

**АФТЕРШОКОВЫЙ ПРОЦЕСС И МЕХАНИЗМЫ ОЧАГА КОСТРОМСКОГО
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 30 МАЯ 2004 г., о. САХАЛИН**

Л.Н. Поплавская, Т.В. Нагорных, О.А. Мельников, Д.А. Сафонов, Ким Чун Ун

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022;
e-mail: nagornyh@imgg.ru*

Поступила в редакцию 24 января 2011 г.

Изложены результаты изучения инструментальных и макросейсмических данных об ощущаемом землетрясении интенсивностью до $I = 5-6$ баллов, магнитудой $MLH = 4.8$, произошедшем вблизи западного побережья о. Сахалин. Выполнена оценка основных параметров Костромского землетрясения в двух вариантах: по данным локальной сети автономных цифровых сейсмических станций, расположенных на юге о. Сахалин, и по комплексу локальных, региональных и глобальных данных наблюдений.

Отмечается, что с развитием локальной сети станций на юге о. Сахалин появилась возможность более детально изучить сейсмическую обстановку в районе возникновения землетрясения, получить механизмы не только отдельных слабых событий, но и групповых очагов.

На основе полученных данных о характере дислокации главного толчка и афтершоков первых и последующих суток дана геолого-тектоническая интерпретация Костромского землетрясения.

Ключевые слова: активные разломы, механизм очага, геодинамика процесса, главный толчок, афтершоки, макросейсмический эффект, о. Сахалин.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена изучению сейсмической обстановки западного побережья Южного Сахалина. Детальное изучение отдельных сильных землетрясений позволяет получить дополнительную информацию для анализа сеймотектонической обстановки в районе возникновения таких событий. По историческим данным, землетрясения в рассматриваемом районе происходили и ранее: 1924–1999 гг. с магнитудой $MLH = 4.0-4.9$ (далее в тексте просто M). Рассматривая положение всех эпицентров, время возникновения и точность определения основных параметров землетрясений [8], достаточно сложно говорить о направлении миграции сильных землетрясений рассматриваемого района, тем не менее, особый интерес представляет тот факт, что Костромское землетрясение 2004 г. локализовано значительно западнее всех предыдущих событий.

В данной работе представлено Костромское землетрясение, произошедшее 30 мая 2004 г. в 02 час 52 мин по Гринвичскому времени. Главный толчок с $M = 4.8$ и интенсивностью $I_0 = 5-6$ баллов произошел на западном побережье Южного Саха-

лина между городами Чехов и Холмск, на периклинальных погружениях Костромской и Пионерской антиклинальных складок север-северо-западного простирания, входящих в Холмскую антиклинальную зону.

Цель данной статьи: на основе полученных результатов расчета механизмов главного толчка Костромского землетрясения, его афтершоков, а также групповых механизмов афтершоков дать геолого-тектоническую интерпретацию Костромского землетрясения.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Афтершоки землетрясения в первые и последующие сутки локализовались по совместным данным региональной и локальной сетей. В рассматриваемый период времени на юге острова работала сеть из 10 автономных цифровых станций (рис. 1), которая позволяла регистрировать без пропусков в районе очаговой зоны землетрясения с магнитудой $M \geq 2.5$ [10]. За период наблюдения с 02 час. 52 мин. 30 мая 2004 г. по 21 декабря 2004 г. зарегистрировано 152 землетрясения с $M \geq 2.5$, их параметры определялись на основе данных локальной сети цифровых сейс-

