикальные толчки. Судно испытывало удары о корпус, сильную тряску, как будто заехали на камни или сеть намотало на винт. С мостика стали падать приборы, отключилась электрическая муфта, погасло промышленное освещение, вышла из строя гидроакустическая система, гироскопас, погасли ходовые огни. Однако серьезных повреждений не было.
4	Корабль "Неман"	53	Судно находилось у причала в бухте Малокурульская. От землетрясения ощущались удары по днищу корабля: корабль подпрыгивал, вода "кипела", на поверхности её появилась рябь типа суоя.
5	Пограничный корабль 691	53	Корабль находился в бухте Малокурульской и, будучи привязан, подпрыгивал, стоять на ногах было трудно. Начали сниматься для выхода в море, но якорную цепь заклинило.
6	Транспортный катер 217 "танковоз"		Катер был пришвартован в бухте Крабовой. Танковоз трясло и било как молотком. При свете было хорошо видно, как вода бурлит между танковозом и плавбазой "Остров Шикотан" и на поверхности наблюдается нечто вроде гейзеров с радугой
7	Рефрижератор "Невельской"	54	Пока судно находилось в бухте Крабовой, его кидало и трясло примерно 40 с (очевидец смотрел по часам); было такое ощущение, что судно вот-вот развалится. На судне отключилось электропитание, лебедки и вентиляторы поломались. На поверхности воды были видны фонтанчики от вибрации.
8	РС "Баер"	54	Пока судно находилось в бухте Крабовой, его било днищем о дно (осадка судна 3 м).
9	СТР "Сабурск"	67	Была нарушена герметичность труб высокого давления. Весь подводный комплекс ПВУ был выведен из строя, что повлекло прогрессирующую водотёчность.
5 баллов			
10	ПАТМ "Капитан Масловец"	21	Примерно за 10 минут до начала землетрясения на море был полнейший штиль. Потом внезапно возникла сильная вибрация судна; самые сильные толчки наблюдались в течение первых 3-5 минут. От сотрясения остановились оба главных двигателя, так как сработала автоматика. Со своих мест сорвались судовые часы на ходовом мостике, плафоны фонарей освещения.
11	СТР "Сабурово"	29	До землетрясения на море был штиль, затем наблюдалась сильная вибрация корпуса судна. Ощущалась сильная тряска, как будто судно выскочило на мель. С верхней палубы было видно "кипение" воды. Повреждений судна не обнаружено.
12	СТР "Сердеж"	48	Ощущались сильные подводные толчки примерно полминуты. До и после толчков из глубины шел низкий гул. Главный и вспомогательный двигатели сдвинулись с фундаментов, что вызвало сильную вибрацию при их работе. Люстры сильно раскачивались. В провизионной кладовой обнаружен бой соков, компотов.
13	Плавбаза "Рижское взморье"	к востоку от о-ва Шикотан	На море был штиль, погода спокойная. Затем сначала началась вибрация, которая стала усиливаться так, что трубы стали "ходуном ходить", начала замыкать проводка. Было ощущение, что судно пошло по камням; трудно было устоять на ногах. Вода "кипела" фонтанчиками с каплями.
14	Плавбаза "Советское Заполярье"	к востоку от о-ва Шикотан	Лопнули аммиачные трубы около жилых отсеков.
4-5 баллов			
15	Судно "Анива"	20	Появилась сильная вибрация корпуса судна, которая осталась и после полной остановки судна. На поверхности воды во время землетрясения возникла небольшая зыбь с юго-востока, волнение не изменилось. Повреждений на судне не было, только упал телевизор.
16	СТР "Саломатинск"	82	Вдруг возник гул с нарастающей по силе вибрацией. На поверхности

