

**УРЭГ-НУРСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 15.05.1970 г., $M_s = 7.0$ (Монгольский Алтай),
АФТЕРШОКОВЫЙ ПРОЦЕСС И ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ
СЕЙСМИЧНОСТИ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ**

**А.Ф. Еманов^{1,2}, А.А. Еманов^{1,2}, Е.В. Лескова^{1,2}, Ю.И. Колесников²,
В.В. Янкайтис¹, А.Г. Филина¹**

¹ *Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

² *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

Выполнен всесторонний анализ данных о сейсмическом процессе, вызванном одним из крупнейших землетрясений Алтая — Урэг-Нурским. Для лучшего понимания современного тектонического процесса дополнительно проведен эксперимент с локальной сетью временных сейсмологических станций в эпицентральной зоне этого землетрясения. Важной особенностью афтершокового процесса Урэг-Нурского землетрясения является приуроченность событий не к главным блокоразделяющим разломам, а к внутриблочным разрывам более низкого порядка. Развитие сейсмической активизации вкrest ориентации глубинных разломов связывается с выходом одного из разрывов, образовавшегося в результате Урэг-Нурского землетрясения, в хр. Цаган-Шибету. Установлено примыкание к афтершоковому процессу в завершающий период его развития сейсмической активизации смежного блока земной коры.

Сейсмология, Урэг-Нурское землетрясение, афтершоки, Монгольский Алтай.

**THE $M_s = 7.0$ UUREG NUUR EARTHQUAKE OF 15.05.1970 (Mongolian Altai):
THE AFTERSHOCK PROCESS AND CURRENT SEISMICITY IN THE EPICENTRAL AREA**

**A.F. Emanov, A.A. Emanov, E.V. Leskova, Yu.I. Kolesnikov,
V.V. Yankaitis, and A.G. Filina**

The aftershock process induced by the $M_s = 7.0$ Uureg Nuur earthquake, one of the largest events in the Altai, has been studied comprehensively. As an additional experiment, a temporary local network of seismic stations was deployed in 2006 in the epicentral area of the earthquake to gain more insights into the current tectonic activity. The aftershocks of the Uureg Nuur event were restricted to small faults in the interior of fault blocks rather than those being localized along border faults. Seismic activity across the directions of large faults has apparently been generated by a fault (in the Tsagaan Shuvuut Range) reactivated during the Uureg Nuur earthquake. The aftershock process, at its final phase, involved an adjacent crust block.

Seismology, Uureg Nuur earthquake, aftershocks, Mongolian Altai

ВВЕДЕНИЕ

До Чуйского землетрясения 2003 г. крупнейшим землетрясением Алтая за инструментальный период было Урэг-Нурское, произошедшее 15 мая 1970 г. ($M_s = 7.0$) на северо-востоке Монгольского Алтая в межгорной перемычке между двумя озерными впадинами: Убсу-Нур и Урэг-Нур, вблизи границы Монголии с Россией (рис. 1). Относительно редкая сеть как российских, так и монгольских станций в этой зоне на момент события не позволила получить детальные сведения об этом достаточно уникальном и крупном землетрясении. Следует отметить, что даже имеющиеся данные об его афтершоках не были достаточным образом проанализированы и опубликованы.

Описание сейсмогеологических обследований эпицентральной зоны Урэг-Нурского землетрясения и механизма главного толчка представлены в работах [Балжинням и др., 1971; Филина и др., 1973;

