

III.2. Наблюдения временными сетями

III.2.1. Тувинские землетрясения

27.12.2011 г. с $M=6.6$ и 26.02.2012 г. с $M=6.7$

*А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Е.В. Лескова,
А.В. Фатеев, В.Г. Подкорытова,
Я.Б. Радзиминович, Н.А. Гилёва,
О.К. Масальский, В.И. Лебедев*

27 декабря 2011 г. в 15^h21^m на территории Республики Тыва в районе хребта Академика Обручева произошло землетрясение с $M (MS)=6.6$. Протяженность хребта составляет около 250 км, наивысшая точка – 2895 м над уровнем моря, состоит из нескольких горных цепей меньшего масштабного уровня, сложенных главным образом гранитами, кристаллическими сланцами и песчаниками. Эпицентр находился в районе хребта Час-Тайга, вдоль которого протянулся Каахемский разлом. Землетрясение сопровождалось большим числом афтершоков [Еманов и др., 2012].

26 февраля 2012 г. в 06^h17^m на южном окончании афтершоковой области, сформировавшейся после декабрьского землетрясения, произошло новое сильное землетрясение с $M (MS)=6.7$, изменившее как энергетические, так и пространственные характеристики общего афтершокового процесса для данной пары крупнейших землетрясений.

За почти полувековой период инструментальных сейсмологических наблюдений на территории Тувы 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].

Тувинские землетрясения 2011–2012 гг. приурочены к зоне Каахемского глубинного разлома, который, имея в западной части почти субширотное простирание, в восточной части меняет ориентацию на субмеридиональную [Аржанников, 2003]. Эпицентр первого из них находился на участке смены простирания разлома (рис. III.12).

На рис. III.12 приведена карта эпицентров землетрясений 1963–2011 гг., зарегистрированных региональной сетью станций за весь инструментальный период до Тувинских землетрясений. Сейсмичность хребта Академика Обручева в эти годы была умеренной, крупные землетрясения были приурочены к области, граничащей с Тоджинской впадиной. В зоне одного из них (31.08.1972 г., $M=5.5$) были проведены палеосейсмогеологические исследования, позволившие обосновать максимально возможные здесь магнитуды $M_{\max}=7.0$ [Аржанников, Зеленков, 1995].

Известные из литературных источников механизмы очагов четырех сильных землетрясений указанного периода (1963–2011 гг.) [Мострюков, Петров, 1994] характеризуются большой взбросовой компонентой сдвига. За период инструментальных наблюдений к внутренним районам хребта Академика Обручева не было приурочено ни одного крупного землетрясения, а эпицентральная область произошедших в 2011–2012 гг. сильных землетрясений была практически асейсмична более чем 50 лет (рис. III.12). Анализ структуры Каахемского разлома [Аржанников, 2003] показал, что в районе эпицентра Тувинского-I землетрясения (27.12.2011 г.) он представляет собой единый разрыв со сдвиговыми смещениями, а в районе эпицентра Тувинского-II землетрясения (26.02.2012 г.) он распадается на серию сближенных субмеридиональных нарушений, контролирующих горстовую структуру хребта Ыдык.