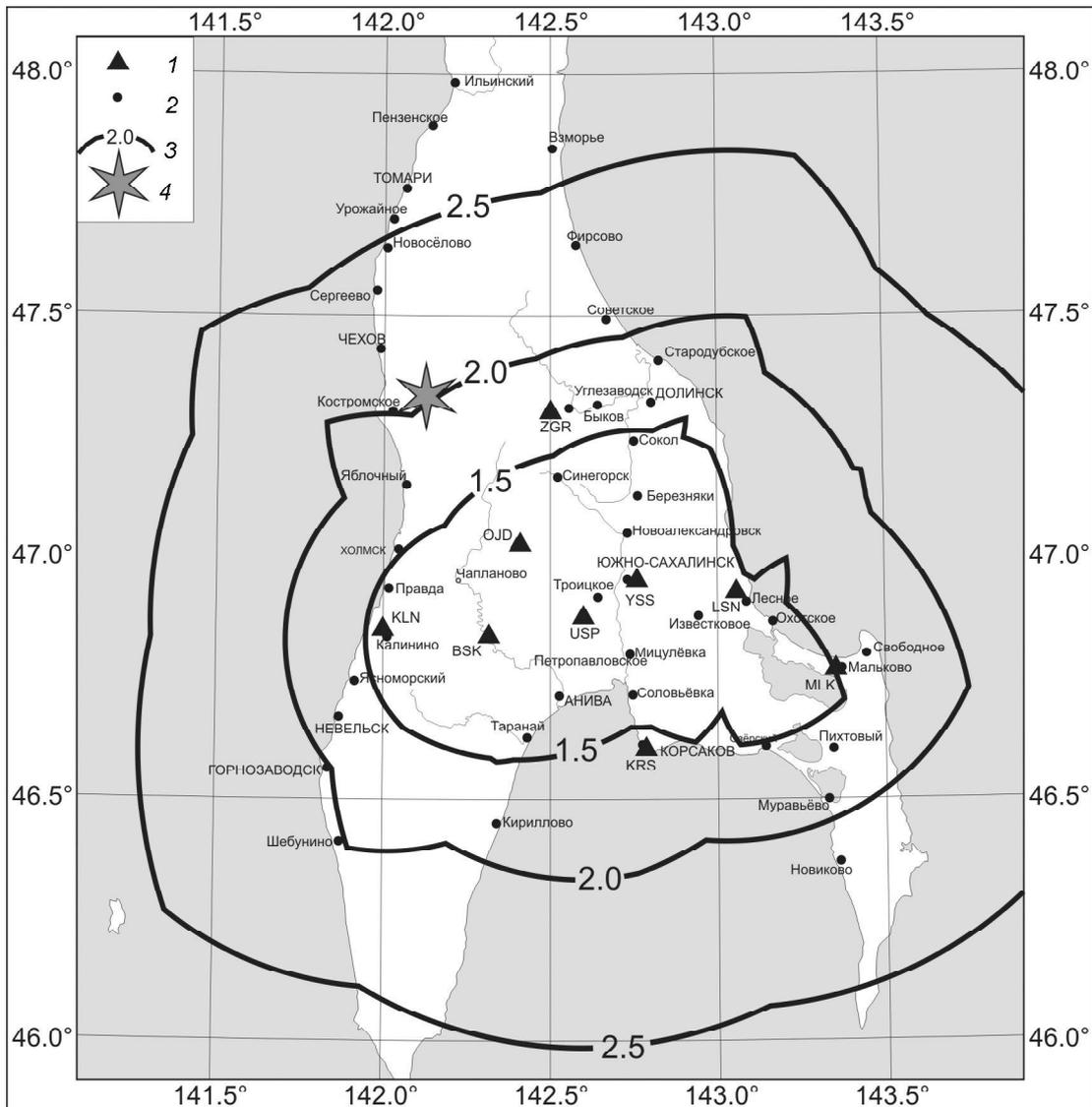


Рис. 1. Карта представительности землетрясений юга о. Сахалин в 2004 г.

1 – сейсмические станции, 2 – населенные пункты, 3 – границы представительности землетрясений соответствующих магнитуд, 4 – положение эпицентра Костромского землетрясения 20 мая 2004 г.

мостанций DAT и DATAMARK в СФ ГС РАН методом гипоинверсии.

Параметры очага главного толчка Костромского землетрясения и двух его афтершоков, механизмы которых были определены впоследствии, были перепределены по совместным данным локальных, региональных и отдельных цифровых станций международной сети наблюдений по комплексу программ MGP (магнитуда, глубина, положение эпицентра [6]) – базового для СФ ГС РАН. Результаты определения координат эпицентров обоими методами совпали между собой в пределах точности локализации (табл. 1). Глубина очага изучаемых землетрясений была определена по фазам волн, отраженных вблизи

эпицентра, с использованием таблиц Л.Н. Поплавской для расстояний $\Delta \approx 1-14$ [9], Н.В. Кондорской – для $\Delta \geq 15$ [11]. Среднее значение глубины гипоцентра по выделенным глубинным фазам pP, sP, sS составило $h = 13 \pm 3$ км.

МЕХАНИЗМЫ ГЛАВНОГО ТОЛЧКА И АФТЕРШОКОВ

Определения механизмов очагов (табл. 2, рис. 2, 3) осуществлялись по методике, разработанной группой авторов под руководством Л.Н. Поплавской для малоинформативных систем сейсмологических наблюдений [7]. Использовались базовые алгоритмы программы “МЕХАНИЗМ” [1]. В качестве исходной

Таблица 1. Основные параметры Костромских землетрясений 2004 г.

№	Дата	Время в очаге по Гринвичу			Координаты эпицентра		Координаты эпицентра*		h, км	h*, км	Магнитуда землетрясения MLH
		ч	м	с	φ° , с. ш.	λ° , в. д.	φ° , с. ш.	λ° , в. д.			
1	30.05.04	02	52	12	47.32	142.19	47.33	142.13	13	13	4.8
2	30.05.04	04	51	36	47.42	142.18	47.32	142.13	11	9	3.9
3	12.06.04	14	49	46	47.34	142.13	47.32	142.14	8	6	2.9

Примечание. * – данные получены по методу гипоинверсий.

Таблица 2. Параметры механизма очагов Костромского землетрясения 30.05.2004г. и его афтершоков.