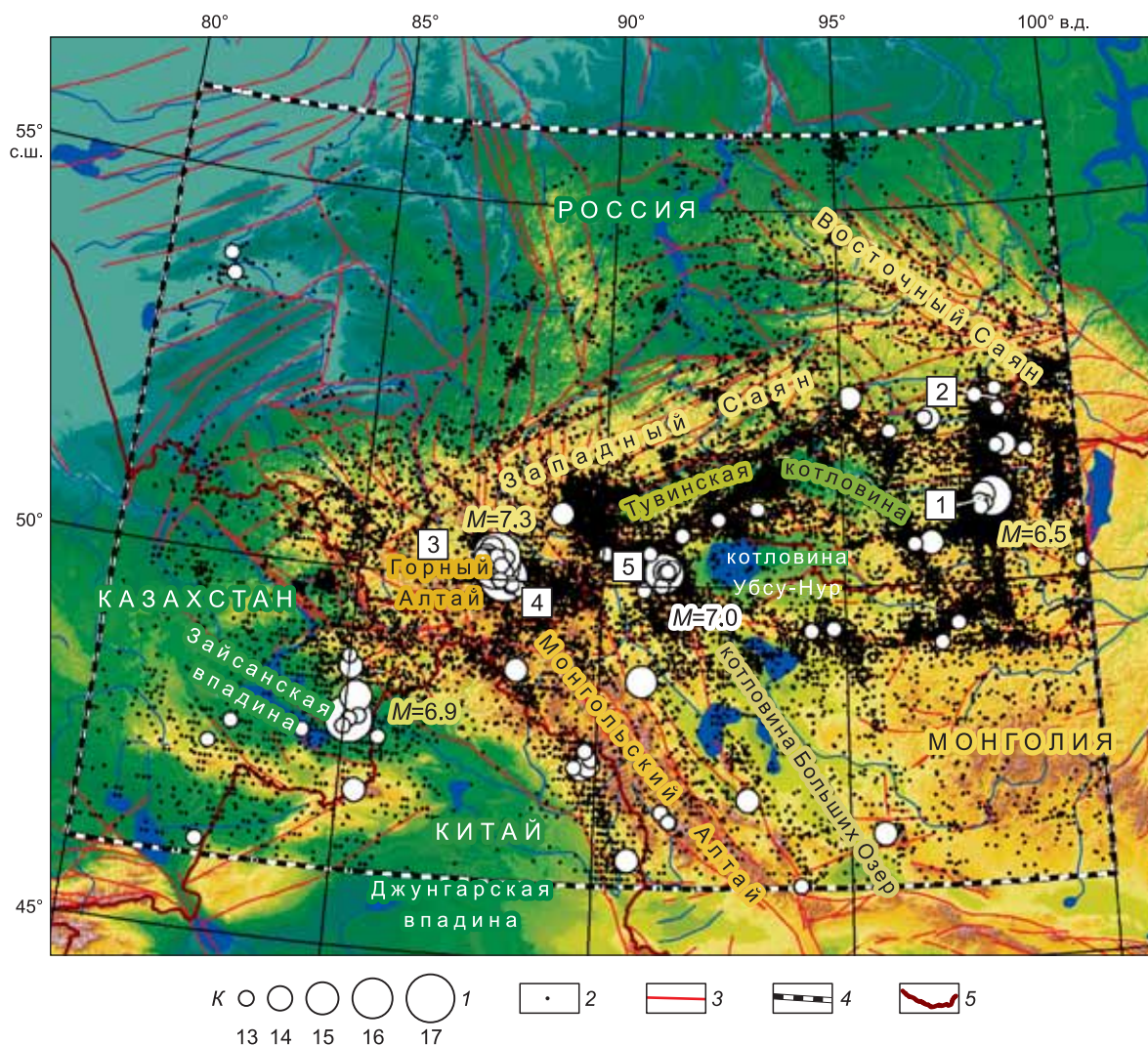


Рис. 1. Карта землетрясений Алтае-Саянской складчатой зоны за период инструментальных наблюдений 1963—2003 гг.

1—5 — впадины: 1 — Бусингольская, 2 — Белинская, 3 — Курайская, 4 — Чуйская, 5 — Урэг-Нурская. 1 — крупнейшие землетрясения в регионе (1963—2003), 2 — землетрясения с $K < 13$, 3 — разломы (ГИН РАН), 4 — граница каталога землетрясений Алтае-Саянской области, 5 — государственные границы.

Растворова, Цибульчик, 1984; Хилько и др., 1985; Молнар и др., 1995], а некоторые особенности афтершокового процесса рассмотрены в существенно более поздней работе [Еманов и др., 2006].

