

## **ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СТРУКТУРЫ АФТЕРШОКОВЫХ ПРОЦЕССОВ КРУПНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТУВЫ**

### ***Александр Федорович Еманов***

Алтае-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор технических наук, директор; Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, старший преподаватель, тел. (383)330-12-61, e-mail: emanov@gs.sbras.ru

### ***Алексей Александрович Еманов***

Алтае-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по науке; Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, старший научный сотрудник, тел. (383)330-52-66, e-mail: alex@gs.sbras.ru

### ***Екатерина Викторовна Лескова***

Алтае-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник; Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, старший научный сотрудник, e-mail: katya@gs.sbras.ru

### ***Александр Владимирович Фатеев***

Алтае-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, научный сотрудник; Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, ведущий инженер, e-mail: fateev@gs.sbras.ru

Совместное изучение афтершоковых процессов крупных землетрясений Тувы показало, что блоковое строение региона оказывает значимое воздействие на процесс возникновения и развития сильнейших активизаций. Установлено неравномерное горизонтальное движение блоков Тувинской котловины в северном направлении при доминирующем движении всей структуры в восточном направлении. Тектонический режим характеризуется как транспрессия (сдвиг в условиях сжатия). Именно такой режим в целом подтверждают закономерности развития фоновой сейсмичности, а вот данные о крупных землетрясениях Тувы, не отвергая общей концепции, говорят о значительном влиянии на сейсмический процесс локальных условий деформирования земной коры региона.

**Ключевые слова:** афтершоки, Тува, Бусингольское землетрясение, Тувинское землетрясение, сейсмический режим, тектоника, Западный Саян.

## **GEOMECHANICAL INTERPRETATION OF THE AFTERSHOCK SEQUENCES`S STRUCTURE OF MAJOR EARTHQUAKES IN TUVA**

### ***Aleksandr F. Emanov***

Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect 3, D. Sc., Director; Novosibirsk State University, Russia, 630090, Novosibirsk, 2 Pirogova St., Senior Lecturer, tel. (383)330-12-61, e-mail: emanov@gs.sbras.ru

***Aleksey A. Emanov***

Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect 3, Ph. D., Deputy Research Director; Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect, Senior Researcher, tel. (383)330-52-66, e-mail: alex@gs.sbras.ru

***Ekaterina V. Leskova***

Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect 3, Ph. D., Lead Researcher; Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect, Senior Researcher, e-mail: katya@gs.sbras.ru

***Aleksander V. Fateev***

Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect 3, Researcher; Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect, Senior Engineer, e-mail: fateev@gs.sbras.ru

Joint study of the aftershock sequences of major earthquakes of Tuva has shown that block structure of the region has a significant impact on the occurrence and development of the strongest activations. It was found irregular horizontal movement of blocks of the Tuva basin in the north direction though the predominant movement of all structure is directed to the East. Tectonic regime is characterized as transpression (shifting under compression). This regime is generally supported by the development of background seismicity patterns, but the data on the major earthquakes of Tuva, not rejecting the overall concept, show the significant influence on seismic process of local conditions of deformation of the Earth's crust in the region.

**Key words:** aftershocks, Tuva, Busingol earthquake, Tuva earthquake, seismicity, tectonics, Western Sayan.

Разломно-блоковая структура Алтае-Саянской горной области отражается в особенностях ее сейсмического режима. Фоновая сейсмичность (на первый взгляд хаотичная) с течением времени упорядочивается в соответствии с блоковой структурой, концентрируясь преимущественно в горном обрамлении впадин. Наблюдается стабильность проявления тектонических процессов в фоновой сейсмичности, а также иерархия этих процессов в скорости проявления в сейсмичности. Крупные землетрясения региона вызывают интенсивные и длительные афтершоковые процессы [4].

В данной работе на основе изучения структурных особенностей афтершоковых процессов формируются представления о тектонических процессах в очаговых областях крупнейших землетрясений Тувы. Исследования выполняются по сильным землетрясениям: Урег-Нурское ( $M_s = 7.0$ , 1970 г.), Бусингольское ( $M_s = 6.5$ , 1991 г.), Белин-Бий-Хемское ( $M_w = 5.7$ , 2008 г.), Саянское ( $M_L = 6.1$ , 2011 г.) и Тувинские ( $M_L = 6.7$ , 2011 г. и  $M_L = 6.8$ , 2012 г.).