№ п/п	Дата д. м. г.	t_0 ч мин с	Эпицентр		h, км	σ_h , км	MLH	σ_M	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						
			φ° с. ш.	λ° в. д.					T		N		P		NP1			NP2			
									PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
1	30.05.04	02 52 12	47.32	142.19	13	2	4.8	0.3	57	127	24	355	22	254	308	31	39	184	71	116	
2	30.05.04	04 51 36	47.42	142.18	11	2	3.9	0.2	55	58	04	322	35	229	143	80	94	300	11	67	
3	Афтершоки первых суток					11	2	-	-	55	139	26	4	21	263	194	71	118	316	33	37
4	12.06.04	14 49 46	47.34	142.13	7	1	2.9	0.2	57	218	07	320	32	54	170	15	121	318	77	82	
5	Афтершоки последующих суток					7	2	-	-	63	245	06	346	27	79	183	19	108	344	72	84

Таблица 2. (Продолжение). Информация о достоверности определения механизмов очагов Костромского землетрясения 30.05.2004г. и его афтершоков.

№	Сейсмодислокации*	Использованы знаки								Рассеяние			Число решений	
		Всего				Не согласованы				ЭВМ-решения			с LN max	Согласованных с SV, SH
		P		S		P		S		T	N	P		
		+	-	SV	SH	+	-	SV	SH					
1	взброс	20	12	20	10	3	2	3	1	10	6	12	5	2
2	пологий надвиг	4	6	20	10	1	0	2	0	26	43	40	5	1
3	взброс	22	25	20	10	1	1	2	2	7	9	10	15	1
4	пологий надвиг	5	8	19	11	0	0	1	0	8	4	8	7	1
5	пологий надвиг	15	46	19	11	2	0	4	1	3	4	3	2	1

Примечание. * – классификация по типу механизма очага (сейсмодислокаций): сдвиги – $PLN \geq 45^\circ$; взбросы и сбросы – $PLN < 45^\circ$, $DP1 > 20^\circ$, $DP2 < 70^\circ$; поддвиги и пологие надвиги – $PLN < 45^\circ$; $DP1 \geq 70^\circ$, $DP2 \leq 20^\circ$. Здесь PLN, DP1, DP2 – углы с горизонтом оси промежуточного напряжения и нодальных плоскостей, соответственно.

информации послужили сведения о знаках первых смещений в волнах Pn, P*, Pg, P, pP. Для уточнения полученного решения привлекались знаки первых движений в волнах S, Sn, S*, Sg (табл. 2, продолжение).

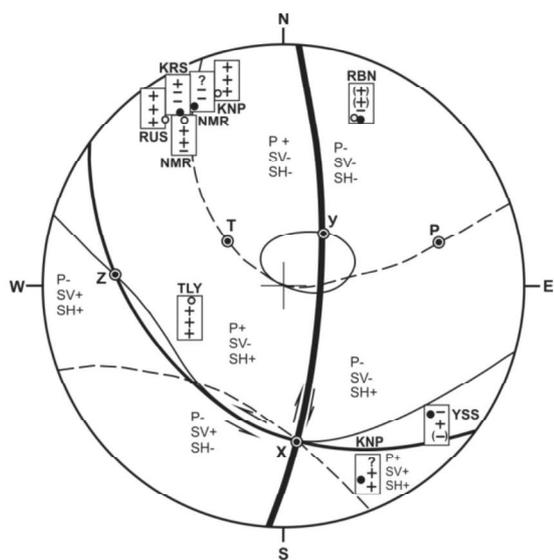
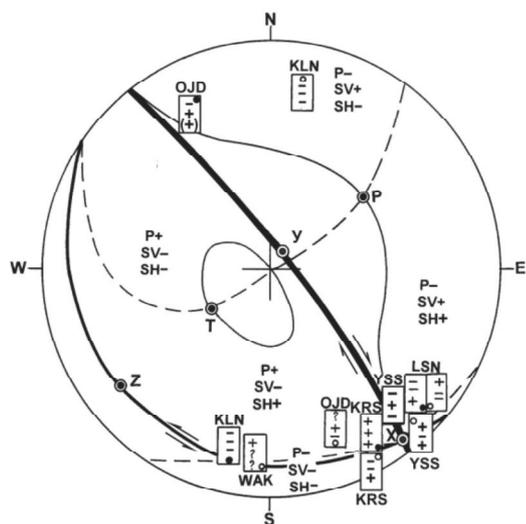
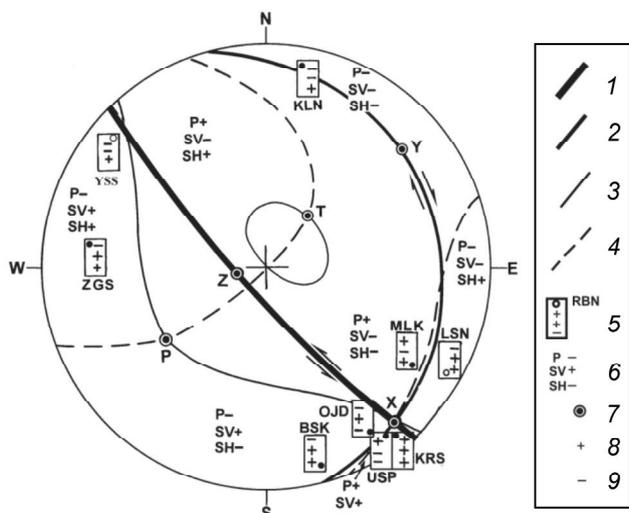
Землетрясение 30.05.2004 г. $t_0=02-52-11.8$ произошло под воздействием преобладающих напряжений сжатия, ориентированных в западном направлении. Ось промежуточного напряжения наклонена под небольшим углом на север параллельно островным геологическим структурам. Одна из нодальных плоскостей (NP1) имеет южное простирание и крутое падение на запад. При этом западное крыло разрыва поднялось и сдвинулось на север (правосторонний сдвиг). Вторая возможная плоскость разрыва (NP2) имеет северо-западное простирание, падает более полого к горизонту на северо-восток. При этом северо-восточное крыло разрыва поднялось и сдвинулось на северо-запад (левосторонний сдвиг). Сейс-

модислокация в очаге главного толчка – взброс со сдвиговой компонентой.