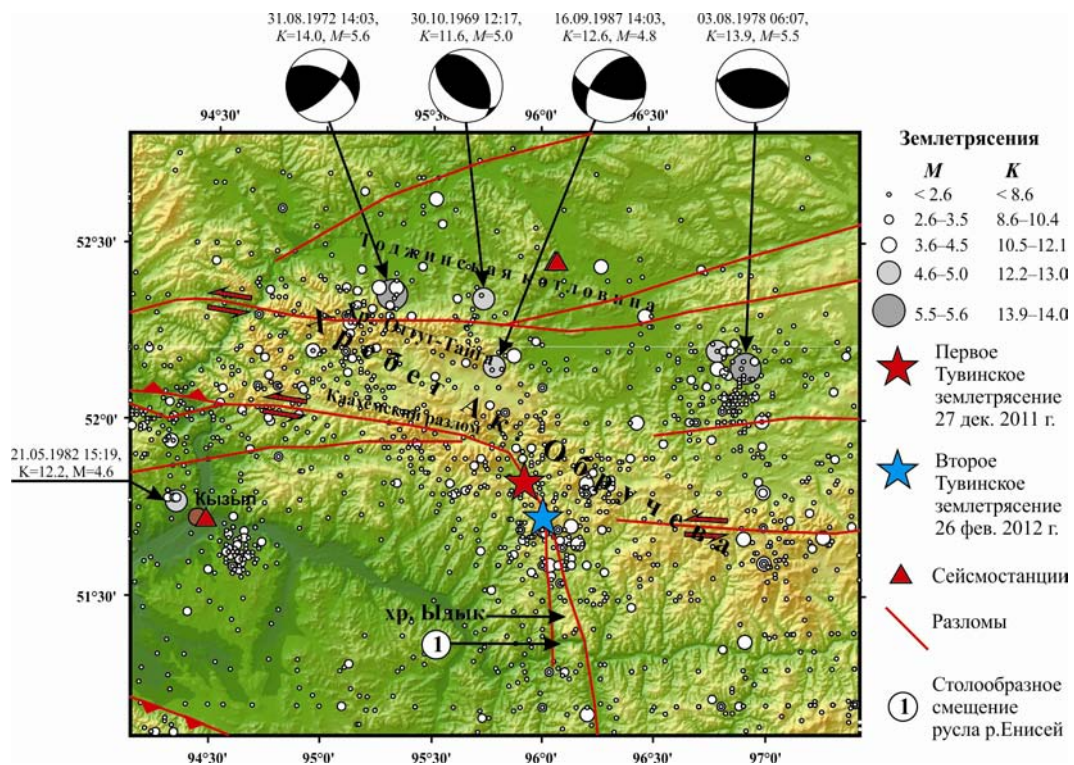


Рис. III.12. Карта эпицентров землетрясений в районе хребта Академика Обручева с 1963 по 2011 г. и положение Тувинских землетрясений 2011–2012 гг.

Экспериментальные данные об афтершоках Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. в виде неполного каталога предварительной обработки проанализированы в работах [Еманов и др., 2012; Никонов и др., 2012]. Параметры наиболее сильных афтершоков 2011 г. представлены в каталоге землетрясений Алтае-Саянского региона (см. раздел IV). Более полный каталог землетрясений в этой зоне за 2011–2012 гг. будет представлен в ежегоднике «Землетрясения России в 2012 году».

В данной статье приведены основные черты развития афтершокового процесса в очаговой зоне Тувинских землетрясений по данным стационарных и временных сейсмических станций (рис. III.13). Временная сеть из шести сейсмических станций, уставленных с радиусом в несколько десятков километров от эпицентра, была развернута в эпицентральной зоне на период с 9 февраля по 12 марта 2012 года. За это время было зарегистрировано более 10 тыс. повторных толчков.

На рис. III.14 представлена карта афтершоков Тувинского-I землетрясения (27 декабря 2011 г. – 26 февраля 2012 г.). Механизм главного события с учетом геологических данных о Каахемском разломе – правосторонний сдвиг с подвижкой по субмеридиональной плоскости. Пространственно часть афтершоков выстраивается в линию субмеридионального простирания вдоль Каахемского разлома. Севернее эпицентра главного толчка расположена долина, в которую стекаются реки с разных сторон. Вероятно, это узел пересечения Каахемского глубинного разлома с целой серией разно ориентированных разрывных нарушений более мелкого иерархического уровня. В этой зоне наблюдается распределение сейсмичности по линиям вкрест основной активизации. Развитие афтершокового процесса в северном направлении пространственно ограничено и менее выражено, по сравнению с южным направлением. С юга афтершоковая область вытянута от эпицентра главного землетрясения вдоль Каахемского разлома. Фокальные механизмы определены для семи афтершоков с $M_L \geq 5.2$ (рис. III.14). Наиболее близкие к эпицентру главного события сильные афтершоки (№ 1–3 на карте) характеризуются сдвиговыми перемещениями по разлому, а на южном окончании афтершоковой зоны в очагах сильных событий доминирует вертикальная составляющая сдвига, тип движения – взброс.

