

Тувинское землетрясение 27.12.2011 г., $ML=6,7$ и его афтершоки

А. Ф. Еманов^{1,2}, А. А. Еманов^{1,2}, Е. В. Лескова^{1,2}, В. С. Селезнев^{2,3} и А. Г. Филина¹

Получено 17 февраля 2012 г.; опубликовано 29 февраля 2012 г.

Тувинское землетрясение 27.12.2011 г., $ML = 6,7$ – одно из крупнейших землетрясений Тувы. Сейсмичность хребта Академика Обручева за последние 50 лет невелика, а собственно эпицентральной зона практически асейсмична. При этом по данным сейсмогеологии потенциал района оценивался магнитудой 6,5 – 7. В комплексе карт ОСР-97 Каахемский разлом, на котором произошло землетрясение, указан как линеамент с максимально возможной магнитудой 7. Расчеты показывают, что интенсивность сотрясений в эпицентре составила 8 баллов. В целом сейсмическое воздействие на поселки и города не превышало нормативное по картам общего сейсмического районирования. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Тувинское землетрясение; афтершоки; Тыва; хребет Академика Обручева; механизм очага.

Ссылка: Еманов, А. Ф., А. А. Еманов, Е. В. Лескова, В. С. Селезнев и А. Г. Филина (2012), Тувинское землетрясение 27.12.2011 г., $ML=6,7$ и его афтершоки, *Вестник ОНЗ РАН*, 4, NZ2002, doi:10.2205/2012NZ000112.

Характеристики Тувинского землетрясения

27 декабря 2011 г. в 15 ч. 21 мин. 55.31 с по Гринвичу на территории Республики Тыва произошло землетрясение с магнитудой по шкале Рихтера $ML = 6,7$; $mb = 6,3$; $mB = 6,7$ (координаты эпицентра 51,82 с.ш., 95,93 в.д., глубина 17 км), эпицентр которого расположен в центральной части Восточно-Тувинского нагорья в районе хребта Академика Обручева. Протяженность хребта составляет около 250 км, наивысшая точка – 2895 м над уровнем моря. Он состоит из нескольких горных цепей более мелкого масштабного уровня и сложенных, главным образом, гранитами, кристаллическими сланцами и песчаниками. Эпицентр Тувинского землетрясения географически приурочен к хребту Час-Тайга.

За инструментальный период на территории Тывы произошло только одно (Бусингольское 27.12.1991 г.) землетрясение со сравнимой энергией ($Ms = 6,5$), вызвавшее пульсирующую сейсмическую активизацию, продолжающуюся до настоящего времени [Еманов и др., 2006, 2010a]. Тувинское землетрясение приурочено к зоне Каахемского глубинного разлома, который, имея в западной

части почти субширотное простирание, в восточной части меняет ориентировку на субмеридиональную [Парфеев и Саньков, 2006]. Эпицентр рассматриваемого землетрясения приурочен к участку смены простирания разлома (Рис. 1).

На Рис. 2 дана карта эпицентров землетрясений, зарегистрированных региональной сетью станций за весь инструментальный период до Тувинского землетрясения 2011 года. Хребет Академика Обручева за почти 50-летний период сейсмологических наблюдений характеризуется достаточно умеренной сейсмичностью, крупные землетрясения приурочены к пограничной области с Тоджинской впадиной. В зоне одного из них (31.08.1972 г., $mb = 5,6$) геологами были проведены палеосейсмогеологические исследования, позволившие обосновать максимально возможные здесь магнитуды в 6,5 – 7,0 [Аржанников и Зеленков, 1995].

Известные из литературных источников механизмы очагов четырех сильных землетрясений [Мострюков и Петров, 1994] (Рис. 2) характеризуются большой взбросовой компонентой сдвига.

К внутренним районам хребта Академика Обручева за период инструментальных наблюдений не было приурочено ни одного крупного землетрясения, а эпицентральной областью произошедшего в 2011 году землетрясения была практически асейсмична за последние более чем полвека (Рис. 2).

В соответствии с набором карт общего сейсмического районирования ОСР-97 [Уломов и Шумилина, 1999] Каахемский глубинный разлом выделен как линеамент с максимально возможной магнитудой $M = 7$. В этом плане рассматриваемое землетрясение вполне соответ-

¹Алтае-Саянский филиал Геофизической Службы СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