В очаге землетрясения 30.05.2004 г. $t_0=04-51-35.9$ преобладали близгоризонтальные напряжения сжатия, ориентированные на юго-запад, и более крутые растягивающие напряжения северо-восточного простирания. Промежуточное напряжение направлено под небольшим углом к горизонту.

Одна из нодальных плоскостей (NP1) имеет юго-восточное простирание и крутое падение на юго-запад. При этом юго-западное крыло разрыва поднялось и сдвинулось на северо-запад (правосторонний сдвиг).

Альтернативная плоскость разрыва имеет северо-западное простирание с падением под небольшим углом на северо-восток. Северо-восточное крыло разрыва поднялось и сдвинулось на северо-запад (левосторонний сдвиг). В очаге, таким образом, наблюдалась сейсмодислокация типа пологого надвига.

30.05.2004 г. $t_0 = 02-52-11.8$; $h = 13$ км; $M = 4.8$ 30.05.2004 г. $t_0 = 04-51-35.9$; $h = 11$ км; $M = 3.9$ 12.06.2004 г. $t_0 = 14-49-46.4$; $h = 8$ км; $M = 2.9$

Очаг землетрясения 12.06.2004 г. $t_0 = 14-49-46.4$ реализовался под воздействием преобладающего напряжения сжатия, ориентированного на северо-восток, и более крутых растягивающих напряжений юго-западного простирания. Одна из возможных плоскостей разрыва (NP1) имеет северо-западное простирание с крутым падением на северо-восток. Восточное крыло разрыва поднялось и сдвинулось на север-северо-запад (левосторонний сдвиг).

Вторая возможная плоскость разрыва имеет юго-восточное простирание с пологим падением на юго-запад (правосторонний сдвиг). В случае этой плоскости западное крыло разрыва поднялось и сдвинулось на северо-запад. Сейсмодислокация в очаге – пологий надвиг.

Определения групповых механизмов очагов афтершоков первых и последующих суток (рис. 3) осуществлялись по методике [5].

Афтершоки первых суток (рис. 3а) произошли в условиях сжатия, ориентированного на юго-запад, и более крутых растягивающих напряжений, ориентированных на юго-восток. Одна из нодальных плоскостей (NP1) имеет субмеридиональное простирание и крутое падение на запад, при этом западное крыло разрыва поднялось и сдвинулось на север-северо-восток (правосторонний сдвиг). Альтернативная плоскость имеет северо-западное простирание с падением под небольшим углом на северо-восток (левосторонний сдвиг).

Афтершоки последующих суток (рис. 3б) произошли в условиях субширотного сжатия, ориентированного на восток, и более крутого растягивающего напряжения юго-западной ориентации.

Одна из нодальных плоскостей (NP1) имеет субмеридиональное простирание и полого падает на запад, при этом западное крыло разрыва поднялось и сдвинулось на север (правосторонний сдвиг). Альтернативная плоскость имеет субмеридиональное простирание и крутое падение на восток, при этом восточное крыло разрыва поднялось и сдвинулось на север (левосторонний сдвиг). В очагах афтершоков

Рис. 2. Результаты определения механизмов очагов Костромского землетрясения и двух его сильнейших афтершоков (верхняя полусфера).

На стереограмме механизмов: 1–2 – нодальные линии $P = 0$; 3 – $SV = 0$; 4 – $SH = 0$; зачернена плоскость, принятая за сместитель в очаге; 5–6 – знаки первых смещений в P, SV, SH- волнах: 5 – экспериментальные (пустой кружок соответствует волне, распространяющейся от очага вниз, зачерненный – волне, распространяющейся от очага вверх); 6 – теоретические; 7 – оси P, T, X, Y, Z; 8–9 – знаки первых движений в P-волне.