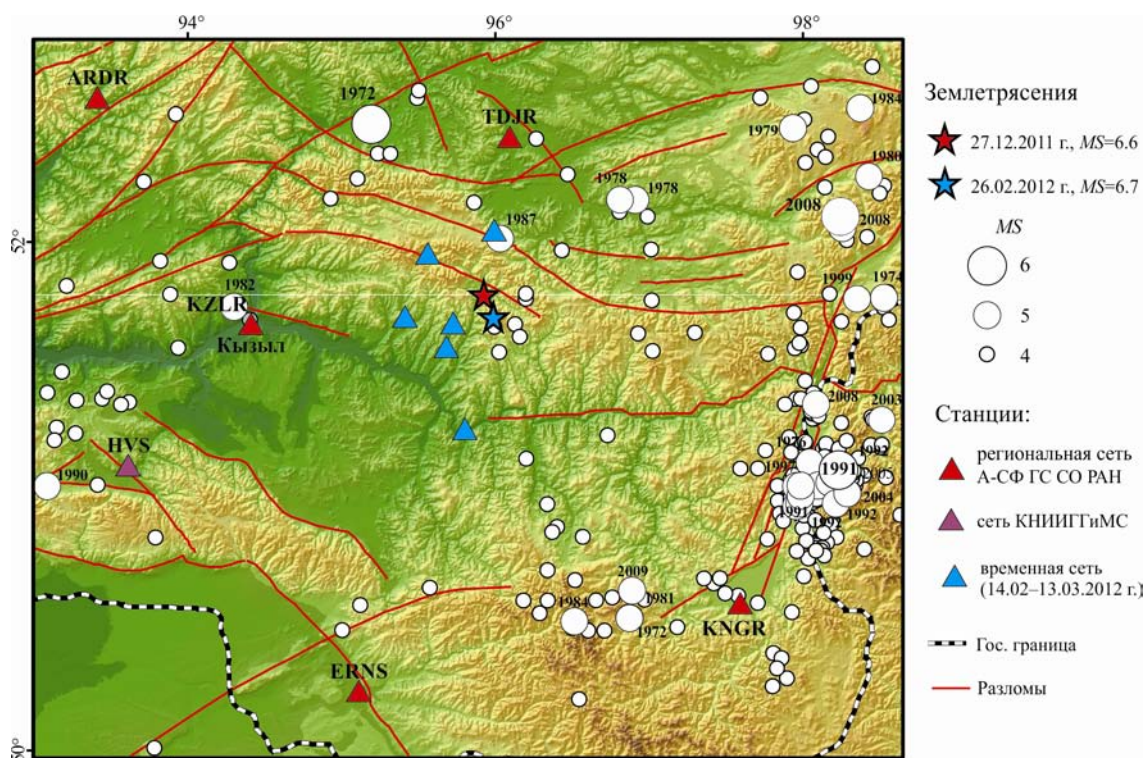


Рис. III.13. Расположение стационарных и временных сейсмических станций в эпицентральной зоне Тувинских землетрясений.

Цифрами показаны даты наиболее крупных землетрясений (с $M_S \geq 4$) за инструментальный период наблюдений

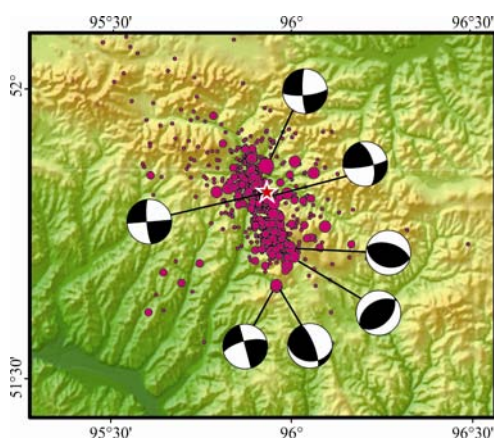


Рис. III.14. Тувинское-I землетрясение и афтершоковый процесс до 26.02.2012 г.