Бусингольская впадина – это западное окончание рифтовых впадин Байкальской зоны, где закономерности фоновой сейсмичности претерпевают значительные изменения, а сама граница горных систем разного типа проходит по впадинам: Белинская, Бусингольская и Терехольская. Фоновая сейсмичность в этих впадинах протекает как во впадинах (байкальский тип сейсмичности),

так и в их горном обрамлении (алтайский тип), однако большинство наиболее крупных землетрясений приурочены к горному обрамлению этих впадин.

Бусингольское землетрясение 27 декабря 1991 года с  $M_s=6.5$  произошло в Шишхидском нагорье ( $51.12^\circ$  с.ш.,  $98.15^\circ$  в.д.) (рис. 1, а). Афтершоковый процесс приурочен к разлому, разделяющему блоки горного обрамления и под острым углом примыкающему к Бусингольской впадине. Оперяющий разлом. После землетрясения сформировалась уникальная по длительности и пульсирующему режиму сейсмическая активизация (рис. 1, б) [4].

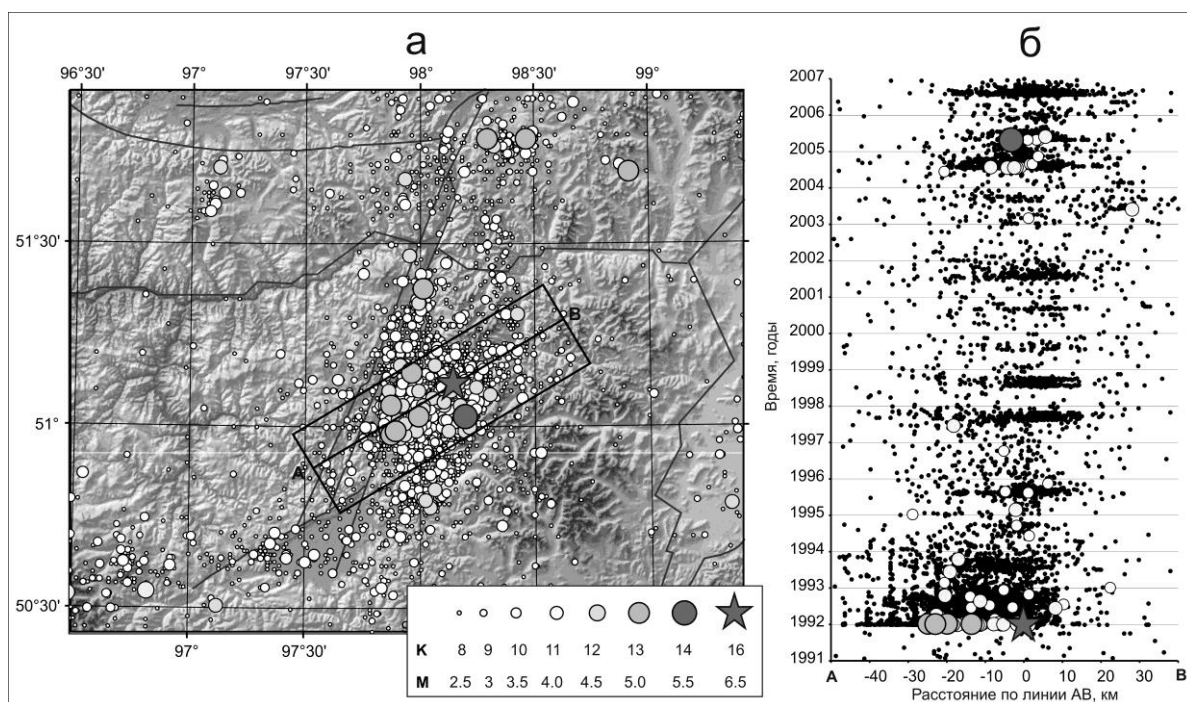


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений (а) и пространственно-временной анализ сейсмичности (б) Бусингольской впадины за период 1991–2007 гг.

Сейсмическая активность пульсирует с длительностью активизаций около одного месяца и с практически ежегодными повторами, но без строгой периодичности пауз (рис. 1, б). Механизм очага землетрясения – чистый сдвиг (рис. 2). Афтершоковый процесс в первый момент распространился вдоль разлома к юго-западу по направлению на впадину. Можно видеть, что последующие активизации медленно смещались вдоль разлома по направлению от впадины.