№ на рис. 2	Название судна	Δ, км	Характеристика моретрясения
			вода подпрыгивала с отрывом капель. Тряской и ударами сорвало три болта с фундамента.
17	СТР "Катаево"	85	Началась сильнейшая вибрация корпуса, продолжавшаяся примерно 1-2 мин (как по гребенке проехали), однако судно не качалось.
18	ПСКР "Чукотка"	125	Перед землетрясением море было обычным. Корабль при тряске поднимало вверх, а при её усилении было трудно держаться на ногах. От ударов остановился дизель-генератор, корабль обесточился. На поверхности воды возникла зыбь высотой до 2 м.
4 балла			
19	Плавбаза "Константин Суханов"	131	Во время моретрясения была повреждена забортная арматура кингстонов.
20	Теплоход "Ольга Андровская"	150	Судно испытывало сильное содрогание и вибрацию корпуса от гидравлических ударов в течение 2-х минут. Капитан судна и все спавшие при ударах сразу проснулись. Судно тряслось и двигалось прыжками с боковым креном до 3°. Вода на поверхности "закипела", потом быстро «улеглась». Повреждений судна и механизмов не обнаружено.
4-3 балла			
21	ПСКР 914	102	Судно шло со скоростью 30 узлов. Начались и стали усиливаться вибрация, удары, похожие на заклинивание главного двигателя.
22	СТР "Сурское"	125	При первом толчке судно стояло на рейде. Затем запустили главный двигатель, и через 2 минуты сильно трянуло. Трясло около 10-15 с. Море было тихое до землетрясения, во время него и после.
23	ПСКР 86	150	Судно стояло в дрейфе. Началась вибрация, сильные колебания продолжались около 1 с. Ощущение, что двигатель "пошёл в разнос". Вода на поверхности как бы "кипела".
Нет данных для оценки силы моретрясения			
24	РС "Павловский"	21	
25	РС "Корифена"	21	
26	СТР "Яблоновский"	33	
27	СТР "Васильевск"	43	
28	СТР "Суровск"	44	
29	СТР "Садовск"	45	
30	СТР "Савинск"	65	
31	СТР "Скалат"	69	
32	СТР "Вахрушевск"	70	
33	СТР "Сажинск"	73	
34	РС "Ливадия"	87	
35	Плавзавод "Василий Путинцев"	137	

Из описания моретрясений в табл. 3 следует, что практически на всех судах отмечались вертикальные удары по корпусу, временами трявшие судно в течение 1-2 минут. В некоторых случаях воздействие выразилось как короткопериодное излучение. очевидцы на многих судах отмечали также как бы "кипение" воды, что связано с кавитацией – образованием разрывов сплошности воды в результате местного понижения давления. Как известно, амплитуда давления на поверхности воды всегда равна нулю и увеличивается при росте глубины (моря, океана). Наблюдавшаяся кавитация является, главным образом, гидродинамической, т.е. понижение давления происходило вследствие возникновения больших местных скоростей в потоке движущейся воды. Это объясняется тем, что амплитуда скорости сейсмических волн на поверхности воды всегда максимальна.

Цунами 4 октября 1994 г. Шикотанское землетрясение вызвало волны цунами значительной амплитуды, приведшие к затоплению побережья Южных Курильских островов и северо-востока о. Хоккайдо. Волны цунами зарегистрированы мареографами на о. Шикотан (п. Малокурильское), о. Кунашир (п. Южно-Курильск), на о. Сахалин (п.п. Стародубское и Поронайск), а также в Японии (Ханасаки, Кусиро), Французской Полинезии и на Гавайских островах. Наиболее интересной является мареограмма в п. Малокурильское, близко

расположенном к очагу землетрясения. Из этой мареграммы видно, что в результате землетрясения произошло опускание о. Шикотан примерно на 60 см.

По данным [4, 5] составлены табл. 4 и рис. 3. В отличие от рис.1 из [4] на нашем рисунке все пункты пронумерованы, а также помещено уточнённое положение эпицентра Шикотанского землетрясения. Пункты в табл. 4 и на рис. 3 пронумерованы одинаково.