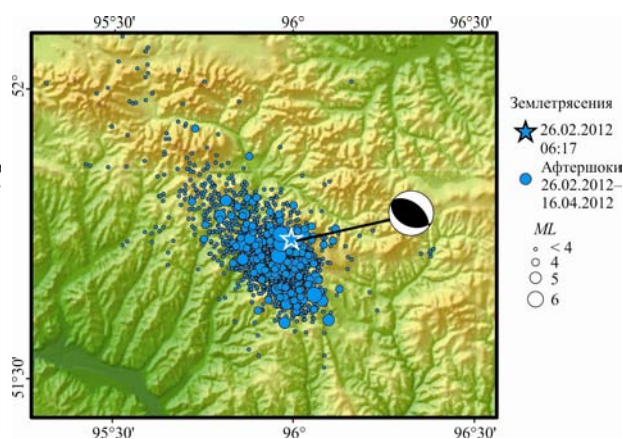


Рис. III.15. Тувинское-II землетрясение и афтершоковый процесс до 06.03.2012 г.

Подобный механизм имеет и Тувинское-II землетрясение, которое приурочено к южному флангу области афтершокового процесса Тувинского-I землетрясения и к северному окончанию хребта Ыдык. На рис. III.15 представлена карта эпицентров афтершоков Тувинского-II землетрясения за период 26 февраля – 6 марта 2012 года. Важно отметить, что механизм очага февральского землетрясения описывается взбросом. После этого землетрясения происходят кардинальные изменения в пространственной структуре афтершокового процесса. Сравнивая карты эпицентров афтершоков на рис. III.14 и III.15, можно заметить, что, наряду с распространением афтершокового процесса в южном направлении, наблюдается еще и появление области активизации с западной стороны. Она представляет собой сублинейную зону, под острым углом примыкающую к основной линейной зоне афтершокового процесса.

Для понимания процессов в эпицентральной зоне двух сильных Тувинских землетрясений воспользуемся описанием структуры Каахемского разлома в этой области [Аржанников, 2003]. Субширотный разлом в виде дуги распространяется на юго-восток и после разворота распадается на серию сближенных субмеридиональных нарушений, контролирующих горстовую структуру хребта Ыдык. По геологическим данным, движения вдоль разлома на кайнозойском этапе активизации характеризуются в основном левосторонними сдвигами. В районе хребта Ыдык по геологическим данным происходит изменение типа подвижек – появляются взбросы. По двум субпараллельным разломам хребет Ыдык выдавливается в виде клина и смещается к северу.

Неоднородность зоны афтершокового процесса хорошо видна на карте плотности афтершоков обоих Тувинских землетрясений с $M \geq 3.0$, рассчитанной в узлах сетки 1×1 км (рис. III.16).