³Геофизическая Служба СО РАН, Новосибирск, Россия

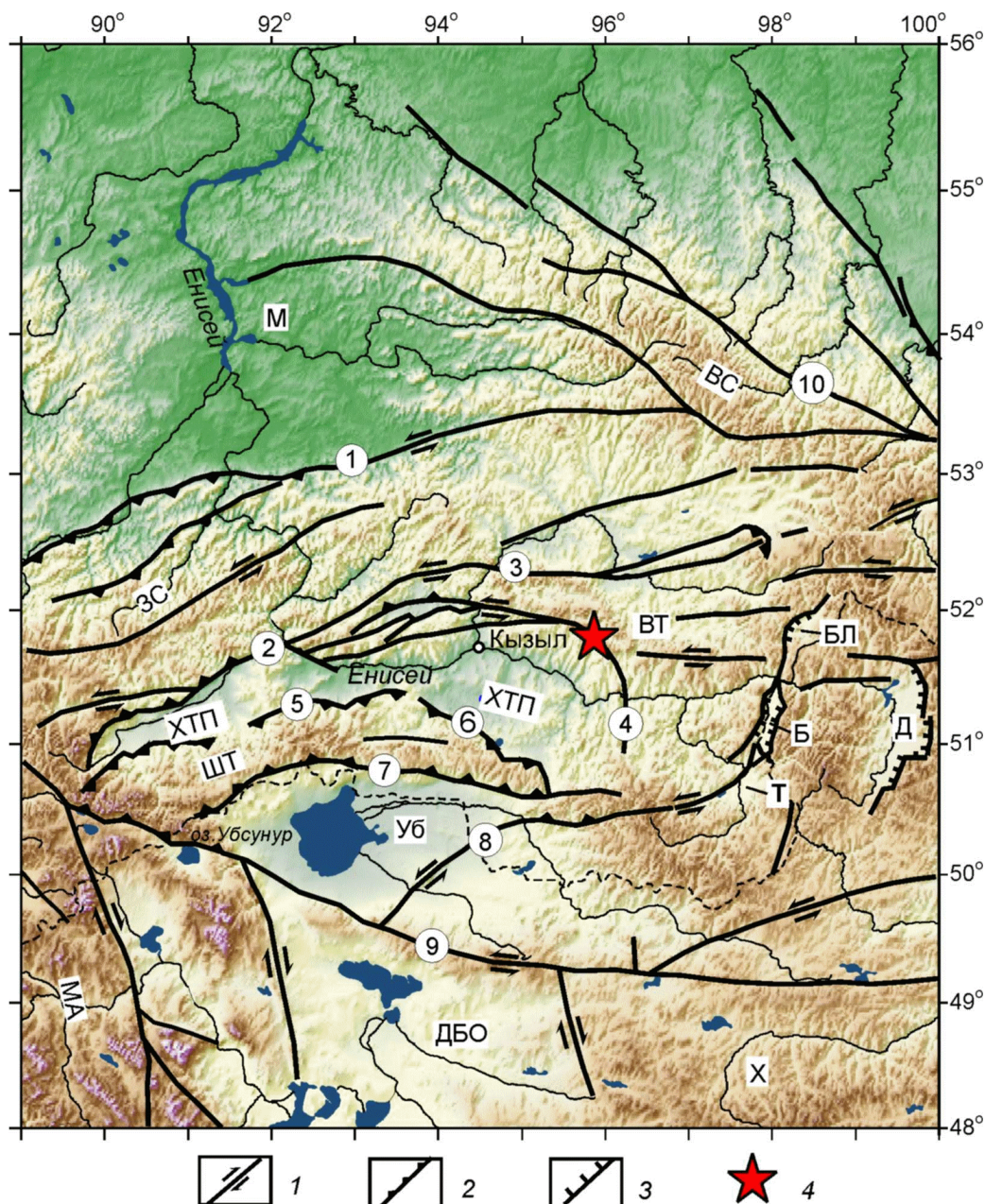


Рис. 1. Карта активных разломов Алтае-Саянской горной области (по [Парфеев и Саньков, 2006]) и положение эпицентра Тувинского землетрясения. 1 – сдвиги; 2 – взбросы; 3 – сбросы; 4 – эпицентр Тувинского землетрясения. Разломы (цифры в кружках): 1 – Минусинско-Кандатская система разломов; 2 – Саяно-Тувинский; 3 – Оттугтайгино-Азаский; 4 – Каахемский; 5 – Северо-Таннуольский; 6 – Восточно-Таннуольский; 7 – Южно-Таннуольский; 8 – Эрзино-Агардагский (Сангиленский); 9 – Хангайский (Болнайский); 10 – Главный Саянский. ВС – Восточный Саян; ЗС – Западный Саян. Впадины: Б – Бусингольская; Бл – Белинская; Д – Дархатская; ДБО – Долины больших озер; М – Минусинская; Т – Терехольская; УБ – Убсунурская; ХТП – Хемчикско-Тувинский прогиб. Поднятия: ВТ – Восточно-Тувинское; МА – Монгольского Алтая; Х – Хангайское; ШТ – Шапшальско-Таннуольское.

ствует представлениям о сейсмической опасности Республики Тыва.