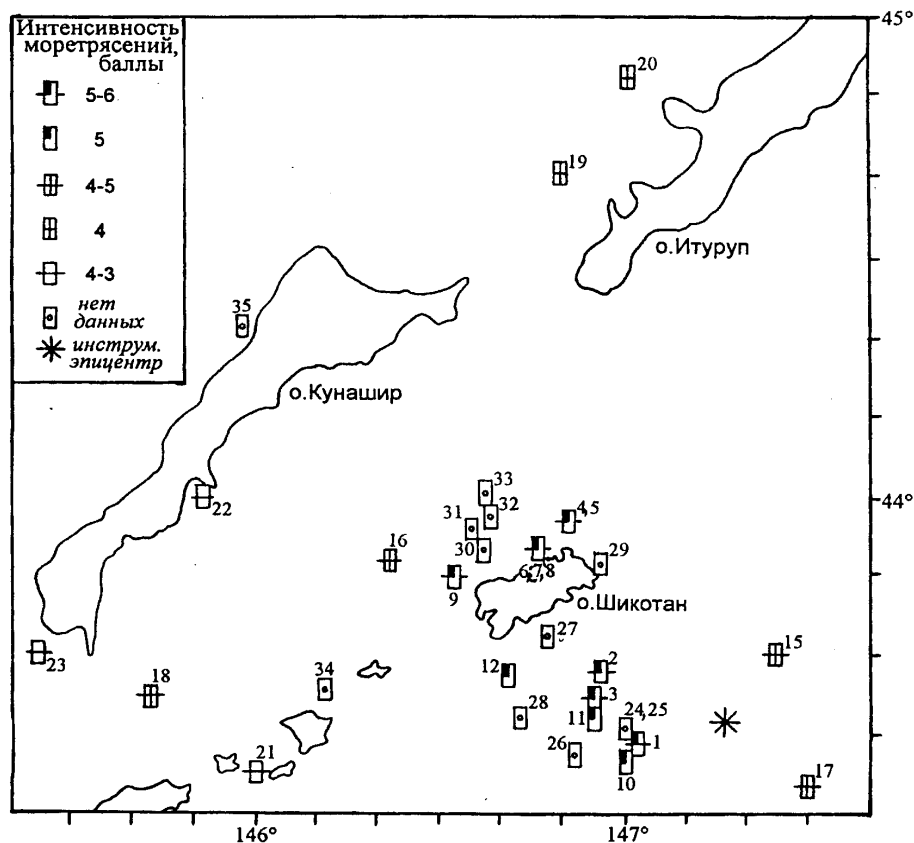


Рис. 2. Географическое расположение судов (рис. 1 из [6]) и интенсивность моретрясения на них во время Шикотанского землетрясения 4 октября 1994 г. Номера судов соответствуют номерам в табл. 3.

Таблица 4. Высоты заплесков волн цунами (даны по [5, 6])

№	Пункт	Высота заплеска, м	Примечание
о. Шикотан			
1	бухта Малокурульская	2.9-3.7	Цунами проявилось как резонансные сейшевые колебания с амплитудой до 3.7 м и периодом около 20 мин. Основная часть измерений высот и дальности заплесков выполнена на основе информации очевидцев.
2	бухта Маячная	5.6-6.8	Граница заплеска определена на боковых склонах по валику выноса морского мусора и границе травы, засохшей после засолонения.
-	бухта Кабельная (Солдатская)	4.6-5.2	Проведена плановая съемка.
-	бухта Безымянная	3.3-6.5	Проведена плановая съемка
3	бухта Димитрова	6.3-10.8	Координаты точек заплеска определялись портативным GPS-приёмником
4	бухта Снежкова	7.8-8.5	Координаты точек заплеска определены портативным GPS-приёмником
5	бухта Агатова	6.1-9.9	Координаты точек заплеска определены портативным GPS-приёмником
6	бухта Церковная	6.0-8.9 max = 16.6	Плановая съемка затопленной территории Большой Церковной бухты проведена на основе двух заложенных реперов. Довольно однородный (в основном 5-7 м) уровень заплеска хорошо трассируется по валику специфического морского мусора, местами прерывающемуся, а также по границе полыни, пожухлой после пребывания в соленой воде. Несколько замеров были произведены по морской траве, брошенной цунами на ветви кустов и деревьев. Локальный anomalно высокий заплеск порядка 15 м в