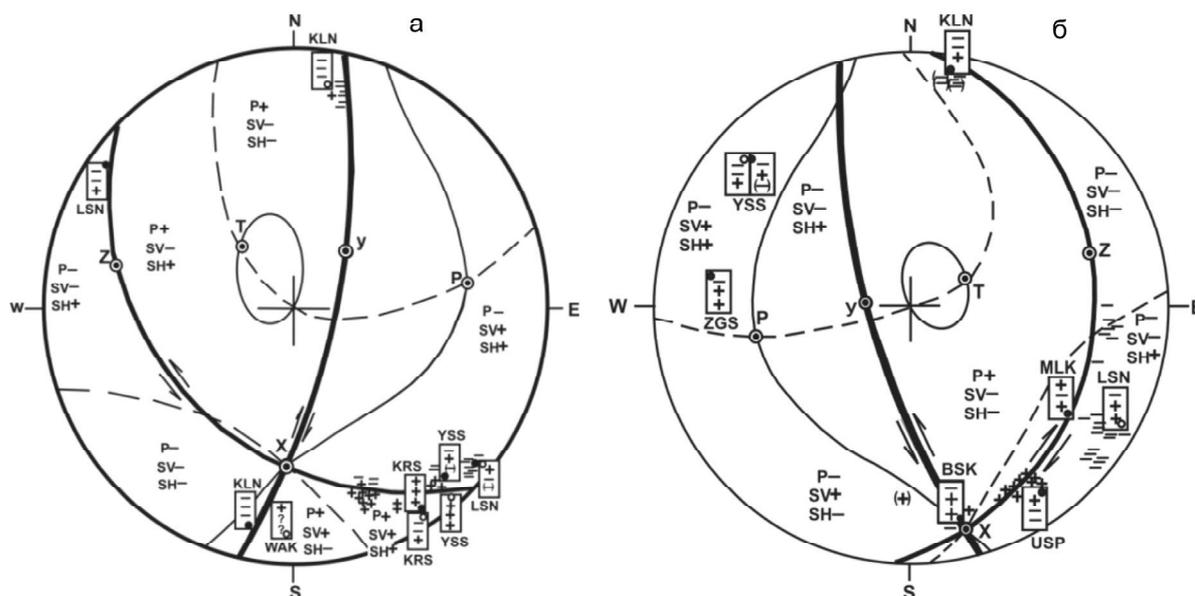


Рис. 3. Результаты определения механизмов очагов афтершоков Костромского землетрясения первых (а) и последующих (б) суток (верхняя полусфера).

Условные обозначения см. на рис. 2.

последующих суток ($H_{cr} = 7$ км) установлена так же, как и в очаге 12.06.2004г. ($t_0 = 14-49-46.4$), дислокация типа пологого надвига, движения по плоскостям однотипны.

Как видно из рис. 2 и 3, все полученные механизмы имеют тип дислокации взброс и содержат небольшую сдвиговую компоненту. Основной рабочей плоскостью, по всей видимости, следует считать наиболее крутую нодальную плоскость (как будет показано ниже, это согласуется с пространственным распределением облака афтершоков), падающую в случае главного толчка на восток. При этом групповой механизм афтершоков первых суток практически идентичен механизму главного толчка землетрясения, хотя механизм крупного афтершока, произошедшего через два часа после основного события, повернут относительно механизма главного толчка против часовой стрелки примерно на 40° . Во всех случаях присутствует небольшая компонента правостороннего сдвига.

Механизм афтершоков последующих суток хуже согласуется с механизмом главного толчка. Крутая нодальная плоскость здесь имеет восточное падение, а сдвиг вдоль нее – левосторонний. Примерно такой же механизм, слегка повернутый против часовой стрелки, получен и для отдельного афтершока, произошедшего спустя две недели после главного толчка.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

В первые дни после землетрясения силами СФ ГС РАН было проведено макросейсмическое обследова-

ние территории южного Сахалина, результаты обследования представлены ниже. Землетрясение ощущалось жителями 77 населенных пунктов юга Сахалина, включая областной центр (табл. 3). Максимум макросейсмического воздействия пришелся на поселки Костромское и Пионеры, где интенсивность сотрясений достигала 5–6 баллов. Наблюдались сильные сотрясения зданий, падение предметов и движение мебели, трещины в штукатурке, массовые разрушения печных труб.

В результате аппроксимации зависимости зарегистрированного макросейсмического балла от расстояния получено уравнение макросейсмического поля для Костромского землетрясения:

$$I = 9 - 3.52 \lg R,$$

где I – макросейсмическая интенсивность, R – гипоцентральное расстояние.

Так же, согласно формуле Н.В. Шебалина [2, 12, 13], были рассчитаны и построены теоретические изосейсты (рис. 4), хорошо отражающие реальное затухание макросейсмической интенсивности.

Стоит отметить несколько завышенную ошутимость землетрясения вдоль западного побережья острова, особенно к югу от эпицентра. При этом в населенных пунктах центральной части южного Сахалина наблюдается интенсивность несколько ниже расчетной. Возможно, это является следствием экранирующего действия зоны Центрально-Сахалинского разлома, проходящего вдоль восточных склонов Западно-Сахалинских гор.

Таблица 3. Макросейсмические данные о землетрясении 30 мая 2004 г. в 02^h52^m с $MLH=4.8$.