В 2006 г. в районе эпицентра Урэг-Нурского землетрясения был проведен эксперимент с временной локальной сетью цифровых сейсмических станций [Еманов и др., 2008]. Афтершоковый процесс исследуемого землетрясения давно завершился, но данный район всегда обладал высокой сейсмичностью, и перед экспериментом ставилась задача получить информацию о сейсмоактивных структурах района и о глубинах землетрясений.

В данной работе детально анализируются имеющиеся сведения по афтершокам Урэг-Нурского землетрясения, а также результаты изучения особенностей сейсмичности этой зоны по материалам эксперимента с локальной сетью станций. Детальные данные о современной сейсмичности этой области используются для лучшего понимания особенностей тектонических процессов при Урэг-Нурском землетрясении.

ПОЛОЖЕНИЕ И МЕХАНИЗМ ОЧАГА ГЛАВНОГО ТОЛЧКА

Определения параметров очага (координаты эпицентра, глубина, магнитуда) главного толчка Урэг-Нурского землетрясения по данным разных авторов и сейсмологических центров приведены в табл. 1.

Таблица 1.

**Параметры очага главного толчка Урэг-Нурского землетрясения
по данным разных авторов и организаций**

| Время в очаге | | | Координаты | | <i>M</i> | <i>H</i> , км | Источник |
|---------------|------|-------|------------|--------|---|---------------|--------------------------------------|
| ч: | мин: | с | с.ш. | в.д. | | | |
| 17: | 13: | 14.0 | 50.18 | 91.27 | 7.0 | 15 | АСФ ГС СО РАН |
| 17: | 13: | — | 50.17 | 91.23 | 7.0 | — | [Солоненко и др., 1993] |
| 17: | — | — | 50.17 | 91.25 | — | — | [Tapponnier, Molnar, 1979] |
| 17: | 13: | 13.66 | 50.203 | 91.265 | — | 10.7 | ЕНВ (University of Colorado, U.S.A.) |
| 17: | 13: | 14 | 50.10 | 91.20 | 6.9 (<i>M_s</i>) | 33 | Геофизическая служба РАН |
| 17: | 13: | 15.1 | 50.20 | 91.30 | 6.7 (<i>M_s</i>), 5.9 (<i>m_b</i>) | 33 | NEIC USGS |
| 17: | 13: | 12.5 | 50.19 | 91.24 | 5.9 (<i>m_b</i>) | 12 | ISC |

Несмотря на то что определения сделаны в одних случаях по далеким станциям, а в других по довольно редкой сети региональных станций, различными методиками локации и с использованием отличающихся скоростных моделей, мы видим хорошее согласие в решении положения эпицентра землетрясения. Разброс значений по координатам не превышает 0.1° по широте и по долготе, что соответствует примерно 10 км. Причем, за исключением решения, полученного в ГС РАН, все определения эпицентра попадают в пределы возникших при землетрясении сейсмодислокаций, зафиксированных в работе [Хилько и др., 1985]. Макросейсмические исследования говорят в пользу небольшой глубины очага [Хилько и др., 1985].

Определение механизма очага Урэг-Нурского землетрясения выполнено авторами данной работы по архивным материалам обработки записей станций региональных сетей Алтае-Саянского и Байкальского регионов, Монголии и существенно дополнено данными бюллетеня Международного сейсмологического центра [International..., 2010]. Всего в определении использованы знаки первых вступлений со 138 сейсмических станций. На рис. 2 представлено полученное решение в проекции нижней полусферы. Точность определения положения нодальных плоскостей и подвижки по ним составляет 15° .

Определением механизма очага главного толчка также в разное время занимались несколько коллективов ученых [Цибульчик, 1975; Tapponnier, Molnar, 1979; Хилько и др., 1985; Балакина и др., 1993; Солоненко и др., 1993; Мистрюков, Петров, 1994]. Все известные авторам опубликованные решения механизма очага Урэг-Нурского землетрясения представлены в табл. 2 и на рис. 3. Все определения, за исключением решения VIII монгольских авторов, фиксируют взброс со сдвиговой составляющей с различиями в ориентировке нодальных плоскостей и в величине сдвига. Существующие различия в механизмах могут объясняться как использованными скоростными моделями и возможными ошибками в определении глубины события, так и разными наборами данных, по которым были сделаны определения. Лишь в некоторых работах авторы приводят точности построения механизмов [Балакина и др., 1993; Мистрюков, Петров, 1994] или рисунки проекций полусфер, по которым можно судить о точности и наборе данных [Tapponnier, Molnar, 1979].