Если Бусингольская впадина – прямолинейная структура, то Белинская впадина сложно изогнута. К ее изгибам приурочены крупнейшие землетрясения с их афтершоками. На южном окончании Белинская впадина огибает блок Шишхидского нагорья, выдвинутый к западу. К этому блоку [3] приурочены землетрясения 1974 года ( $M_s = 5.2$ ) и 1999 года ( $M_s = 5.0$ ), а их афтершоковые процессы развиваются вдоль оперяющего разлома, секущего выдвинутый блок.

Белин-Бий-Хемское землетрясение 16 августа 2008 года с  $M_w=5.7$ ,  $K=15$  произошло в районе изгиба на севере Белинской впадины в восточном направлении ( $52.12^\circ$  с.ш.,  $98.21^\circ$  в.д.) (рис. 2, а). Афтершоковый процесс развивался

поперек главных разломов, ограничивающих блок с севера и с юга, кинематика северного разлома сдвиговая, южного – растяжение [2]. Установлено вращение блока (рис. 2, б).

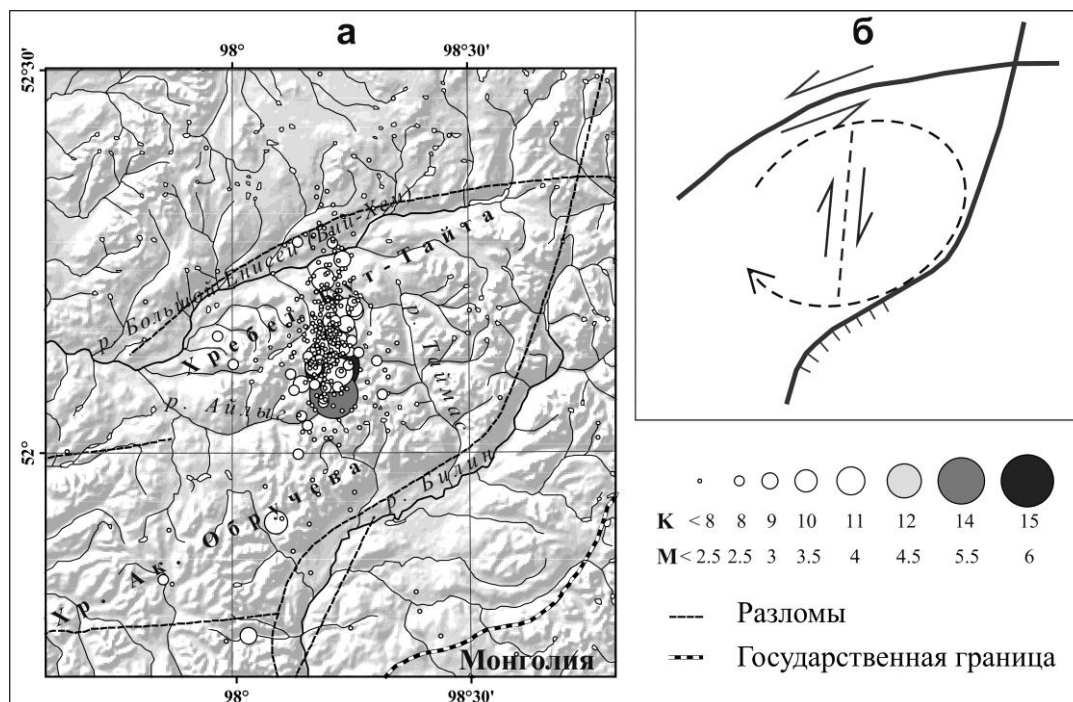


Рис. 2. Белин-Бий-Хемское землетрясение ( $M_w = 5.7$ , 2008 г.) и его афтершоки. А – карта афтершоков; Б – модель землетрясения (сдвиг с вращением блока)

Исследования афтершоков Тувинских землетрясений 27 декабря 2011 года с  $M_L=6.7$  ( $51.82^\circ$  с.ш.,  $95.93^\circ$  в.д.) и 26 февраля 2012 года с  $M_L=6.8$  ( $51.74^\circ$  с.ш.,  $95.98^\circ$  в.д.) показали, что ведущую роль в создании напряженного состояния сыграл процесс медленного выдвигания клинообразного хребта Ыдык к северу [6]. Тувинское-I землетрясение 2011 года (механизм очага – сдвиг) произошло в северной части активизированной области и сформировало линейно вытянутый вдоль Каахемского разлома афтершоковый процесс. Через два месяца на южном окончании произошло Тувинское-II землетрясение (механизм очага – взброс). Афтершоковый процесс получил развитие преимущественно по двум разломам, ограничивающим блок хребта Ыдык [6]. По геологическим данным [1], этот блок выдвигается в северном направлении продолжительное время.

