

III. СИЛЬНЫЕ И ОЩУТИМЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

УДК 550.348. (571.15)

АФТЕРШОКИ ТУВИНСКОГО-I ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 27 декабря 2011 г. с $ML=6.7$ и ТУВИНСКОГО-II – 26 февраля 2012 г. с $ML=6.8$ (Республика Тува)

А.Ф. Еманов¹, А.А. Еманов^{1,2}, А.В. Фатеев¹, В.Г. Подкорытова¹,

Н.А. Гилёва³, О.К. Массальский³

¹Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск,

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск,

³Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Аннотация. В 2011–2012 гг. на территории Республики Тува в районе хребта Академика Обручева произошли два землетрясения: 27 декабря 2011 г. в $15^{\text{h}}21^{\text{m}}$, $ML=6.7$, $M_w=6.7$ и 26 февраля 2012 г. в $06^{\text{h}}17^{\text{m}}$, $ML=6.8$, $M_w=6.7$, ставшие самыми сильными за всю историю более чем полувековых инструментальных сейсмологических наблюдений в Туве. Данные сейсмические события получили названия «Тувинское-I» и «Тувинское-II» соответственно. Афтершоковые процессы двух крупнейших землетрясений перекрывают друг друга в пространстве и времени, что указывает на единство тектонического процесса для них. Эпицентры двух тувинских землетрясений находятся в районе Каахемского разлома в хребте Академика Обручева (Западный Саян). Из данных сейсмологических исследований по созданию карт общего сейсмического районирования (ОСР-97) Каахемский разлом характеризуется максимально возможной $M=7$. Эпицентральная область произошедших землетрясений по данным полувековых сейсмологических наблюдений имеет незначительную сейсмичность. Событие 27.12.2011 г. произошло в зоне, где субширотная ориентация Каахемского разлома меняется на субмеридиональную. Механизм главного события – правый сдвиг с подвижкой по субмеридиональной плоскости. После основного события развился мощный афтершоковый процесс. В течение трех недель энергия сейсмического процесса оставалась примерно на том же уровне с величиной самых мощных афтершоков $ML=5.4$. Землетрясение с $ML=6.8$, 26.02.2012 г. произошло на фоне данного афтершокового процесса. Это землетрясение также активировало интенсивный афтершоковый процесс с магнитудами до $ML=5.9$. Афтершоковый процесс события 27.12.2012 г. простирается вдоль разлома около 10 км на юг и 2 км к северу от главного толчка. Севернее эпицентра происходит активизация по линиям вкрест основной активизации. Механизмы крупнейших афтершоков преимущественно сдвиги. Событие 26.02.2012 г. произошло на южном окончании афтершоковой области Тувинского-I землетрясения, после чего в пространственной структуре афтершокового процесса произошли значительные изменения. Механизм этого землетрясения представляет собой взброс. Новая афтершоковая область сформировала сублинейную зону, под острым углом примыкающую к основной линейной зоне афтершокового процесса.

Abstract. Epicenters of two Tuva earthquakes are situated in area of the Kaakhem fault in Academician Obruchev ridge (Western Sayan). From data of seismological investigations in map collection of general seismic zoning (GSZ-97) the Kaakhem fault is characterized by the greatest possible magnitude seven. The epicentral area of occurred earthquakes has a minor seismicity, reasoning from seismological observations data for more than a half of century. The 27.12.2011 event is confined to zone, where a sublatitudinal course of the Kaakhem fault changes to submeridional one. A displacement along fault had strike-slip character which determined from the focal mechanism. After the main event the powerful aftershock process has developed. During three weeks the energy of seismic process remained about the same level with magnitude of the most powerful aftershocks $ML=5.4$, after that a step-like fall of process energy passed at the highest magnitude about 4.5, and every other month the process energy reduced again stepwise to the highest magnitude level about 4. The earthquake with $ML=6.8$, 26.02.2012 occurred under such level of aftershock process. This earthquake activated its vigorous aftershock process with magnitude of maximal aftershocks $ML=5.9$. The aftershock process of the event 27.12.2012 is extended along fault about 10 km to the south and 2 km to the north. Activation of small fault series, crossing the main Kaakhem fault, occurs from the north, and aftershock area appears as strengthened completion. The largest aftershocks of the first event are mainly displacements. The event 26.02.2012 occurred on the south ending of aftershock area. Significant changes in spatial structure of aftershock process occurred after it. This earthquake is thrust fault. The aftershock area formed line at a small angle to the aftershock area of the prior event. The development of shear deformation generated at first earthquake is bounded in this way.

27 декабря 2011 г. в 15^h21^m на территории Республики Тува в районе хребта Академика Обручева произошло землетрясение с $ML=6.7$, $\varphi_{и}=51.82^{\circ}N$, $\lambda_{и}=95.93^{\circ}E$, $h=17$ км [1]. Протяженность хребта составляет около 250 км, наивысшая точка – 2895 м над уровнем моря, состоит из нескольких горных цепей меньшего масштабного уровня, сложенных, главным образом, гни- тами, кристаллическими сланцами и песчаниками. Эпицентр находился в районе хребта Час- Тайга, вдоль которого протянулся Каахемский разлом. Землетрясение сопровождалось боль- шим числом афтершоков [2, 3].

26 февраля 2012 г. в 06^h17^m на южном окончании афтершоковой области, сформировав- шейся после декабрьского землетрясения, произошло новое сильное землетрясение с магниту- дой $ML=6.8$, $\varphi_{и}=51.72^{\circ}N$, $\lambda_{и}=96.04^{\circ}E$, $h=10$ км [4], изменившее как энергетические, так и про- странственные характеристики общего афтершокового процесса [5] для данной пары крупнейших землетрясений.

За почти полувековой период инструментальных сейсмологических наблюдений на тер- ритории Тувы произошло только одно Бусингольское землетрясение 27.12.1991 г., с $K_p=16.2$, $MLH=6.5$ [6] со сравнимой энергией ($MS=6.5$), вызвавшее пульсирующую сейсмическую акти- визацию, продолжающуюся до настоящего времени [7, 8].

Тувинские землетрясения 2011–2012 гг. приурочены к зоне Каахемского глубинного раз- лома, который, имея в западной части почти субширотное простирание, в восточной части ме- няет ориентацию на субмеридиональную [9]. Эпицентр первого из них находился на участке смены простирания разлома (рис. 1).