Исследованию сеймотектоники рассматриваемого района была посвящена серия работ [Жалковский и

др., 1978; Масарский и Рейснер, 1971; Чернов, 1978]. По данным сейсмического районирования [Жалковский и др., 1978] район эпицентра Тувинского землетрясения 2011 года малосейсмичен и не попадает ни в одну из

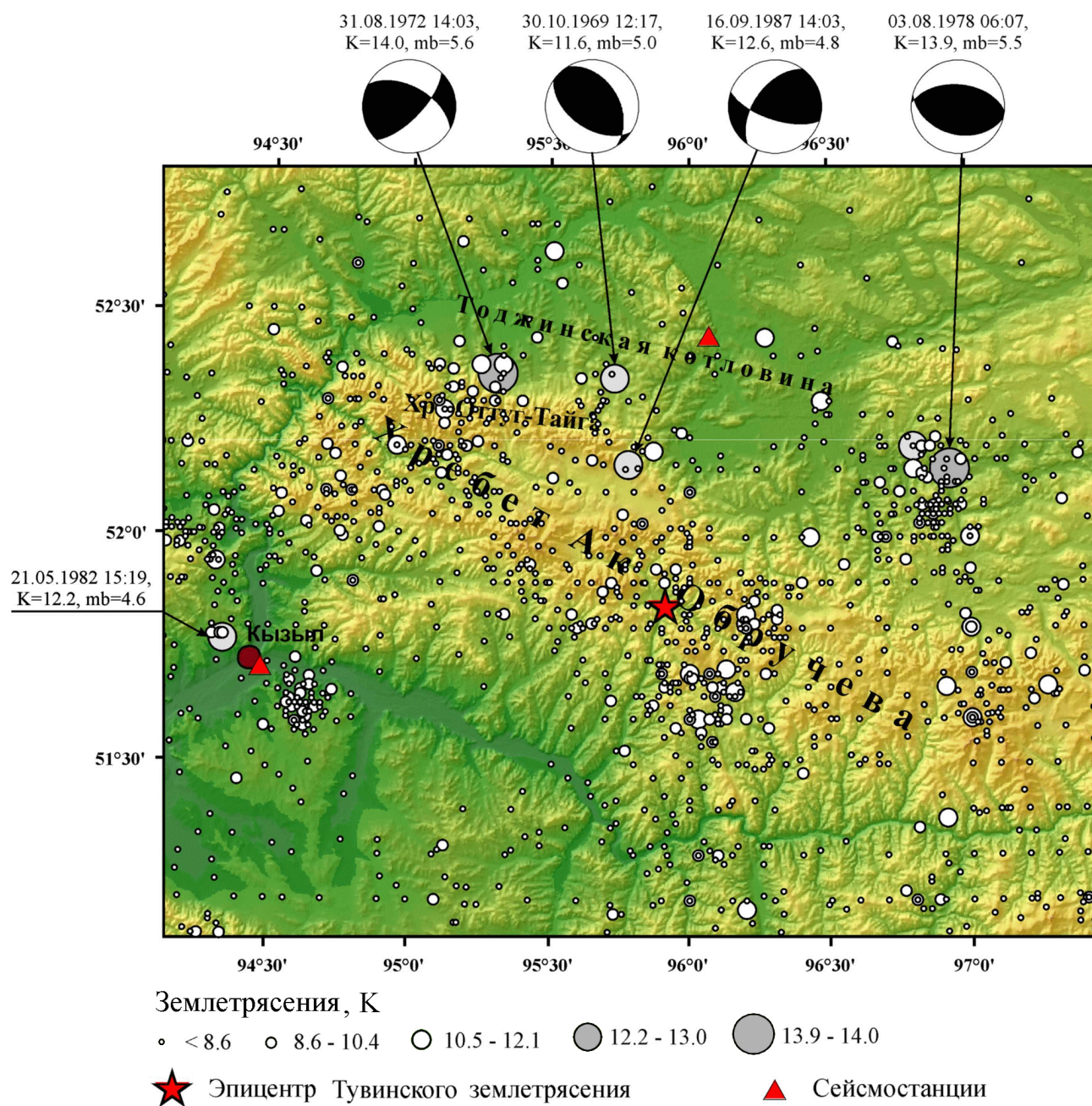


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений в районе хребта Академика Обручева за период 1963–2011 гг. и механизмы очагов некоторых сильных событий.

сейсмически активных зон. В работе [Масарский и Рейснер, 1971] отмечено, что территория Западного Саяна и хребта Академика Обручева характеризуется существенно пониженными скоростями поднятия относительно Алтая и Байкальской рифтовой зоны, чем и объясняется меньшая сейсмическая активность данного региона.