Саянское землетрясение 10 февраля 2011 года с  $M_L=6.1$  произошло в центральной части Западного Саяна ( $52.23^\circ$  с.ш.,  $91.79^\circ$  в.д.). Обращает на себя внимание, что вдоль центральной части хребта находятся эпицентры наиболее крупных землетрясений, а слабые отсутствуют. Землетрясения малых энергий приурочены к приграничным областям горной системы с Тувинской котловиной. Афтершоковый процесс Саянского землетрясения развивался поперек гор-

ного хребта. Сопоставляя данные о сильных и слабых землетрясениях и об афтершоках, можно предполагать, что сейсмичность Западного Саяна в значительной степени может объясняться неравномерным воздействием блочных структур Тувинской котловины на него. Выдвижение блоков Тувинской котловины к северу с разной скоростью приводит к неравномерности воздействия на Западный Саян и к активизации время от времени поперечных разломов, обычно спокойных в фоновом режиме сейсмичности.

При Урэг-Нурском землетрясении 15 мая 1970 года с  $M_s=7.0$  ( $50.18^\circ$  с.ш.,  $91.27^\circ$  в.д.) основной толчок вызвал разрывы вокруг достаточно небольшого блока горы Цагдул-Ула, при этом разрывы уходят в стороны по граням смежных блоков в сторону хр. Цаган-Шибету. Весьма вероятно, что разрыв на глубине продолжается в хр. Цаган-Шибету, и этим объясняется выход афтершокового процесса во внутреннюю область этого хребта. Важной особенностью афтершокового процесса Урэг-Нурского землетрясения является приуроченность событий не к главным блокоразделяющим разломам, а к внутриблочным разрывам более низкого порядка [7].

Процессы в очаговых областях крупнейших землетрясений Тувы проливают свет на геодинамику региона. Тектонический режим Тувы характеризуется как транспрессия (сдвиг в условиях сжатия) [5]. Именно такой режим в целом подтверждают закономерности развития фоновой сейсмичности, а вот данные о крупных землетрясениях Тувы, не отвергая общей концепции, говорят о значительном влиянии на сейсмический процесс локальных условий деформирования земной коры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аржанникова А.В., Аржанников С.Г. Сейсмотектонические исследования в Восточной Туве и землетрясения 27.12.2011 и 26.02.2012 гг. // Тувинские землетрясения 2011-2012 гг. – Кызыл: ТувИКОРП СО РАН, 2014. – С.10–25.
2. Белин-Бий-Хемское землетрясение 16 августа 2008 г. с  $K_p=15$ ,  $M_w=5.7$ ,  $I_0=7$  (Республика Тыва) / А.Ф. Еманов, Е.В. Лескова, А.А. Еманов и др. // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск, 2014. – С. 378–385.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В. Сейсмические активизации в Белино-Бусингольской зоне // Физическая мезомеханика. – 2010. – Т. 13, № 1. – С. 72–77.
4. Общее и индивидуальное в развитии афтершоковых процессов крупнейших землетрясений Алтае-Саянской горной области / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.Г. Филина и др. // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9, № 1. – С. 33–43.
5. Позднекайназойская геодинамика и механическая сопряжённость деформаций земной коры и верхней мантии Монголо-Сибирской подвижной области / В.А. Саньков, А.В. Парфеевец, А.В. Лухнев и др. // Геотектоника. – 2011. – № 5. – С. 52–70.
6. Тувинские землетрясения 27.12.2011 г.,  $M_L = 6.7$  и 26.02.2012 г.,  $M_L = 6.8$  и их афтершоки / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Е.В. Лескова и др. // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 456, № 2. – С. 223–226.
7. Урэг-Нурское землетрясение 15.05.1970 г.,  $M_s = 7.0$  (Монгольский Алтай), афтершоковый процесс и особенности современной сейсмичности эпицентральной области / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Е.В. Лескова и др. // Геология и геофизика. – 2012. – Т.53, № 10. – С. 1417–1429.

© А. Ф. Еманов, А. А. Еманов, Е. В. Лескова, А. В. Фатеев, 2017