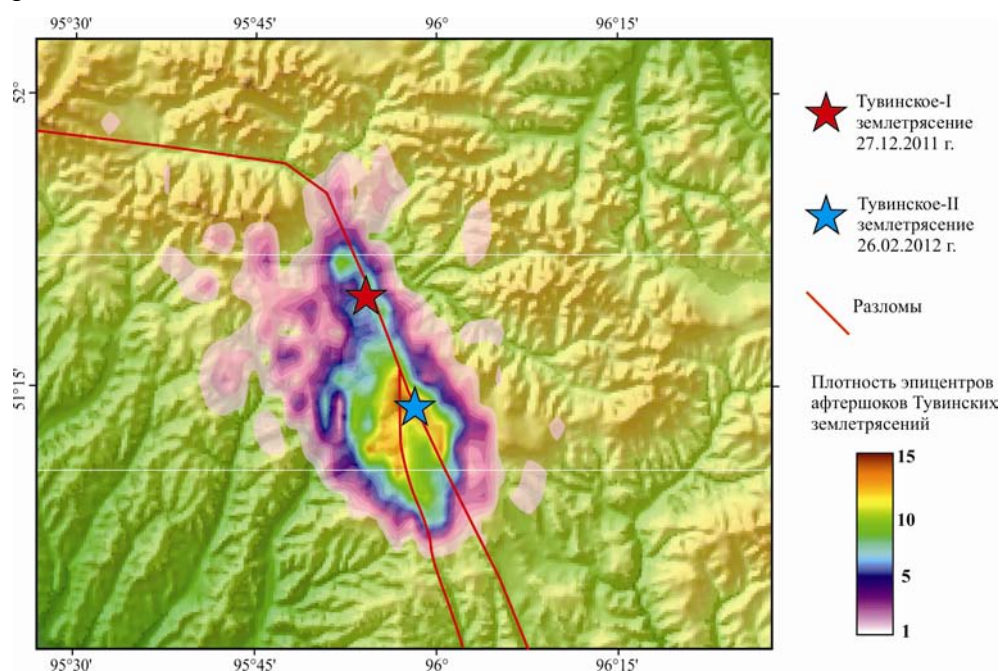


Рис. III.16. Карта плотности эпицентров афтершоков Тувинских землетрясений

В области между эпицентрами двух Тувинских землетрясений (рис. III.16) отчетливо прослеживается активизированная зона Каахемского разлома. Южнее эпицентра февральского землетрясения наблюдается существенное разветвление афтершокового процесса. Скопления событий приурочены к выраженным в рельефе тектоническим нарушениям. Зона максимальной плотности эпицентров землетрясений распадается в южном направлении на две практически параллельные области. После Тувинского-I землетрясения 2011 г. активизировалась узкая зона Каахемского разлома с ограничивающими процесс с севера поперечными разломами, а после Тувинского-II землетрясения 2012 г. наиболее сильно активизировались грани клинообразного окончания хребта Ыдык.

На рис. III.17 представлен график изменения во времени суточной суммарной сейсмической энергии. После первого события суточная суммарная энергия понижалась ступенчато. Выделяется три ступени в понижении энергии афтершокового процесса. Второе событие вызвало усиление афтершокового процесса и медленное понижение его энергетического уровня со временем.

Для Тувинских землетрясений выполнены макросейсмические обследования, результаты которых представлены на рис. III.18. Энергия землетрясений сопоставима и изосейсты имеют близкую конфигурацию. Интенсивность сотрясений, вызванная вторым событием, чуть больше, чем первым. Изосейсты представляют из себя эллипсы с вытянутой осью по направлению с юга-востока на северо-запад.

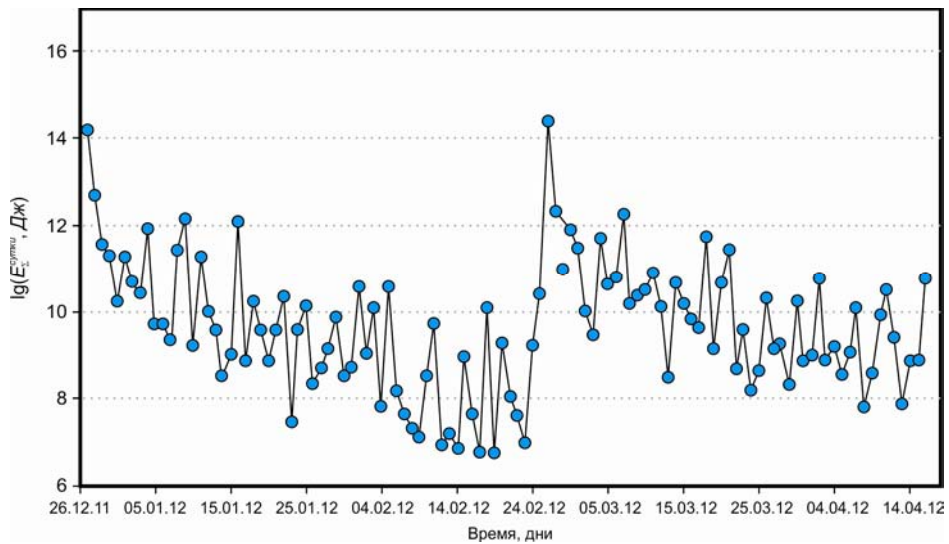


Рис. III.17. Изменение во времени суммарной сейсмической энергии за сутки в эпицентральной зоне Тувинских землетрясений