На карте сейсмогенов Тувы и Западного Саяна [Чернов, 1978] по данным сейсмогеологии по минимальному количеству данных выделен Каахемский сейсмоген,

в пределах которого и произошло Тувинское землетрясение 2011 года (Рис. 3), что показывает правильность выделения элемента. После публикации карты сейсмогенов Тувы на данной территории произошло два крупных землетрясения: Бусингольское 27.12.1991, $M_s = 6,5$ и Тувинское 27.12.2011, $M_L = 6,7$, и оба в выделенных сейсмогенах: Аржанском и Каахемском.

На Рис. 4 представлена карта афтершоков Тувинского землетрясения. Параметры семи сильных землетрясений ($M_L \geq 5,2$) и механизмы их очагов приведены в Табл. 1

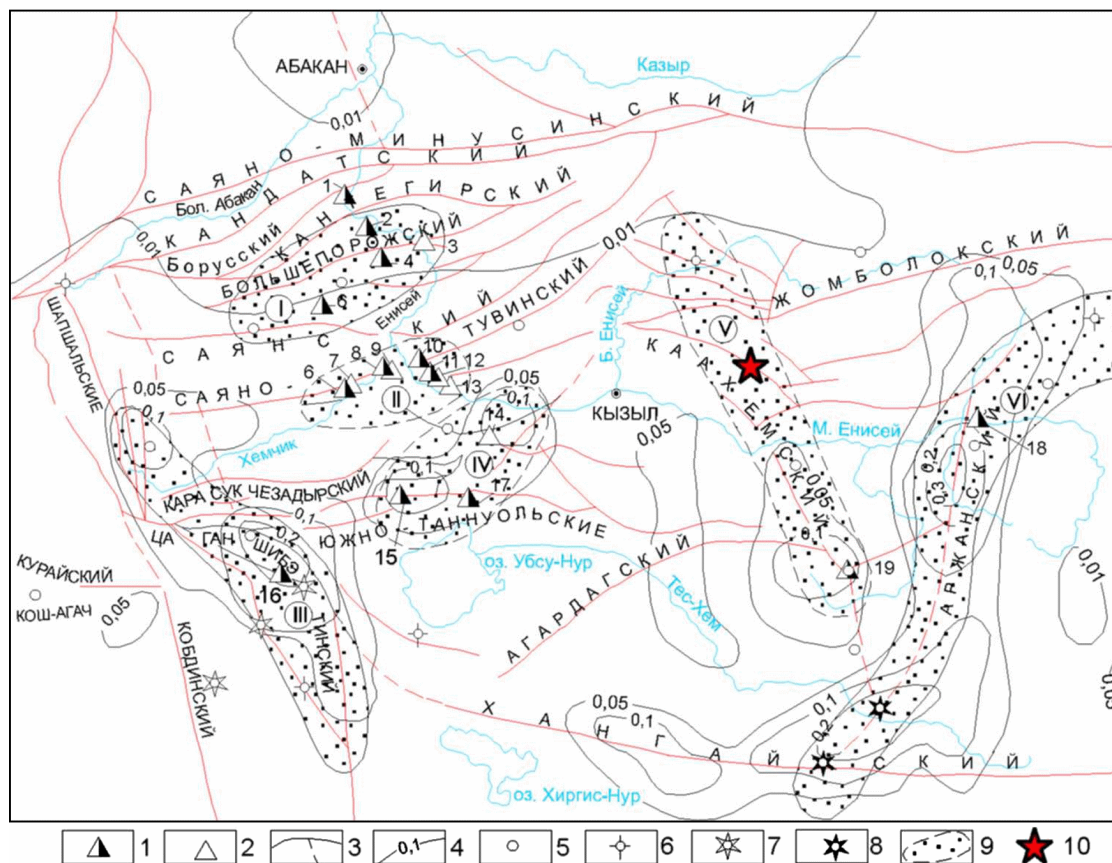


Рис. 3. Сейсмогены Тувы и Западного Саяна (по [Чернов, 1978]) Неотектонические структуры: 1 – палеосейсмодислокации и другие структуры, образование которых связывается с землетрясениями; 2 – неотектонические структуры разного возраста, образование которых могло сопровождаться палеоземлетрясениями. Цифрами на карте обозначены структуры: Джой (1), Пашкина (2), Большой порог (3), Голая (4), Такпан (5), Алды-Ишкин (6), Шеле (7), Танмалык (8), Шанчи-надвиг (9), Уттуг-Дуруг (10), Чинге (11), Тостык (12), Эйлиг-Хем (13), Морук (14), Чалама (15), Мугур-Аксы (16), Кадвой (17), Уш-Бельдир (18), Каргы (19); 3 – новейшие разломы; 4 – изолинии сейсмической активности (по [Жалковский и Мучная, 1975]. 5–8 – Эпицентры сильных землетрясений: 5 – $K = 13$; 6 – $K = 14$; 7 – $K = 16$; 8 – $K \geq 18$; 9 – выделенные сейсмогены: I – Западно-Саянский, II – Саяно-Тувинский, III – Цаган-Шибэтинский, IV – Коргалыкский, V – Каахемский, VI – Аржанский; 10 – эпицентр Тувинского землетрясения 2011 г.