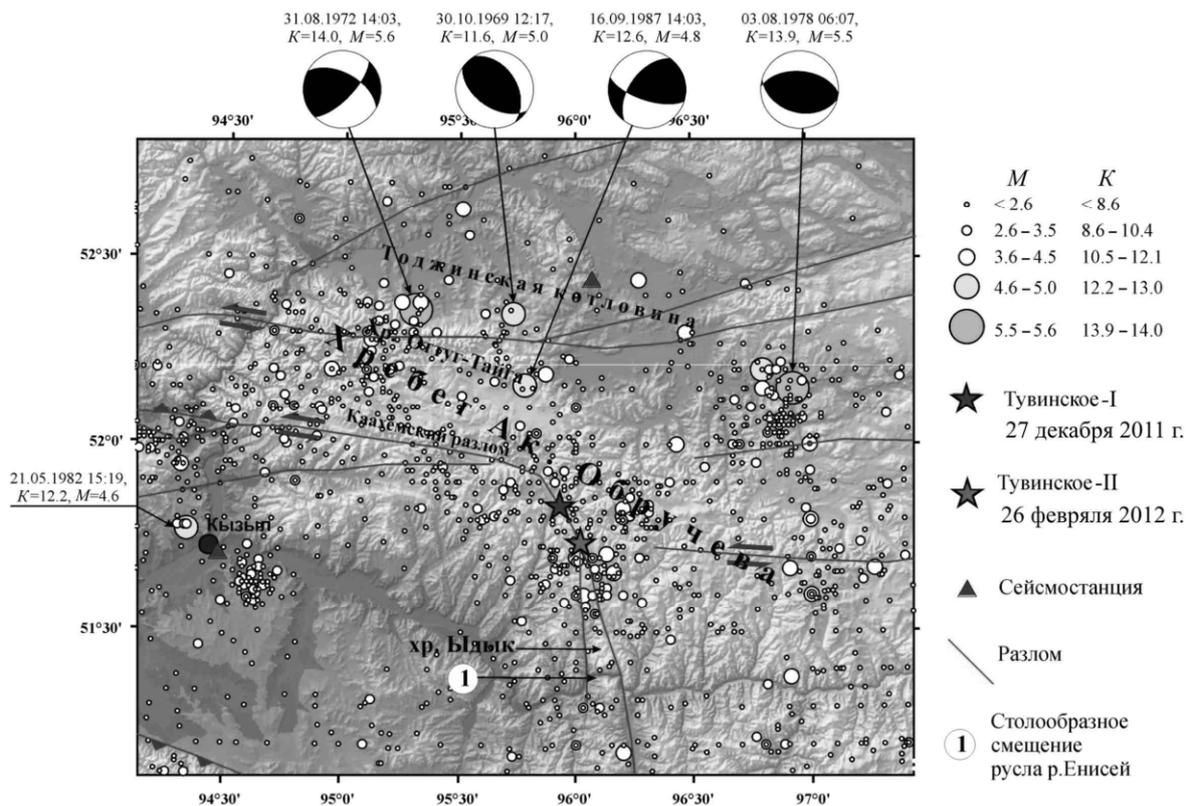


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений в районе хребта Академика Обручева за 1963–2011 гг. и положение Тувинских землетрясений

На рис. 1 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., $K_p=14$, $MLH=5.5$ [10]) были проведены палеосейсмогеологические исследования, позволившие обосновать максимально возможные здесь магнитуды в 7.0 [11]. Тектоническая структура данного района и напряженное состояние по геологическим данным представлены в работах [12, 13, 14].

Известные из литературных источников механизмы очагов четырех сильных землетрясений указанного периода (1963–2011 гг.) [15] (рис. 1) 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. 1). Анализ структуры Каахемского разлома [9] 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.

Экспериментальные данные об афтершоках Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. в виде неполного каталога предварительной обработки проанализированы в работах [3, 16]. В более поздний период они были более детально изучены [17, 18, 19].

В данной статье приведены результаты анализа сейсмичности на основе изучения 35000 афтершоков Тувинских землетрясений [2, 5], зарегистрированных с привлечением данных шести временных сейсмических станций (рис. 2), выставленных в эпицентральной зоне с радиусом несколько десятков километров от эпицентра (время работы сети: 9 февраля – 12 марта 2012 г.).