№	Пункт	Высота заплеска, м	Примечание
			середине бухты определён по границе травы, поваленной уходящей водой в направлении океана. Этот заплеск отнесён к неуверенным, поскольку не сопровождается специфическим морским мусором.
7	бухта Звёздная	3.4-4.2	Сделаны замеры двух следов цунами, один из которых – на песчаном уступе.
-	бухта Дельфин	2.6-3.1	
-	бухта Крабовая	3.2-3.4	Основная часть измерения высот и дальности заплесков выполнена на основе информации очевидцев.
о. Полонского			
8	бухта Часовня	4.0	Показания очевидцев. Через 20 мин после начала землетрясения уровень моря упал примерно на 4 м, а через 1 час - уровень в виде прилива стал резко подниматься до 4 м выше исходного.
о. Зелёный			
9	мыс Зелёный	1.5	Показания очевидцев. От мыса Зелёный до оз. Утиное высота заплеска составляла 1.5 м с понижением к югу до прибойного уровня.
о. Юрий			
10	мыс Бакланый	3.0-3.5	Показания очевидцев.
11	бухта Широкая	1.5	Показания очевидцев. Сразу после землетрясения вода отступила примерно на 10 м. Первая волна цунами пришла с севера через 1 час. При наибольшей (третьей) волне - высота заплеска около 1.5 м, дальность около 200 м.
о. Кунашир			
12	залив Измены, Палтусово	2.6	Инструментальные замеры и показания очевидцев. Волной выбросило на берег кунгас, затонувший вблизи уреза воды, на расстояние около 3 м.
13	залив Измены, Головнино	2.0	Инструментальные замеры и показания очевидцев. В отдельных усадьбах, ближних к заливу, огороды были затоплены до середины.
14	перешеек п-ова Весловский	3.1	Граница затопления хорошо прослеживается. По визуальным оценкам высота заплеска составляет около 2.5 м, дальность 30 м.
15	Серноводск	2.6	Чётко прослеживается граница заливания по плавнику и сухой траве. Оценка высоты и дальности затопления – визуальная.
16	р-н Горячего Пляжа	4.2	Инструментальные измерения высоты и дальности заплеска.
	бухта Южно-Курильская:	4.2-4.7	Даны максимальные высоты заплеска. Всего измерения сделаны для 16 точек [6].
17	4 км от устья р. Серебрянка	5.0	Высота и дальность (45 м) заплеска получены по инструментальным измерениям. Вблизи этой и еще двух точек 3 небольших судна были перенесены с линии уреза вглубь берега на 30-50 м.
18	р-н метеостанции	4.3	Инструментально измеренная высота заплеска составила 2.9 м. Берег в этом районе обрывистый, с надводными и подводными камнями. Здесь на камни было выброшено пассажирское судно.
19	бухта Космодемьянская	4.6	Уровень максимального заплеска измерен по четкой границе из плавника и травы. Дальность заплеска составляет около 160 м. Здесь разбросаны 8-метровые бревна. Из двух стогов сена один перенесен в сторону на 40 м, другой не обнаружен.
20	ручей и водопад, 14.5 км к северу от Южно-Курильска	6.3	Четкая граница из плавника и травы на высоте 5.0 м на расстоянии 100 м от уреза.
21	р-н водопада, около 15 км к северу от Южно-Курильска	9.8	Высота заплеска по свидетельству очевидца и по границе травы на крутом берегу составила по инструментальным измерениям 8.6 м на расстоянии 80 м от уреза.
22	левый берег р. Илошина	6.4	Инструментально измеренный максимальный уровень заплеска составил 5.4 м на расстоянии 110 м.
23	Устье р. Мостовая и р. Камышовая	4.0-4.5	Визуальные оценки. Следы цунами в виде нанесённого плавника, остатков травы на высоте 3.0-3.5 м от уреза в момент наблюдений. Дальность заплеска около 30 м.
24	р-н устья реки Саратовской	4.0-4.5	Берег и следы цунами аналогичны п. 23. По визуальным оценкам высота заплеска составила 3.0-3.5 м от уреза в момент наблюдений. Дальность заплеска около 40 м.
25	залив Спокойный, р-н оз. Круглое	4.0-4.5	Берег и следы цунами аналогичны п. 23. По визуальным оценкам высота заплеска - 3.0-3.5 м и дальность до 30 м на момент наблюдений.
26	р-н мыса Ловцова	2.0	Следы цунами наблюдались на высоте до 2 м, оценка визуальная.
о. Итуруп			

№	Пункт	Высота заплеска, м	Примечание
	залив Касатка:		Вдоль всего побережья залива отмечалось спокойное затопление
27	р-н п. Буревестник, пирс ГСО	3.4	Отметка вертикального заплеска составляет 2.4 м и глубины проникновения 10 м.
28	берег Зеркального пляжа, ручей Ток	3.0	Отметка вертикального заплеска – 1.5 м., глубина проникновения – 45 м.
29	Северо-восточное побережье	3.3	Отметка вертикального заплеска – 1.9-2.0 м, глубина проникновения – 12 м.
30	бухта Сентябрьская	3.0-4.0	При отливе на 200 м лесовозная баржа села на мель, а волной цунами её понесло к берегу. Бревна разбросало и выкинуло на берег на высоту 3-4 м.

Примечание. Высота заплеска дана относительно теоретического нуля глубин.