Табл. 1. Основные параметры главного толчка и сильных афтершоков ($M_L \geq 5,2$) Тувинского землетрясения за период 27 декабря 2011 г.–16 января 2012 г.

	Дата	Время	Широта, град.	Долгота, град.	H , км	M_L	m_b	m_B	K	DMN	RMS, сек
1	27.12.2011	15:21:55	51,82	95,93	17	6,7	6,3	6,7	14,8	71	0,07
2	28.12.2011	00:40:31	51,87	95,93	17	5,6	5,1	5,3	13,1	66	0,17
3	28.12.2011	04:23:39	51,81	95,93	17	5,4	5,0	5,1	13,0	72	0,15
4	04.01.2012	13:08:11	51,73	96,00	13	5,3	4,8	–	12,6	81	0,10
5	09.01.2012	18:55:28	51,66	95,96	14	5,2	4,8	–	13,0	88	0,07
6	09.01.2012	19:33:07	51,66	95,96	12	5,3	4,8	–	13,0	89	0,10
7	16.01.2012	05:13:36	51,71	96,01	13	5,4	5,1	5,1	13,3	83	0,23

H – глубина; K – энергетический класс; DMN – расстояние до ближайшей станции, км; RMS – средне-квадратическая невязка по времени. Обозначения магнитуд приведены в соответствии с рекомендациями IASPEI (http://www.iaspei.org/commissions/CSOI/Summary_WG-Recommendations_20110909.pdf).