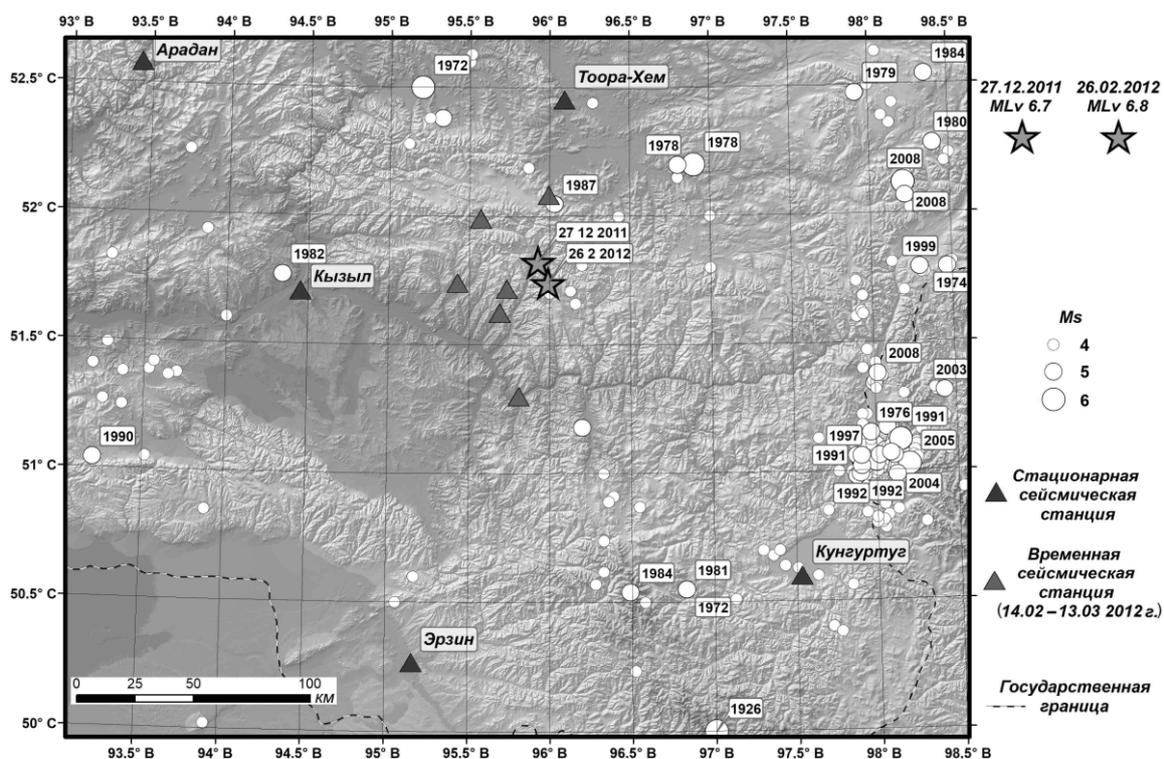


Рис. 2. Временные станции в эпицентральной зоне Тувинских землетрясений [20]

На рис. 3 представлена карта афтершоков после Тувинского-I землетрясения за 27.12.2011 г. – 26.02.2012 г. Механизм очага главного события с учетом геологических данных о Каахемском разломе – правый сдвиг с подвижкой по субмеридиональной плоскости. Пространственно часть афтершоков выстраивается в линию субмеридионального простираения 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 разноориентированных 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 мало по сравнению с южным направлением. С юга афтершоковая область вытянута от эпицентра главного землетрясения вдоль Каахемского разлома.

Фокальные механизмы определены для шести афтершоков с $ML \geq 5.2$ (рис. 3). Наиболее близкие к эпицентру главного события сильные афтершоки характеризуются сдвиговыми перемещениями по разлому, а на южном окончании афтершоковой зоны в очагах сильных событий доминирует вертикальная составляющая подвижки.

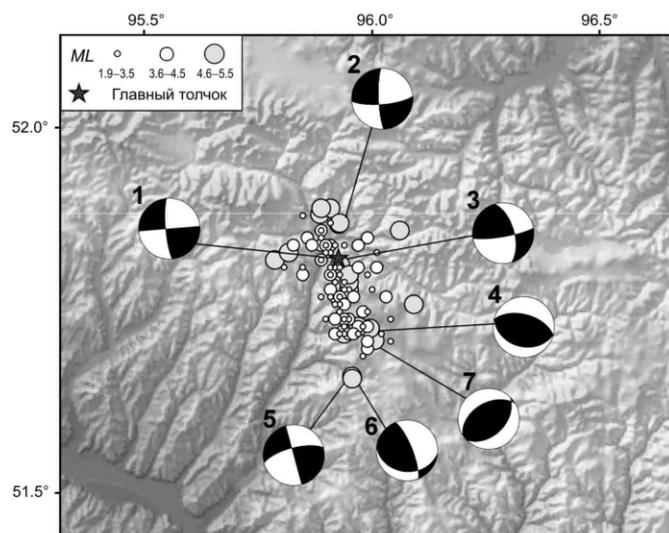


Рис. 3. Тувинское-I землетрясение и афтершоковый процесс до 26.02.2012 г.

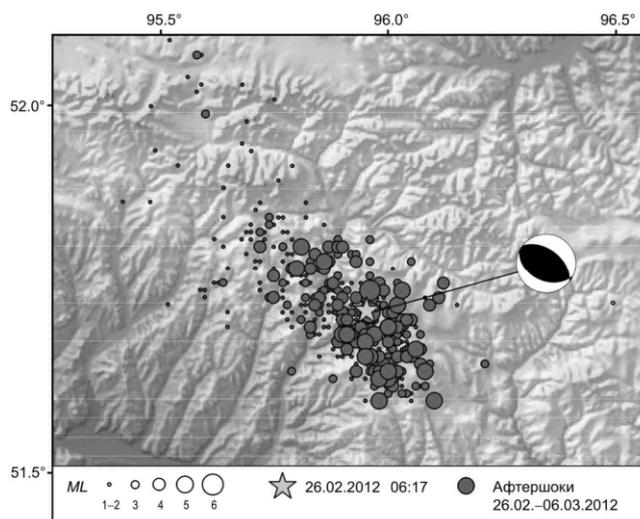


Рис. 4. Тувинское-II землетрясение и афтершоки после него

Степень осложнения афтершокового процесса хорошо видна на карте плотности афтершоков обоих землетрясений с магнитудой $ML \geq 3.0$, рассчитанной в узлах сетки 1×1 км (рис. 5). В области между эпицентрами Тувинских землетрясений 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 27.12.2011 г. активизировалась узкая зона Каахемского разлома с ограничивающими процесс с севера поперечными разломами, а после Тувинского-II землетрясения 26.02.2012 г. наиболее сильно активизировались грани клинообразного окончания хребта Ыдык.

На рис. 4 представлена карта эпицентров афтершоков Тувинского-II землетрясения за период с 26 февраля по 22 мая 2012 г., приуроченных к южному флангу области афтершоков Тувинского-I землетрясения. Важно отметить, что подвижка в очаге Тувинского-II землетрясения типа взброс (рис. 4). После этого землетрясения происходят кардинальные изменения в пространственной структуре афтершокового процесса. Сравнивая карты эпицентров афтершоков на рис. 3 и 4, 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, примыкающую под острым углом к основной линейной зоне афтершокового процесса.

Для понимания процессов в эпицентральной зоне двух сильных Тувинских землетрясений воспользуемся описанием структуры Каахемского разлома в этой области [9]. Субширотный разлом в виде дуги распространяется на юго-восток и после разворота распадается на серию сближенных субмеридиональных нарушений, контролирующей 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.