№	Пункт	Δ, км	№	Пункт	Δ, км
	<u>5–6 баллов</u>		38	Черемшанка	64
1	Костромское	8	39	Придорожное	71
2	Пионеры	11	40	Огоньки	74
	<u>5 баллов</u>		41	Таранай	81
3	Красноярское	13		<u>2–3 балла</u>	
4	Чехов	17	42	Чистоводное	38
5	Яблочный	19	43	Санаторный	43
	<u>4–5 баллов</u>		44	Сокол	47
6	Садовники	16	45	Такое	47
7	Байково	20	46	Ключи	49
8	Антоново	22	47	Долинск	50
9	Симаково	24	48	Стародубское	53
10	Загорское	26	49	Елочки	54
	<u>4 балла</u>		50	Ново-Александровск	54
11	Быков	33	51	Луговое	55
12	Холмск	33	52	Дудино	56
13	Пятиречье	36	53	Неводское	56
14	Новоселово	37	54	Высокое	58
15	Углезаводск	37	55	Троицкое	58
16	Чапланово	41	56	Новотроицкое	62
	<u>3–4 балла</u>		57	Успенское	62
17	Синегорск	34	58	Взморье	64
18	Поляково	35	59	Петропавловское	67
19	Сосновка	40	60	Воскресенское	69
20	Покровка	42	61	Ловецкое	71
21	Советское	42	62	Ильинский	73
22	Правда	44	63	Анива	74
23	Бамбучки	44	64	Зеленодольск	74
24	Зырянское	48	65	Вагутино	90
25	Томари	49		<u>2 балла</u>	
26	Калинино	52	66	Березняки	52
27	Заветы Ильича	62	67	Новая деревня	53
28	Ясноморский	67	68	Дальнее	55
29	Лопатино	85	69	Лиственичное	70
30	Заречье	87	70	Соловьевка	80
31	Горнозаводск	87	71	Третья Падь	83
	<u>3 балла</u>		72	Первая Падь	84
32	Октябрьское	43	73	Корсаков	91
33	Фирсово	49		<u>1–2 балла</u>	
34	Пожарское	51	74	Мицулевка	65
35	Колхозное	61	75	Хомутово	67
36	Южно-Сахалинск	62	76	Тамбовское	78
37	Пензенское	63	77	Дачное	78

ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОСТРОМСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В регионально-геологическом плане (рис. 5) район Костромского землетрясения 30.05.2004 г. относится к северной периклинали Холмской антиклинальной зоны [4]. Оси складок, субпараллельные на юге, слегка расходятся в север-северо-западном направлении. В этом же направлении полого погружаются и шарниры этих складок. Складки в самом об-

щем виде весьма протяженные, асимметричные – с более крутыми (до 40°) юго-западными и пологими (не более 30°) северо-восточными крыльями. Сводовые части складок в пределах показанного на рис. 5 участка сложены самыми верхними элементарными формациями палеогеновых отложений, а крылья – почти всем латерально-вертикальным рядом элементарных формаций неогеновых отложений, относящихся в целом к литолитовой палеоген-неогеновой надформации (*Лтл*), повсеместно перекрываемой

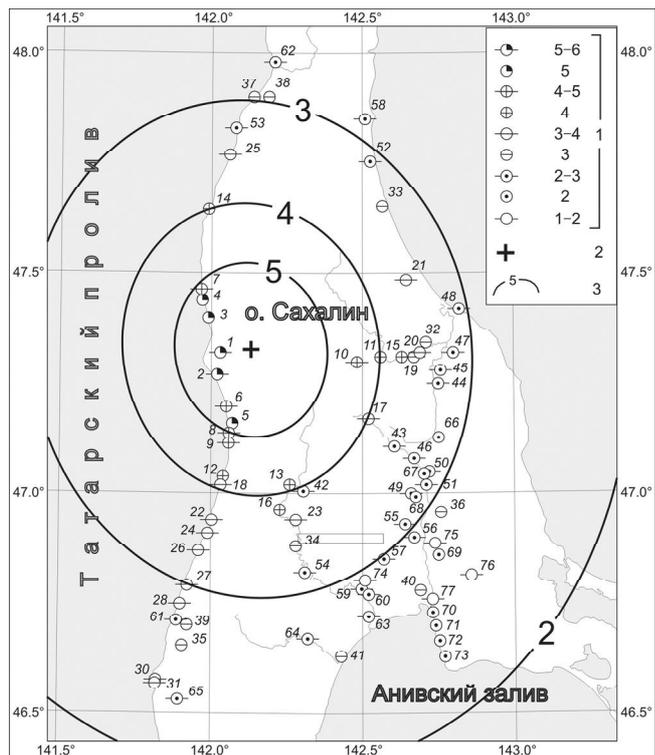


Рис. 4. Карта изосейст Костромского землетрясения 30.05.2004 г. с $M_LH = 4.8$.

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [12], 2 – эпицентр по инструментальным данным, 3 – изосейста.

маломощным, субгоризонтально залегающим чехлом четвертичных отложений – седиментитовой четвертичной надформацией (*Стт*). Лишь на западном краю участка – на мысе Слепиковского – седиментитовая четвертичная надформация достигает более значительной мощности. Мощность всей литологической палеоген-неогеновой надформации в этом районе оценивается в 5000–7000 м, а подстилающей ее верхней слабо метаморфизованной верхнемеловой части метаморфитовой надформации – 5000–6000 м [3]. Наряду с интенсивной пликвативной дислоцированностью рассматриваемого участка, ему свойственна и сравнительно высокая дизъюнктивная дислоцированность – наличие 5–6 субпараллельных разрывов типа сброса или взброса север-северо-западного простирания, почти совпадающего с аналогичным простиранием складок. В непосредственной близости к эпицентральной области землетрясения выделяются пять таких разрывов, причем средний из них практически совпадает с местоположением эпицентра главного толчка землетрясения и посередине пересекает общее поле эпицентров афтершоков.