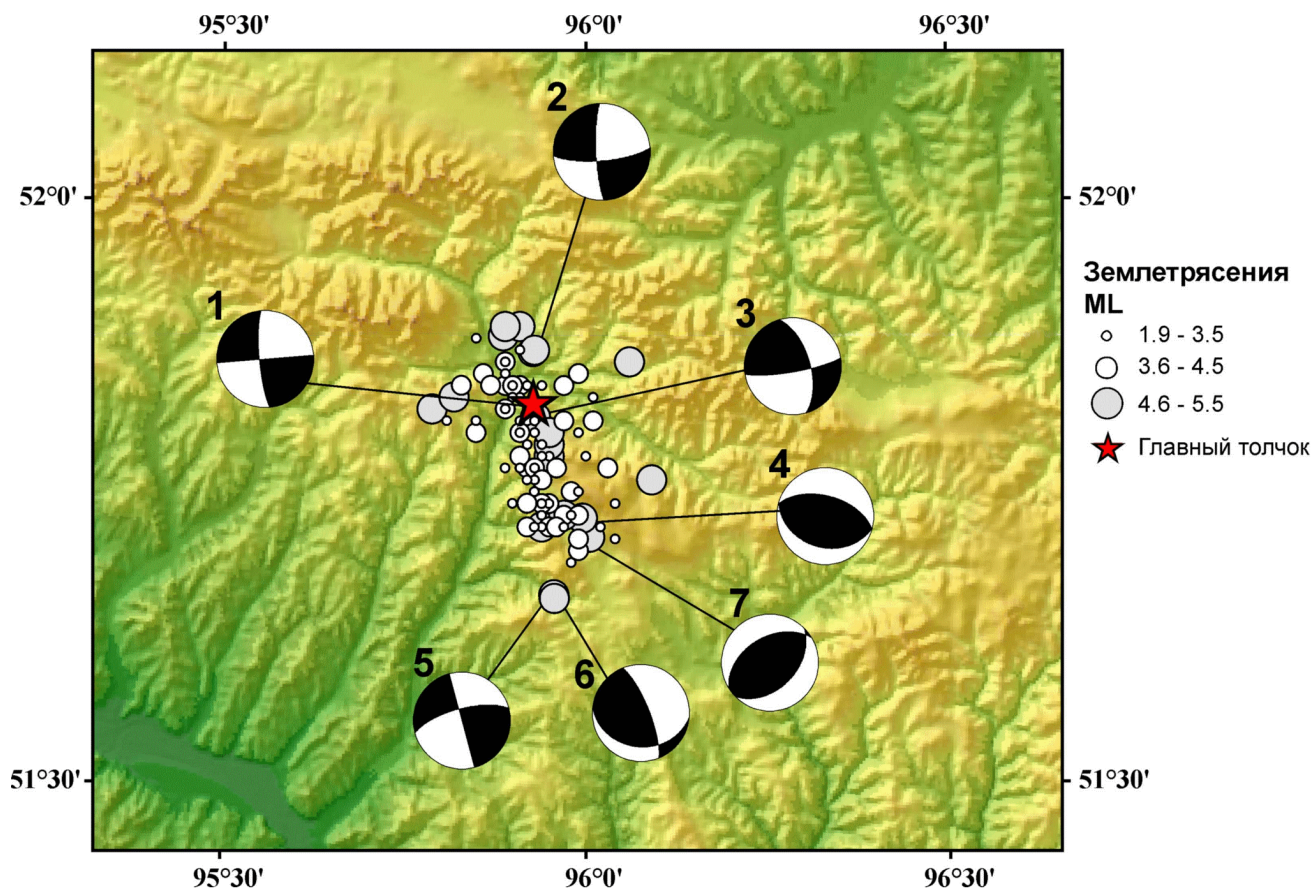


Рис. 4. Тувинское землетрясение и его афтершоки за период 27 декабря 2011 г.–16 января 2012 г. Цифрами обозначены номера землетрясений в Табл. 1 и Табл. 2.

и Табл. 2 соответственно. Механизм главного события с учетом простирания Каахемского разлома в этой зоне – правый сдвиг с подвижкой по субмеридиональной плоскости. На основе реконструкции полей тектонических

напряжений по геологическим данным [Парфеевец и Саньков, 2006] Каахемский разлом характеризуется сдвиговым режимом, что соответствует механизму главного события.

Табл. 2. Параметры механизмов очагов главного толчка и сильных афтершоков ($ML \geq 5, 2$) Тувинского землетрясения за период 27 декабря 2011 г.–16 января 2012 г.

NFM		Нодальные плоскости						Оси напряжений			
		NP1			NP2			P (сжатия)		T (растяжения)	
		STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	AZM	PL	AZM	PL
1	38	85	90	−10	175	80	−180	40	7	130	7
2	21	85	75	−10	178	80	−165	42	18	311	4
3	22	80	80	30	344	61	168	209	13	306	28
4	17	105	35	90	285	55	90	15	10	195	80
5	19	345	90	−160	255	70	0	212	14	118	14
6	18	95	30	30	338	76	117	48	26	279	52
7	26	45	45	80	239	46	100	322	0	229	83

NFM – число станций, участвовавших в определении механизма очага; STK – простирание; DP – погружение; SLIP – подвижка; AZM – азимут; PL – погружение.