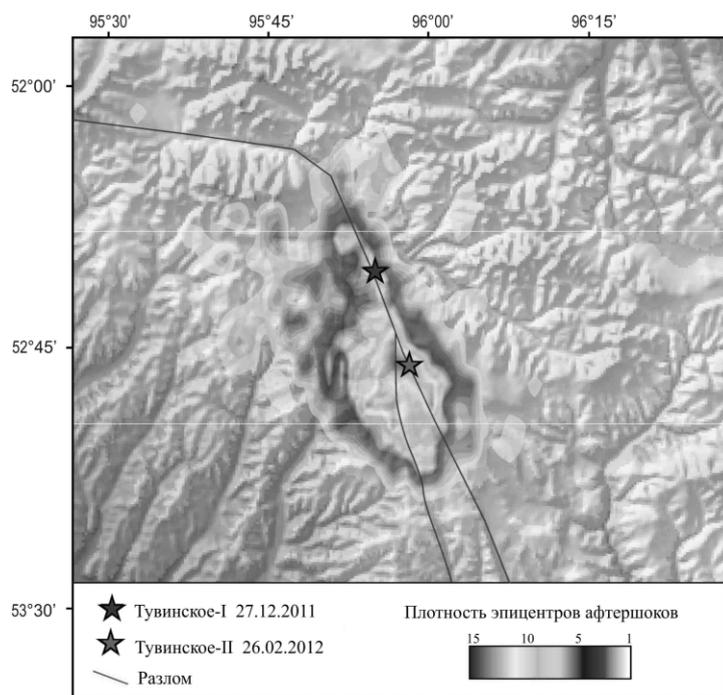


Рис. 5. Карта плотности эпицентров афтершоков Тувинских землетрясений

График повторяемости для афтершоков, зарегистрированных временной сетью (9 февраля – 14 марта), приведен на рис. 7. Параметры графика повторяемости в его линейной части ($ML=1.5-5.5$) имеют вид:

$$\lg N (ML)=5.42-0.85 ML.$$

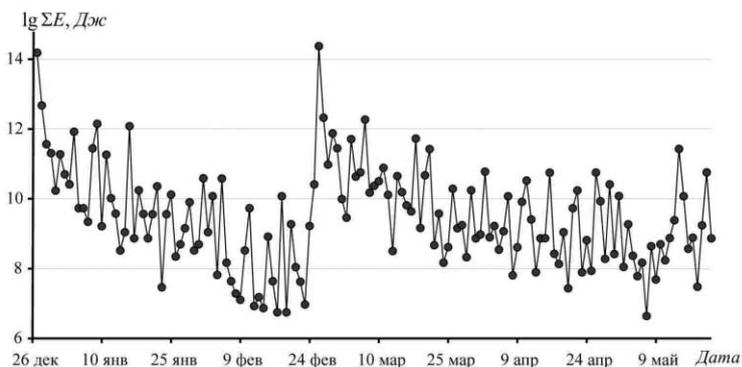


Рис. 6. Изменение во времени суммарной сейсмической энергии за сутки в эпицентральной зоне Тувинских землетрясений

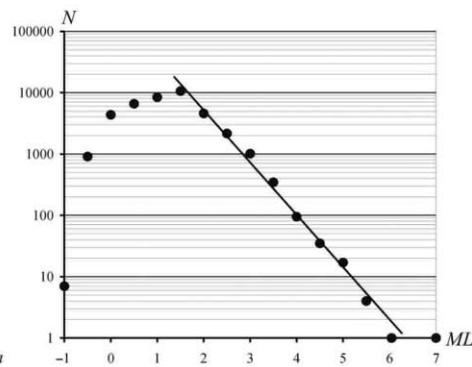


Рис. 7. График повторяемости афтершоков Тувинских землетрясений для периода работы локальной сети (9 февраля – 14 марта 2012 г.)

Для афтершоков в хребте Академика Обручева, зарегистрированных временной сетью станций, получены сведения об их глубинах на принципиально новом уровне точности. Для определения положения гипоцентра использовалась стандартная усредненная модель IASPEI-91 [21].

На рис. 8 представлены карты эпицентров землетрясений и их плотности для эпицентральной зоны Тувинских землетрясений для разных интервалов времени. Верхние две карты соответствуют длительному периоду выборки афтершоков с $ML>3.0$. Данные результаты более всего соответствуют модели сейсмического процесса, описанной ранее и объясняющей роль выдвижения блока хребта Ыдык к северу.