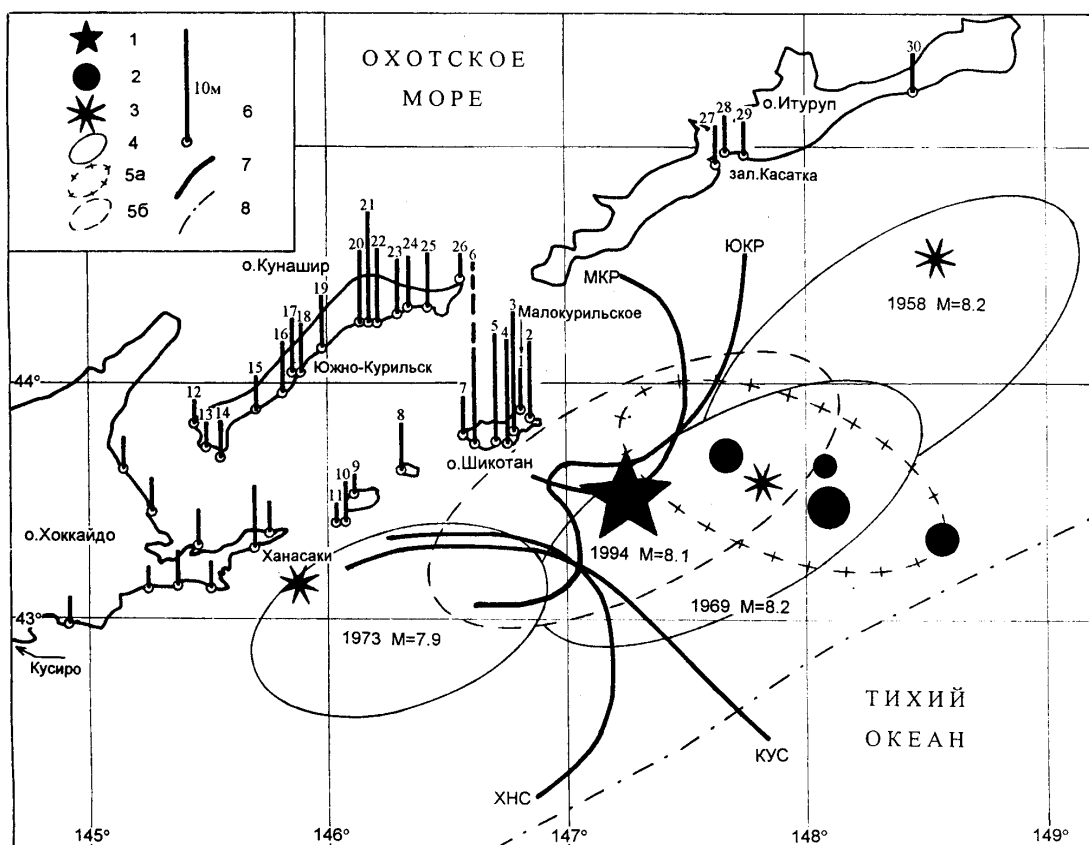


Рис. 3. Область очага Шикотанского цунами 4 октября 1994 г. и максимальные наблюдаемые высоты цунами на побережье (по [4, рис. 1] с добавлениями и изменениями авторов): 1 - 3 – эпицентры: 1 – главного толчка 04.10.1994 г.; 2 – афтершоков с $M \geq 6.8$ в первые 6 часов после главного толчка; 3 – сильнейших исторических землетрясений (указаны год и магнитуда землетрясения); 4 - 5 – контуры очагов цунами: 4 – сильнейших исторических цунами; 5а – цунами от землетрясения 04.10.1994 г., по сильнейшим афтершокам за первые 6 часов; 5б – то же, по области афтершоков первой недели; 6 – пункты на побережье и максимальные наблюдаемые в них высоты цунами; номера пунктов соответствуют номерам в табл. 4; 7 – обратные изохроны добегания цунами, построенные от пунктов на побережье; 8 – ось глубоководного жёлоба.