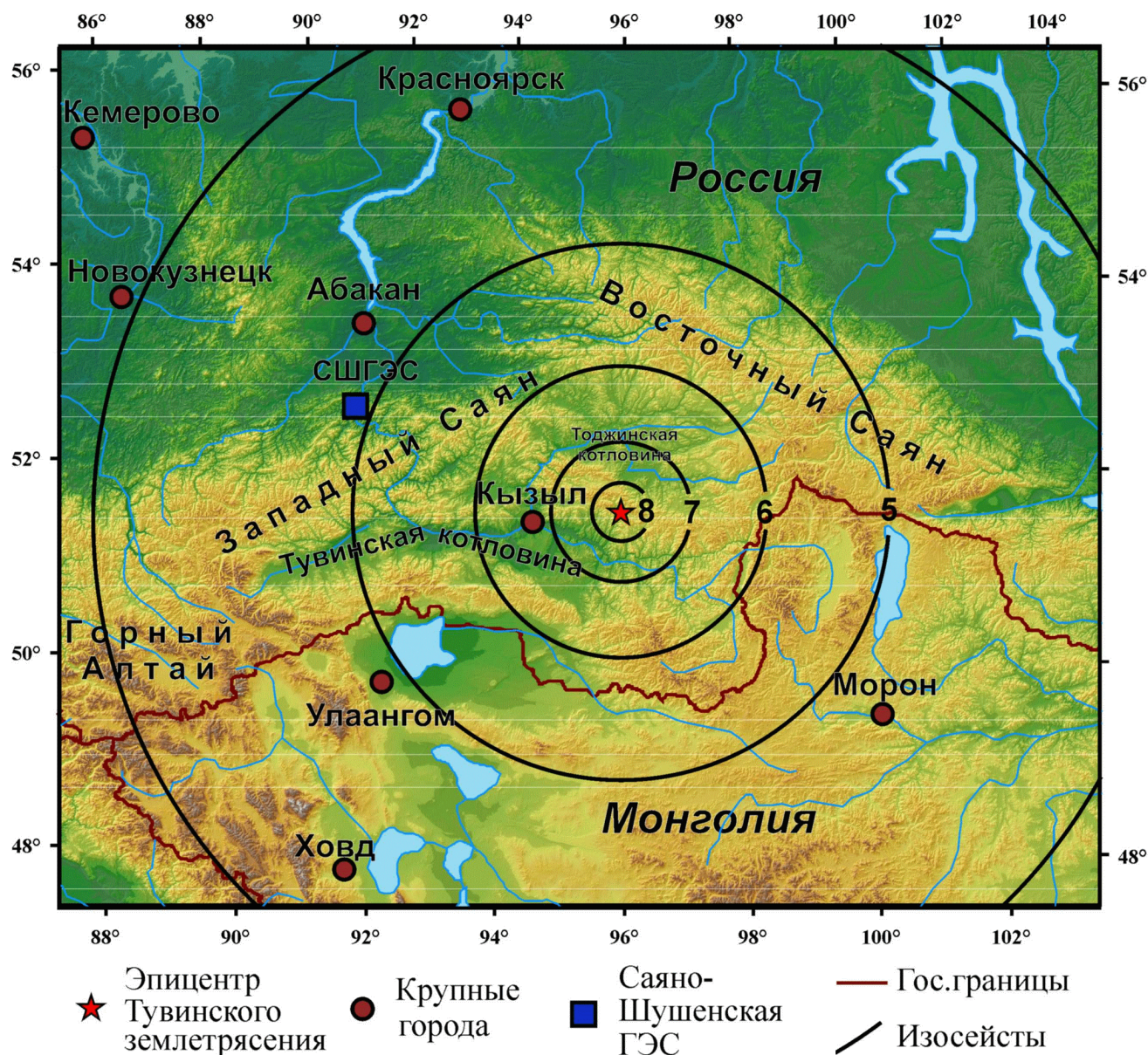


Рис. 5. Карта изосейст Тувинского землетрясения. Расчеты по макросейсмическому уравнению для глубины очага 17 км и магнитуды $M_L = 6, 7$.

Пространственно часть афтершоков выстраивается в линию субмеридионального простираения вдоль Каахемского разлома. Севернее эпицентра главного толчка географически расположена долина, в которую стекаются реки с разных сторон. Вероятно, это узел пересечения Каахемского глубинного разлома с целой серией разноориентированных разрывных нарушений более мелкого иерархического уровня. В этой зоне наблюдается распространение сейсмичности по линиям поперек основной активизации. С юга афтершоковая область завершается двумя одиноко стоящими событиями, которые произошли позднее большинства других афтершоков и практи-

чески в одном месте (номера 5 и 6 в Табл. 1), что, скорее всего, является свидетельством пространственных изменений в развитии афтершокового процесса.

Фокальные механизмы также были рассчитаны для 6 афтершоков с $M_L \geq 5, 2$. Наиболее близкие к эпицентру главного толчка сильные афтершоки характеризуются сдвиговыми подвижками по разлому, а на южном окончании афтершоковой зоны в очагах некоторых сильных событий доминируют вертикальная составляющая сдвига.

Одним из важнейших вопросов является интенсивность сотрясений территории при Тувинском землетря-

сении. Приближенные оценки можно сделать, используя макросейсмическое уравнение Шебалина [Шебалин, 1961, 1997] с коэффициентами (1), хорошая точность которых для Алтае-Саянской горной области подтверждена в работе [Жалковский и Мучная, 1975]:

$$I = 1,5M - 3,5 \log \sqrt{\Delta^2 + h^2} + 3 \quad (1)$$

В соответствии с расчетами только в незначительной по площади эпицентральной зоне сотрясаемость могла превысить 8 баллов по шкале МСК-64 (Рис. 5). Семибалльная зона охватывает населенные пункты по реке Каа-Хем и часть населенных пунктов в Тоджинской впадине. Город Кызыл находится между изосейстами 6 и 7 баллов. В четырехбалльную зону попадают города Красноярск и Абакан, а также Саяно-Шушенская ГЭС.

Сделанные расчеты являются приблизительными и не учитывают особенности местных условий рассматриваемой территории. Более точная информация о изосейстах будет получена после проведения обследований на местности. Предварительные расчеты сотрясений указывают на неверную информацию о Тувинском землетрясении в средствах массовой информации, когда объявлялась то магнитуда 9,5 по шкале Рихтера, то интенсивность 9,5 балла по шкале МСК-64. Ни то, ни другое утверждения не совпадают с полученными оценками энергетических характеристик Тувинского землетрясения.