Положение рабочей плоскости механизмов определенных афтершоков примерно совпадает с на-

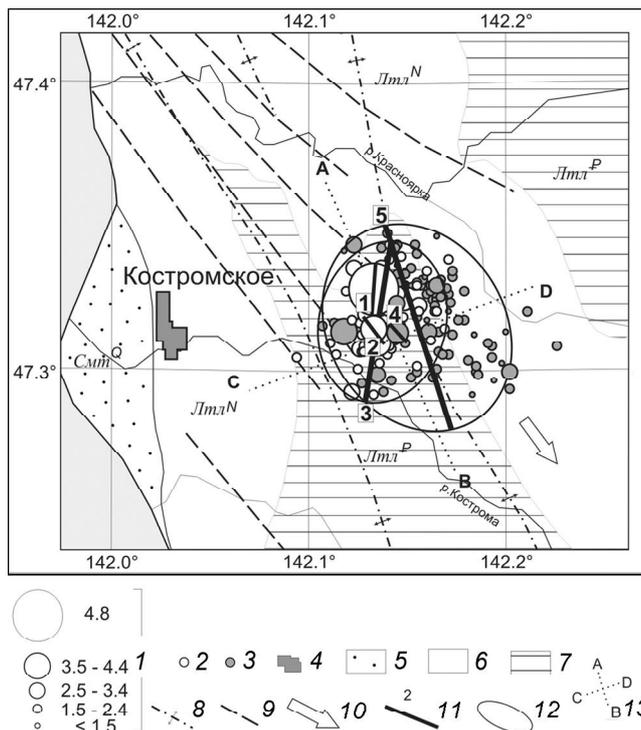


Рис. 5. Карта эпицентров Костромского землетрясения 30 мая 2004 г. и его афтершоков, наложенных на схему геологических формаций района.

1 – классификация по магнитуде; 2 – афтершоки первых суток; 3 – афтершоки последующих суток; 4 – населенный пункт; 5–10 – структурно-тектонический план (по О.А. Мельникову): 5–7 – геологические надформации: 5 – седиментитовая четвертичная надформация – *Стт*^Q, 6 – неогеновая часть литологической палеоген-неогеновой надформации *Лтл*^N, 7 – палеогеновая часть палеоген-неогеновой надформации *Лтл*^P; 8 – оси антиклинальных складок; 9 – основные разломы; 10 – направление вектора, отвечающего простиранию сейсмогенерирующего разлома; 11 – рабочая плоскость (цифрами обозначены номера землетрясений по табл. 3); 12 – области афтершоков первых и последующих суток, для которых были рассчитаны групповые механизмы очагов; 13 – линии вертикальных разрезов.

правлением разрывов, в то время как плоскость сместителя главного толчка идет вразрез вышеописанным структурам.

По данным геологической съемки, проведенной О.А. Мельниковым в 1960 г. в Чеховском районе, все пять показанных на рис. 5 разломов являются взбросами или сбросами с субвертикальными плоскостями сместителей, с преобладающе поднятыми (взброшенными) северо-восточными крыльями относительно юго-западных крыльев, с амплитудами, не превышающими первые сотни метров.

Гипоцентры главного толчка и афтершоков (рис. 6) в совокупности образуют не очень правиль-

ное чечевицеобразное тело, длинной осью слегка наклоненное на юго-восток, наиболее широкое на глубинах 4–11 км, сужаясь и почти вертикально выклиниваясь вверх до глубины 1 км. Гипоцентры первого дня землетрясения сгруппированы и компактной группой расположены в 2–3 км над гипоцентром главного толчка, почти не поднимаясь выше 7 км, тогда как более рассеянное в пространстве облако гипоцентров афтершоков последующих суток расположено в интервале глубин от 1 до 10 км и слегка наклонено к востоку.

Рабочая плоскость сместителя главного толчка землетрясения, по расчетным данным, падает на запад под углом в 71° к горизонту. Под очень крутыми (субвертикальными) углами наклонены плоскости сместителей и у афтершоков, для которых были определены основные параметры плоскостей-сместителей (табл. 2), хотя направления падения этих плоскостей ориентированы в разные стороны. Оси основного сжимающего напряжения P во всех определенных механизмах имеют направление либо с северо-востока на юго-запад, либо с восток-северо-востока на запад-юго-запад, хотя их наклон изменяется. В целом направление сжимающего напряжения хорошо согласуется с общим упруго-напряженным состоянием земной коры Южного Сахалина, однако его наклон к горизонту, вероятно, является локальной особенностью данного землетрясения.

По всей видимости, Костромское землетрясение является реализацией упругих напряжений сжатия в земной коре Южного Сахалина, направленных в восток-северо-восточном направлении. Плоскость разрыва главного толчка субвертикальна и расположена вкрест основным геологическим структурам, в то время как афтершоки землетрясения, произошедшие под воздействием того же сжимающего напряжения, но на меньшей глубине, рабочими плоскостями направлены вдоль геологических структур и примерно совпадают с ослабленными зонами старых сейсморазрывов.