Наиболее детально обследовано океанское побережье о. Шикотан, обращённое к очагу цунами, и бухты Малокурильская и Крабовая. Определение уровней затопления в большинстве случаев не вызвало затруднений, поскольку линия заплеска хорошо выделялась широкой линией плавника (морская и сухая трава, прочий морской мусор). Кроме того, трава, побывавшая в зоне затопления, завяла и изменила свой цвет, что служило хорошим индикатором уровней затопления. Во многих случаях трава полегла либо по направлению к урезу, либо по направлению к реке, впадающей в бухту, что позволило судить о силе потока воды. Однако, в случае аномально большого языка заплеска в 16.6 м в бухте Церковная (6 в табл. 4 и на рис. 3) полегла трава не

сопровождалась наличием специфического морского мусора, и здесь на рис. 3 для этого пункта "дополнительная" высота заплеска изображена пунктиром.

Волны цунами от Шикотанского землетрясения нанесли определённый материальный ущерб.

Л и т е р а т у р а

1. **Шикотанское землетрясение 4(5) октября 1994 г. 1994.** // Инф.-анал. бюл. Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Экстренный выпуск. М.: ОИФЗ РАН. 80 с.
2. **Сейсмологический бюллетень за 1994 год (ежедекадный). 1994.** / Отв. ред. О.Е. Старовойт, А.И. Захарова. Обнинск: ОмЭ ИФЗ РАН.
3. **Алексин П.А., Аптекман Ж.Я., Арефьев С.С. и др. 1995.** Шикотанское землетрясение 1994 г.: Эпицентральные наблюдения и очаг землетрясения. М.: ОИФЗ РАН. 136 с.
4. **Кайстренко В.М., Гусяков В.К., Джумагалиев В.А. и др. 1997.** Проявление цунами 4 октября 1994 года на Шикотане // Проявление конкретных цунами 1993 и 1994 годов на побережье России. (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. 8.) Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. С. 55-73.
5. **Королев Ю.П., Жукова Л.Д., Золотухина Н.Д. и др. 1997.** Проявление цунами 4 октября 1994 года на побережье Курильских островов // Проявление конкретных цунами 1993 и 1994 годов на побережье России. (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. 8.) Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. С. 74-92.
6. **Моретрясения 4 октября 1994 г. 1997.** // Проявление конкретных цунами 1993 и 1994 годов на побережье России. (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. 8.) Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. С. 93-104.
7. **Леонов Н.Н., Оскорбин Л.С., Поплавская Л.Н. и др. 1973.** Шикотанское землетрясение и цунами 11 августа 1969 г. // Землетрясения в СССР в 1969 году. М.: Наука. С. 164-179.
8. **The Seismological Bulletin of JMA. 1994,1995.** Токио.
9. **Айзенберг Я.М., Мелентьев А.М. 1994.** Инженерный анализ последствий Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 г. // Инф.-анал. бюл. Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Экстренный выпуск, ноябрь. М.: ОИФЗ РАН. С. 35-41.
10. **Ершов И.А., Шебалин Н.В. 1984.** Проблема конструкции шкалы интенсивности землетрясений с позиций сейсмологов // Прогноз сейсмических воздействий. (Вопр. инж. сейсмол. Вып. 25.) М.: Наука. С. 78-89.
11. **Hisada T., Nakagawa K. 1958.** Present Japanese Development in Engineering Seismology and their Application to Buildinge. Japan.
12. **Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. 1965.** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: Межведомственный геофизический комитет при Президиуме АН СССР. 11 с.
13. **Шебалин Н.В. 1975.** Об оценке сейсмической интенсивности. // Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: Наука. С. 87-109.
14. **Миталёва Н.А. (отв. сост.), Брагина Г.И., Пиневич М.И., Шолохова А.А., Садчикова А.А., Левит Е.В. 1999.** Региональные и территориальные каталоги: Курило-Охотский регион. М.: НИИ-Природа. С. 195-211.
15. **Оскорбин Л.С., Поплавская Л.Н., Шумилина Л.С. и др. 1977.** Макросейсмические данные о Парамуширском землетрясении 28 февраля 1973 г. // Теоретические и экспериментальные исследования по проблеме цунами. М.: Наука. С. 177-185.
16. **Чернов Ю.К. 1997.** Методика и вероятностные оценки сейсмической опасности территорий Сахалина, Курильских островов и Приморья. // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. VI.) Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН С. 198-238.
17. **Оскорбин Л.С. 1977.** Уравнения сейсмического поля сахалинских землетрясений // Сейсмическое районирование Сахалина. Владивосток: Наука. С. 34-45.
18. **Саваренский Е.Ф., Кирнос Д.П. 1955.** Элементы сейсмологии и сейсмометрии. М.: Гостехиздат. 543 с.