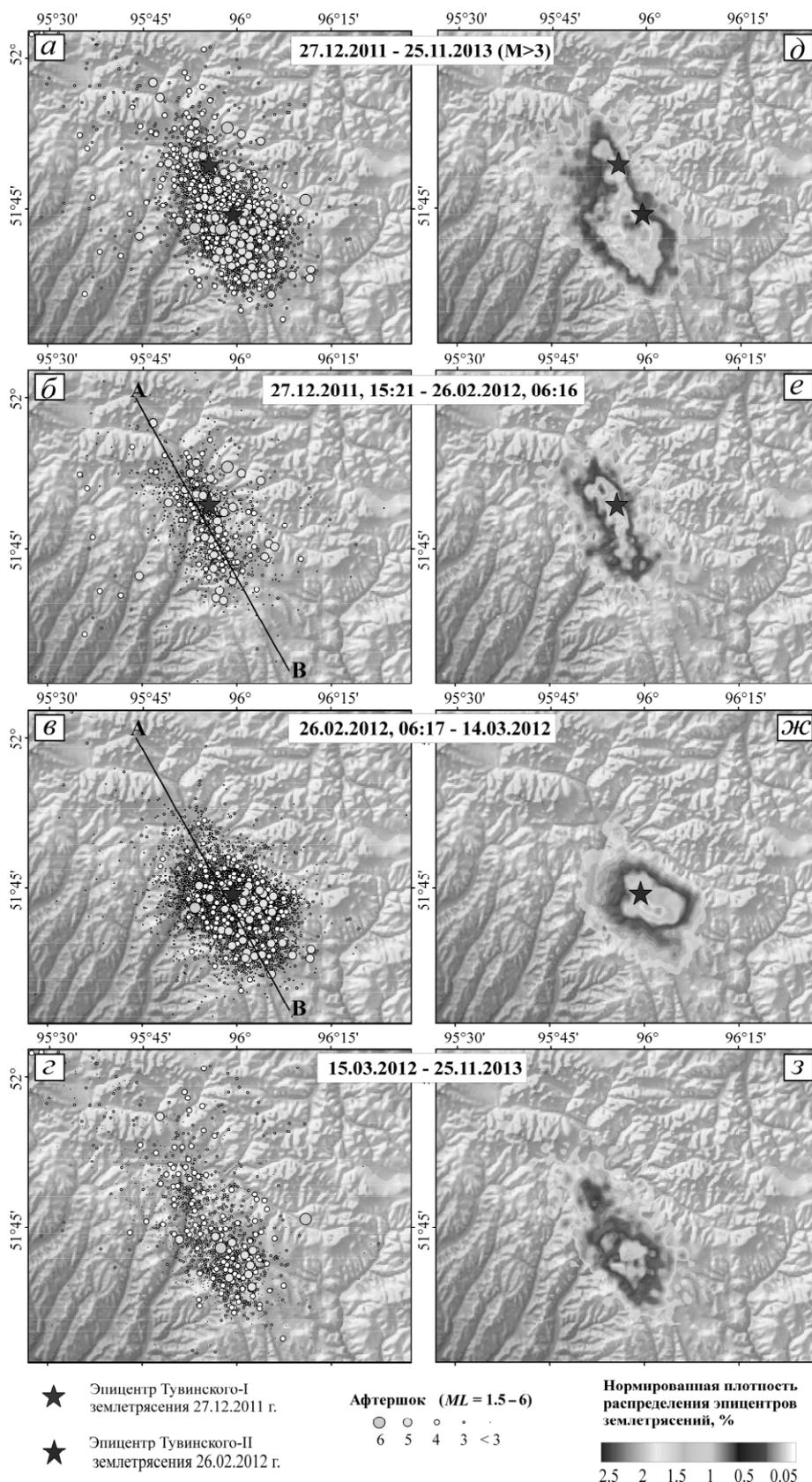


Рис. 8. Карты эпицентров и плотности афтершоков в эпицентральной области Тувинских землетрясений

Представленные в данной работе материалы подтверждают, что в период между Тувинским-I и Тувинским-II землетрясениями афтершоковый процесс развивался вдоль линейной зоны по Каахемскому разлому (рис. 8, б). После Тувинского-II землетрясения, как следует из рис. 8, а,

развитие определяется разветвляющейся структурой Каахемского разлома и представляет собой расширенный участок афтершокового процесса. Для интервала времени после Тувинского-II землетрясения на карте эпицентров землетрясений видна двойственность облака афтершоков с одним направлением вдоль Каахемского разлома и другим, уходящим в сторону на юго-восток, вместе с хребтом Час-Тайга. По карте эпицентров на рис. 8, в создается впечатление, что имеет место вполне равнозначное развитие афтершокового процесса в двух отмеченных направлениях. Однако карта плотности событий для этого же интервала времени показывает ярко выраженное направление развития афтершокового процесса вдоль хребта Час-Тайга. Данное доминирование основано на большом количестве землетрясений малых энергий в этом направлении.

Для периода, представленного на рис. 8, г, наиболее сильные афтершоки отмечены в пределах структуры Каахемского разлома и карта плотности событий напоминает аналогичную для всего периода наблюдений, построенную по крупным землетрясениям, но с меньшей контрастностью.

Надежное определение глубин землетрясений возможно для периода работы сети временных станций. Сеть станций была установлена после Тувинского-I землетрясения 9–13 февраля [20], но за две недели до Тувинского-II землетрясения.

На рис. 9 представлены вертикальные разрезы гипоцентров афтершоков по линии вдоль активизации и простираения Каахемского разлома (с севера на юг) для событий до Тувинского-II землетрясения (рис. 9, а) и после него (рис. 9, б).

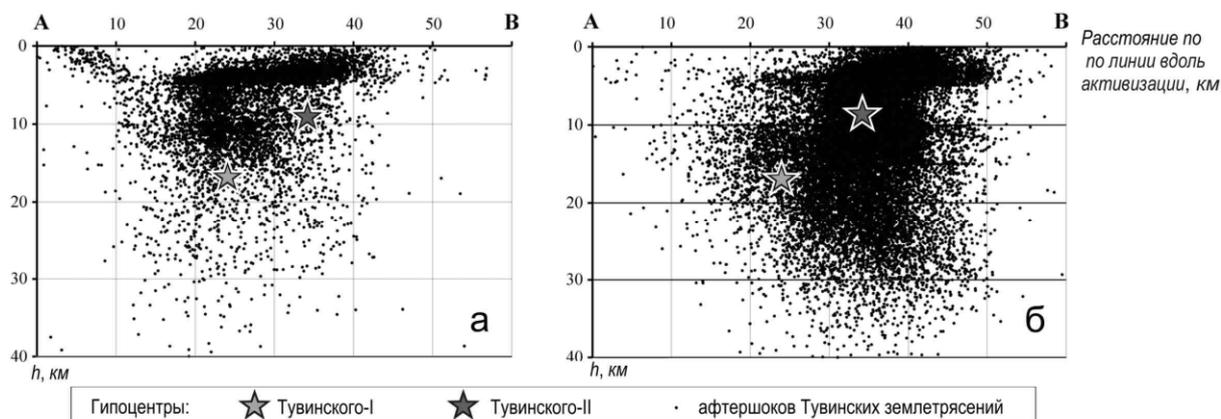


Рис. 9. Распределение афтершоков, зарегистрированных временной сетью станций, по глубине вдоль линии активизации за период до Тувинского-II землетрясения, с 9 по 26 февраля (а) и после него, с 26 февраля по 14 марта (б)

Ясно, что рис. 9, а характеризует разрез структуры афтершокового процесса перед Тувинским-II землетрясением, а не структуру афтершокового процесса после Тувинского-I землетрясения.

В соответствии с рис. 8, б, наибольшая афтершоковая активность наблюдалась к северу от эпицентра главного события, а на разрезе рис. 9, а зафиксированы только остатки этой активности в виде вытянутой от очага к дневной поверхности наклонной полосы, заполненной гипоцентрами событий. Наибольшее число событий перед Тувинским-II землетрясением происходит на двух участках. Один накрывает эпицентр главного события афтершоками с глубинами от $h=10$ до $h=17$ км, а другой – представлен полосой в разрезе на глубинах до $h=10$ км с медленным уменьшением глубин афтершоков к югу.

Другая особенность, которую можно отметить из рис. 9, это то, что до Тувинского-II землетрясения основная масса событий происходит до глубин $h=20$ км, а после него – до глубин $h=30$ км, в то время как Тувинское-II землетрясение имеет меньшую глубину.