ВЫВОДЫ

1. Костромское землетрясение явилось результатом субвертикального взброса в условиях сжатия островной суши, направленного с запад-юго-запада на восток-северо-восток, с компонентой правостороннего сдвига.

2. Афтершоки землетрясения также произошли в условиях сжатия, однако направление подвижки менялось: если обобщенный механизм афтершоков первых суток примерно идентичен механизму главного толчка землетрясения, то обобщенный меха-

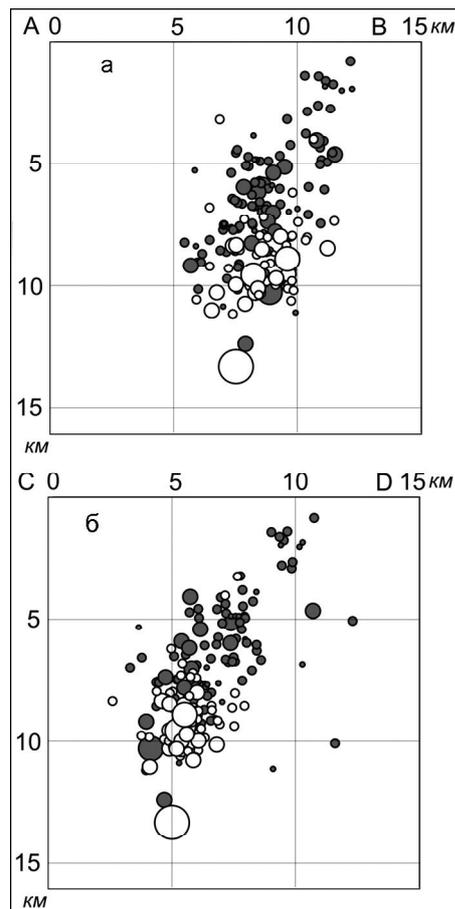


Рис. 6. Вертикальные разрезы очаговой области Костромского землетрясения по линиям АВ и CD (рис. 5).

низм афтершоков, произошедших в последующие недели после землетрясения, существенно отличается – рабочие плоскости как обобщенного механизма, так и отдельного афтершока имеют противоположное падение, а правосторонний сдвиг заменяется левосторонним.

3. Облако гипоцентров афтершоков землетрясения вытянуто в вертикальном направлении и слегка наклонено в верхней части на восток-юго-восток, что хорошо согласуется с плоскостью механизма главного толчка землетрясения, принятой за рабочую. Наблюдается развитие афтершокового процесса вверх.

4. Положение рабочих плоскостей механизмов двух афтершоков соответствует направлению выделенных вблизи эпицентральной зоны разрывных нарушений, возможно, афтершоки землетрясения происходили по лежащим на меньшей глубине ослабленным зонам старых сейсморазрывов.

5. Положение рабочей плоскости основного толчка не совпадает с направлением основных геологических структур данного района, хотя полученное

сжимающее напряжение хорошо соответствует общему упруго-напряженному состоянию земной коры юго-западного Сахалина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аптекман Ж.Я., Желанкина Т.С., Кейлис-Борок В.И. и др. Массовое определение механизмов очагов землетрясений на ЭВМ // Теория и анализ сейсмологических наблюдений. М.: Наука, 1979. С. 45–58. (Вычислительная сейсмология; Вып. 12).
2. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.
3. Мельников О.А. История формирования структуры Южного Сахалина в палеогене и неогене. М.: Наука, 1970. 170 с.
4. Мельников О.А. Геологические формации Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. Владивосток, 1988. 214 с.
5. Мишарина Л.А., Солоненко Н.В. О напряжениях в очагах слабых землетрясений Прибайкалья // Физика Земли. 1972. № 4. С. 24–36.
6. Поплавская Л.Н., Бобков А.О., Кузнецова В.Н. и др. Принципы формирования и состав алгоритмического обеспечения регионального центра обработки сейсмологических наблюдений (на примере Дальнего Востока) // Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. М.: Наука, 1989. С. 32–51. (Методические работы ЕССН).
7. Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В., Рудик М.И. Методика и первые результаты массовых определений механизмов очагов коровых землетрясений Дальнего Востока // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. М.: ОИФЗ РАН, 2001. С. 95–99.
8. Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В., Фокина Т.А. и др. Костромское землетрясение 30 мая 2004 года с $M_L=4.8$, $I_0=5-6$ (Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии, 2004. Обнинск: ГС РАН, 2010. С. 303–313.
9. Поплавский А. А., Куликов Е.А., Поплавская Л.Н. Методы и алгоритмы автоматизированного прогноза цунами. М.: Наука, 1988. 128 с.
10. Сафонов Д.А. Динамика сейсмичности Южного Сахалина на основе современных инструментальных и макросейсмических данных: Автореф. дис... канд. физ.-мат. наук. Южно-Сахалинск, 2008. 24 с.
11. Сейсмологические таблицы. М.: ИФЗ АН СССР, 1962. С. 75–80.
12. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974. 54 с.
13. Шебалин Н.В. Проблемы макросейсмологии. М. ГЕОС, 2003. 233 с. (Вычислительная сейсмология; Вып. 34).

Рекомендована к печати Б.В. Левиным