Обсуждение результатов

Тувинское землетрясение 2011 года произошло на участке хр. Академика Обручева, где более чем за полвека зафиксировано небольшое количество слабых землетрясений, но в то же время по данным сейсмогеологии сейсмический потенциал этого места оценивался магнитудой 7. Данное землетрясение не нарушило представлений о максимальной энергии землетрясений в хребте Академика Обручева, но Тувинское землетрясение напомнило, что в горах Западного Саяна и хребта Академика Обручева на фоне слабой сейсмичности возникают крупнейшие землетрясения. В такой ситуации для прогноза землетрясений важно изучать сейсмичность района по землетрясениям малых энергий. На сегодняшний день в Туве проводится представительная регистрация землетрясений по части территории с пятого энергетического класса, а по части только с шестого энергетического класса [Еманов и др., 2010б]. Необходимо для данного района увеличивать число станций для изучения сейсмического процесса на уровне четвертого энергетического класса, поскольку информация о слабых сейсмических событиях может дать представление о происходящих тектонических процессах за короткие временные промежутки.

Выводы

- Тувинское землетрясение 27.12.2011 г., $M_L = 6,7$, произошло в хребте Академика Обручева в зоне Каахемского разлома, являющегося по картам ОСР-97 линеamentом с максимально возможной магнитудой 7,0 [Уломов и Шумилина, 1999] и, соответственно, сейсмическое воздействие на поселки и города не превышало нормативное по картам общего сейсмического районирования.
- Сейсмичность области эпицентра за все время существования сети станций очень мала, а для хребта Академика Обручева было зарегистрировано наиболее сильное землетрясение с магнитудой 5,6. Тувинское землетрясение 2011 года – уникальное по энергии землетрясение в данном регионе и является подтверждением высокого сейсмического потенциала этой территории.
- Сейсмогеологическими исследованиями прошлых лет [Чернов, 1978] выделена Каахемская сейсмогенная зона, в пределах которой произошло Тувинское землетрясение 2011 года. Произошедшее землетрясение в очередной раз подтверждает эффективность комплекса сейсмологии и сейсмогеологии.

Литература

- Аржанников, С. Г., П. Я. Зеленков (1995), Сильные палеоземлетрясения хребта Академика Обручева (Восточная Тува), *Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии*, Вып. 2–3, Москва, ОИФЗ РАН, 323–330.
- Еманов, А. Ф., А. А. Еманов, А. Г. Филина, Е. В. Лескова, Ю. И. Колесников, А. Д. Рудаков (2006), Общее и индивидуальное в развитии афтершоковых процессов крупнейших землетрясений Алтае-Саянской горной области, *Физическая мезомеханика*, 9, 1, 33–43.
- Еманов, А. Ф., А. А. Еманов, Е. В. Лескова (2010а), Сейсмические активизации в Белино-Бусингольской зоне, *Физическая мезомеханика*, 13, 6, (Специальный выпуск), 154–165.
- Еманов, А. Ф., Е. В. Лескова, А. Г. Филина, А. А. Еманов, А. В. Фатеев (2010б), Алтай и Саяны, 2004 год, *Землетрясения Северной Евразии*, Обнинск, ГС РАН, 142–152.
- Жалковский, Н. Д., В. И. Мучная (1975), Некоторые результаты макросейсмических исследований сильных землетрясений Алтае-Саянской области, *Сейсмичность Алтае-Саянской области*, Новосибирск, Изд-во ИГиГ СО РАН, 28–41.
- Жалковский, Н. Д., Г. А. Чернов, В. И. Мучная (1978), Сейсмическое районирование территории Алтае-Саянской горной области, *Сейсмогеология восточной части Алтае-Саянской горной области*, Новосибирск, Наука, 79–90.
- Масарский, С. И., Г. И. Рейснер (1971), *Новейшие тектонические движения и сейсмичность Западного Саяна и Западной Тувы*, Москва, Наука, 154.
- Мострюков, А. О., В. А. Петров (1994), *Каталог механизмов очагов землетрясений (1964–1990)*, Материалы мирового центра данных Б,
- Парфеев, А. В., В. А. Саньков (2006), *Напряженное состояние земной коры и геодинамика юго-западной части Байкальской рифтовой зоны*, Новосибирск, ГЕО, 151.

- Уломов, В. И., Л. С. Шумилина (1999), *Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка*, Москва, ОИФЗ РАН, 57.
- Чернов, Г. А. (1978), К изучению сейсмогеологии и неотектоники Алтае-Саянской горной области, *Сейсмогеология восточной части Алтае-Саянской горной области*, Новосибирск, Наука, 6–27.
- Шебалин, Н. В. (1961), Балльность, магнитуда и глубина очага землетрясений, *Землетрясения в СССР*, Москва, Изд-во АН СССР, 126–138.
- Шебалин, Н. В. (1997), *Сильные землетрясения. Избранные труды*, Москва, Изд-во Академии горных наук, 542.
-
- А. А. Еманов, А. Ф. Еманов, Е. В. Лескова и А. Г. Филина, Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Новосибирск, Россия. (Emanov@gs.nsc.ru)
- В. С. Селезнев, Геофизическая Служба СО РАН, Новосибирск, Россия.