Тувинское-II землетрясение в значительной степени изменило пространственную структуру афтершокового процесса (рис. 9, б). Во-первых, очаг Тувинского-II землетрясения произошел за краем наиболее активного участка афтершоков Тувинского-I землетрясения, во-вторых, очаг Тувинского-I землетрясения локализуется с краю от наиболее активизированной области после Тувинского-II землетрясения, в-третьих, полоса (в разрезе) землетрясений с глубинами $h<10$ км ослабла с севера и продвинулась к югу.

Ведущую роль в создании напряженного состояния в эпицентральной зоне Тувинских землетрясений сыграли: выдвигание клинообразного хребта Ыдык к северу и поворот Каахемского разлома с меридионального направления на широтное. Поворот почти на прямой угол является стопором для горизонтальных сдвиговых смещений, а непрерывно происходящий процесс выдвигания хребта Ыдык создал напряженное состояние, которое частично разрядилось в виде сдвига (Тувинское-I землетрясение), а частично в виде взброса – Тувинское-II землетрясение (рис. 10). Окончание хребта Ыдык является довольно смятой структурой, что свидетельствует о многократности данного процесса [22–24]. Длительное выдвигание блока отражено в русле р. Енисей.

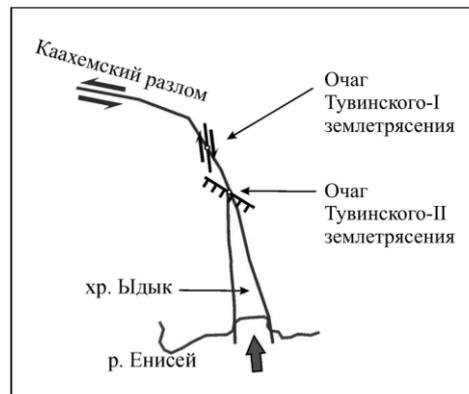


Рис. 10. Схематическая модель Тувинского-I и Тувинского-II землетрясений 2011–2012 гг.

Для макросейсмических построений информация была получена различным образом. Для декабрьского землетрясения основным источником для построений явились макросейсмические данные, собранные в эпицентральной области отрядом сотрудников АСФ ГС СО РАН, выполнявшим осмотр строений в поселках и опрос населения. Собранная таблица пунктов-баллов включает 136 населенных пунктов с интенсивностью $I=7-8$ баллов в четырех из них, 7 баллов – в трех, 6–7 баллов – в одном, 6 баллов – в пяти, 5–6 баллов – в шести и далее до 2 баллов. Кроме того, имеются верные сведения об отсутствии сотрясений в 38 населенных пунктах. Эта таблица публикуется в отдельном Приложении [25] к настоящей статье на CD. Здесь же приведем на рис. 11 авторский вариант карты расчетных изосейст Первого землетрясения по уравнению $I=1.5 M-3.5 \lg r+3.0$ [26] при $M=6.7$, $h=17$ км.

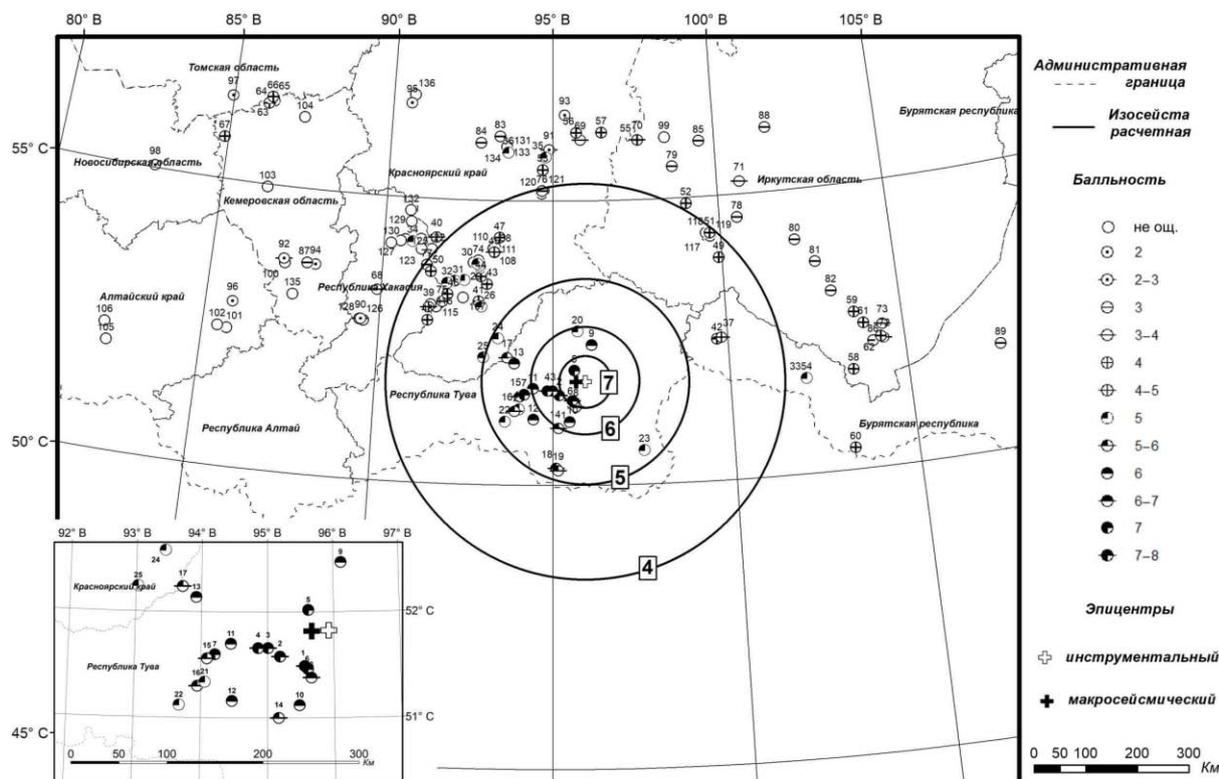


Рис. 11. Карта расчетных изосейст Тувинского-I землетрясения 27 декабря 2011 г. в 15^h20^m с $M_{wGCM}=6.7$

Для февральского события сбор информации осуществлялся совместно с БФ ГС СО РАН через опросные листы с использованием возможностей сети интернет и через региональное

подразделение МЧС г. Красноярска. Для этого землетрясения собранная таблица пунктов-баллов включает 280 населенных пунктов с интенсивностью $I=7-8$ баллов в одном из них, 7 баллов – в одном, 6–7 баллов – в пяти, 6 баллов – в трех, 5–6 баллов – в 15 и далее до 2 баллов. Кроме того, имеются верные сведения об отсутствии сотрясений в 36 населенных пунктах. Эта таблица также публикуется в отдельном Приложении [27] к настоящей статье на CD. Здесь же приведем на рис. 12 авторский вариант карты расчетных изосейст Второго землетрясения по уравнению $I=1.5 M-3.5 \lg r+3.0$ [26] при $M=6.8$, $h=14$ км.