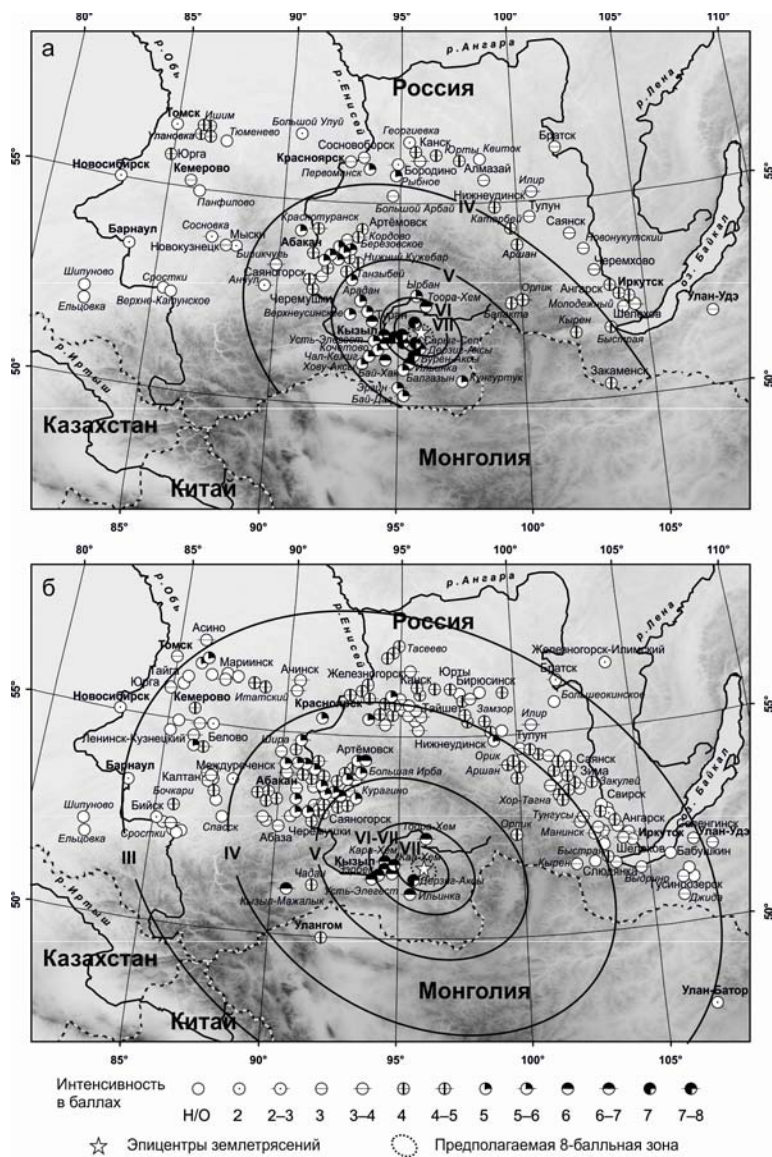


Рис. III.18. Карты изосейст Тувинских землетрясений: а – 27.12.2011 г., б – 26.02.2012 г.

Для макросейсмических построений информация была получена различным образом. Для декабрьского землетрясения основным источником для построений явились макросейсмические данные, собранные в эпицентральной области отрядом сотрудников А-СФ ГС СО РАН, выполнявшим осмотр строений в поселках и опрос населения. Для февральского события сбор информации осуществлялся совместно с БФ ГС СО РАН через опросные листы с использованием возможностей Интернета и через региональное подразделение МЧС (г. Красноярск).

Результаты

По результатам предварительных исследований афтершоков Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. сделаны следующие выводы.

Ведущую роль в создании критического напряженного состояния в эпицентральной зоне Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. сыграл процесс медленного выдавливания клинообразного хребта Ыдык к северу.

Тувинское-I землетрясение 27.12.2011 г., обусловленное правосторонним сдвигом вдоль Каахемского разлома, сформировало афтершоковую область, преимущественно распространившуюся к югу до северного окончания хребта Ыдык и ограниченную с севера зоной изменения простираания Каахемского разлома почти на 90° .

Тувинское-II землетрясение 26.02.2012 г. положило начало активному процессу разрядки напряжений за счет смятия с взбросовыми подвижками движущегося на север блока вместе с зоной контакта. Наибольшее число землетрясений приурочено к разломам, являющимся границами клинообразного завершения хребта Ыдык.

Афтершоковые процессы двух крупнейших Тувинских землетрясений перекрывают друг друга в пространстве и времени, что указывает на единство тектонического процесса для них.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Регионального управления МЧС по Сибирскому федеральному округу (г. Красноярск) генерал-лейтенанту В.Н. Светлицкому, полковнику С.С. Мещерякову и капитану А.Н. Лысенко за помощь в организации и проведении эпицентральных работ и участие в сборе макросейсмической информации.