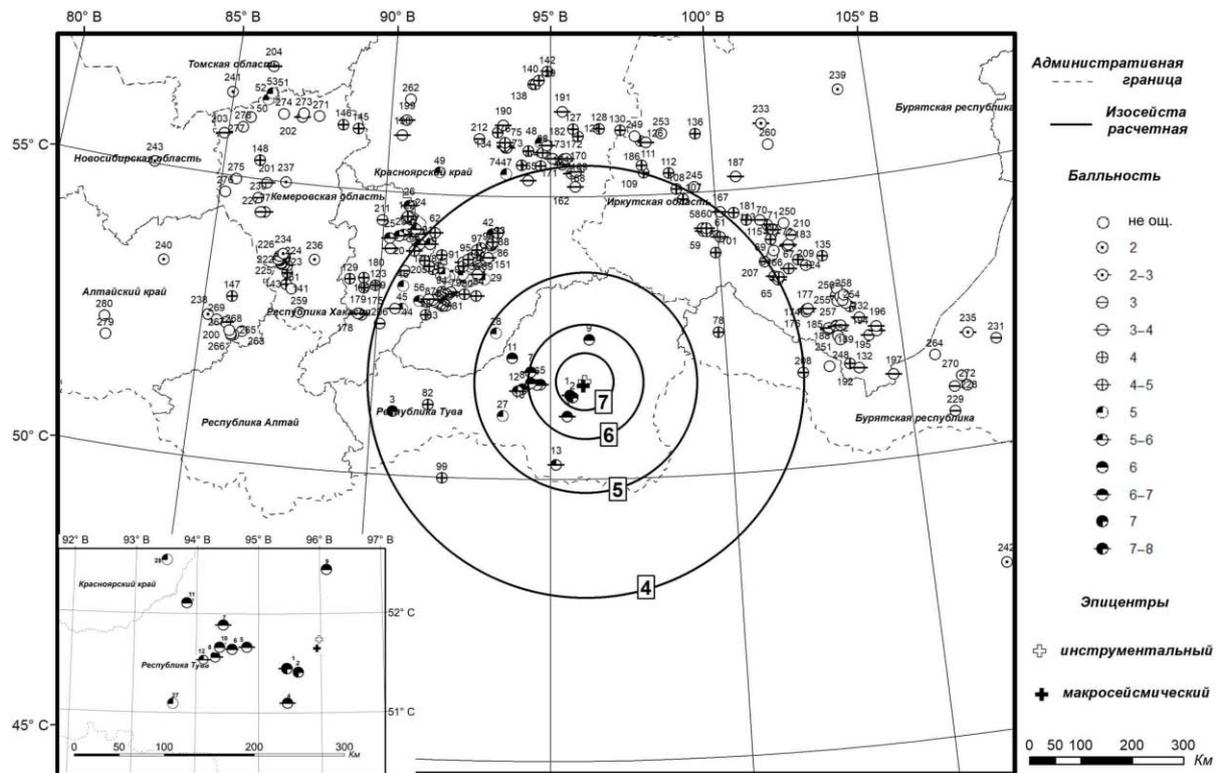


Рис. 12. Карта расчетных изосейст Тувинского-II землетрясения 26 февраля 2012 г. в 06^h17^m с $M_{WGCMT}=6.7$

В зоне Тувинских землетрясений были выполнены достаточно детальные палеогеологические исследования [23], а также была выполнена переинтерпретация ранее выполненных работ и оценена роль Тувинских землетрясений в развитии общего тектонического процесса на востоке Тувы [16, 22, 24].

Результаты

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

Тувинское-I землетрясение 27.12.11. с подвижкой типа сдвиг вдоль Каахемского разлома сформировало афтершоковую область, распространившуюся преимущественно к югу до северного окончания хребта Ыдык.

Тувинское-II землетрясение 26.02.12. с подвижкой типа взброс на северном конце хребта Ыдык явилось началом активного процесса, ведущего к разрядке напряжений за счет смятия с взбросовыми подвижками блока, выдвигающегося к северу, и зоны контакта с ним. Наибольшее число землетрясений происходит по разломам, являющимся гранями клинообразного завершения хребта Ыдык.

Афтершоковые процессы двух крупнейших землетрясений сливаются в одно целое, и это отражает единство тектонического процесса для них.

Тувинские землетрясения подтвердили высокий сейсмический потенциал Каахемского разлома, оцененный магнитудой 7 [28].

На основе более детальной информации, особенно о землетрясениях малых энергий, получены дополнительные результаты:

По землетрясениям малых энергий после Тувинского-II землетрясения выявлен активный тектонический разлом, уходящий к востоку от Каахемского разлома вместе с хребтом Час-Тайга.

Установлено, что перед Тувинским-II землетрясением (в разрезе) в зоне афтершоковой активности выделяются три области: собственно эпицентральная на глубинах 10–20 км; северная – в виде полосы от эпицентра Тувинского-I землетрясения с крутым выходом к дневной поверхности на северном окончании афтершокового процесса; мелкофокусная зона на глубинах до 10 км, накрывающая сверху собственно эпицентральную зону и с медленным уклоном к дневной поверхности уходящая к южному окончанию афтершокового процесса.

После Тувинского-II землетрясения область собственно эпицентральной активизации сместилась к югу и расширилась по диапазону глубин афтершоков. Мелкофокусная зона на глубинах до 10 км, накрывающая сверху собственно эпицентральную зону, сократилась с севера и удлинилась к югу.

Л и т е р а т у р а

1. **Филина А.Г., Лескова Е.В. (отв. сост.), Артёмова А.И., Ворона У.Ю., Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В. (сост.).** Каталог землетрясений Алтая и Саян за 2011 г. ($N=8088$) // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
2. **Ворона У.Ю., Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Лескова Е.В., Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В. (сост.).** Афтершоки Тувинского-I землетрясения 27 декабря 2011 г. с $K=16.2$, $ML=6.7$, $Mw=6.7$, $I_0=8-9$ // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
3. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Селезнёв В.С., Филина А.Г.** Тувинское землетрясение 27.12.2011 г., $ML=6.7$ и его афтершоки // Вестник ОНЗ РАН. – 2012 а. – 4. – NZ2002, doi:10.2205/2012NZ000112
4. **Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А. (отв. сост.), Артёмова А.И., Ворона У.Ю., Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Лескова Е.В., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В., Кузнецова Н.В. (сост.).** Каталог землетрясений Алтая и Саян в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
5. **Ворона У.Ю., Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Лескова Е.В., Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В. (сост.).** Афтершоки Тувинского-II землетрясения 26 февраля 2012 г. с $K=16.2$, $ML=6.8$, $Mw=6.7$, $I_0=8-9$ // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
6. **Филина А.Г.** Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: Наука, 1997. – С. 38–39.
7. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Рудаков А.Д.** Общее и индивидуальное в развитии афтершоковых процессов крупнейших землетрясений Алтае-Саянской горной области // Физическая мезомеханика. – 2006. – 9. – № 1. – С. 33–43.
8. **Опарин В.Н., Сашурин А.Д., Кулаков Г.И. и др.** Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования. – Новосибирск: СО РАН, 2008. – 449 с.
9. **Аржанников С.Г.** Основные активные разломы, кинематика и сильные палеоземлетрясения восточной части Алтае-Саянской горной области // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы. – Новосибирск: Гео, 2003. – С. 241–244.
10. **Цибульчик И.Д., Филина А.Г.** Каталог землетрясений Алтая и Саян за 1972 г. // Землетрясения в СССР в 1972 году. – М.: Наука, 1976. – С. 100–104.
11. **Аржанников С.Г., Зеленков П.Я.** Сильные палеоземлетрясения хребта Академика Обручева (Восточная Тува) // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – М.: ОИФЗ РАН, 1995. – Вып. 2–3. – С. 323–33.
12. **Зятькова Л.К.** Структурная геоморфология Алтае-Саянской горной области. – Новосибирск: «Наука», 1977. – 215 с.

13. **Парфеев А.В., Саньков В.А.** Напряженное состояние земной коры и геодинамика юго-западной части Байкальской рифтовой системы. – Новосибирск: Гео, 2006. – 151 с.
14. **Саньков В.А., Парфеев А.В., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В.** Позднекайнозойская геодинамика и механическая сопряжённость деформаций земной коры и верхней мантии Монголо-Сибирской подвижной области // Геотектоника. – 2011. – № 5. – С. 52–70.
15. **Мострюков А.О., Петров В.А.** Каталог механизмов очагов землетрясений, 1964–1990. // Материалы мирового центра данных. – М.: 1994. – 87 с.
16. **Никонов А.А., Медведева Н.С., Шварев С.В., Флейфель Л.Д.** Главные особенности развития сейсмического процесса 2011–2012 гг. в Республике Тыва (прогностический аспект) // Вестник ОНЗ РАН. – 2012. – 4. – NZ5001,doi:10.2205/2012NZ000113.
17. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Селезнёв В.С., Фатеев А.В.** Тувинские землетрясения 27.12.2011 г., $M_L=6.7$ и 26.02.2012 г., $M_L=6.8$ и их афтершоки // ДАН. – 2012 б. – 456. – № 2. – С. 223–226.
18. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Радзиминович Я.Б., Гилёва Н.А., Масальский О.К., Лебедев В.И.** Тувинские землетрясения 27.12.2011 г. с $M=6.6$ и 26.02.2012 г. с $M=6.7$ // Землетрясения России в 2011 году. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 88–93.
19. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г.** Тувинские землетрясения 27.12.2011 г. ($M_L=6.7$) и 26.02.2012 г. ($M_L=6.8$), геомеханическая модель развития взаимосвязанной активизации // Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырёва «Геофизические методы исследования земной коры». – Новосибирск, 2014. – С. 138–141.
20. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. (сост.).** Локальная сеть сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в Республике Тува в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
21. **Kennet B.L.N. (editor).** IASPEI 1991 Seismological Tables. Sydney: Research School of Earth Sciences Australian National University, 1991. – 167 p.
22. **Аржанникова А.В., Аржанников С.Г.** Сейсмотектонические исследования в Восточной Тыве и землетрясения 27.12.2011 и 26.02.2012 гг. // Тувинские землетрясения 2011–2012 гг. Кызыл: ТУВИКОРП СО РАН, 2014. – С. 10–25.
23. **Овсюченко А.Н., Рогожин Е.А., Мараханов А.В., Ларьков А.С., Новиков С.С., Кужугет К.О.С., Бутанаев Ю.В.** Геологические исследования Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – 43. – № 1. – С. 5–28.
24. **Овсюченко А.Н., Бутанаев Ю.В.** Сейсмическая история Алтае-Саянского региона и место в ней Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. // Новые исследования Тувы. – 2017. – № 1. – С. 162–180.
25. **Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Лескова Е.В., Филина А.Г., Подлипская Л.А., Радзиминович Я.Б., Гилева Н.А. (сост.).** Макросейсмические сведения о Тувинском-I землетрясении 27.12.2011 г., $M_L=6.7$ // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
26. **Шебалин Н.В.** Коэффициенты уравнения макросейсмического поля по регионам // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 30.
27. **Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Лескова Е.В., Филина А.Г., Подлипская Л.А., Радзиминович Я.Б., Гилева Н.А. (сост.).** Макросейсмические сведения о Тувинском-II землетрясении 26.02.2012, $M_L=6.8$, $\varphi=51.73^\circ$, $\lambda=95.97^\circ$ // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
28. **Уломов В.И., Шумилина Л.С.** Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8000000. – Объяснительная записка. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 57 с.