Так, в работе [Tapponnier, Molnar, 1979] приведен рисунок, на котором представлена проекция нижней полусферы. Исходя из того, что на приведенной полусфере все проекции станций расположены близко к центру (близгоризонтальные углы выхода луча из очага), можно понять, что в определении использованы данные только телесеизмических станций. А использование только однофазных

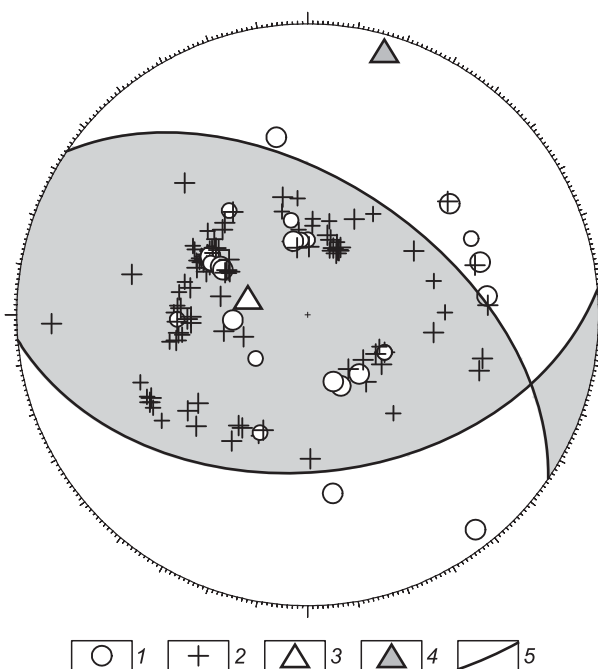


Рис. 2. Механизм очага Урэг-Нурского землетрясения в проекции нижней полусферы.

Знаки первых вступлений на станциях: 1 — растяжение, 2 — сжатие; оси напряжений: 3 — растяжения, 4 — сжатия; 5 — нодальные плоскости.

Таблица 2. **Параметры механизма очага Урэг-Нурского землетрясения (15.05.1970 г.) по данным разных авторов (в проекции нижней полусферы)**

| Время в очаге ч: мин: с | <i>M</i> | <i>H</i> , км | Plane I | | | Plane II | | | Ось <i>P</i> | | Ось <i>T</i> | | Ось <i>N</i> | | Источник | № события (см. рис. 3) |
|----------------------------|----------|------------------|---------|-----|------|----------|-----|------|--------------|----|--------------|----|--------------|----|---|------------------------|
| | | | Stk | Dip | Rake | Stk | Dip | Rake | Az | Pl | Az | Pl | Az | Pl | | |
| 17: 13: 14 | 7.0 | 15 | 85 | 45 | 60 | 304 | 52 | 117 | 16 | 4 | 276 | 69 | 107 | 21 | АСФ ГС СО РАН | I |
| 17: 13 — | 7.0 | — | 61 | 50 | 43 | 300 | 58 | 131 | 2 | 4 | 265 | 56 | 95 | 34 | [Солоненко и др., 1993] | II |
| 17: 13 — | 7.0 | — | 87 | 41 | 62 | 302 | 55 | 112 | 17 | 8 | 265 | 70 | 109 | 18 | [Балакина и др., 1993] | III |
| 17 — — | — | — | 62 | 68 | 32 | 318 | 60 | 154 | 189 | 5 | 282 | 38 | 93 | 52 | [Цибульчик, 1975; Хилько и др., 1985] | IV |
| 17: 13: 12 | 5.9 | 0 | 19 | 52 | 46 | 258 | 55 | 132 | 319 | 2 | 227 | 56 | 50 | 34 | [Мистрюков, Петров, 1994] | V |
| 17 — — | — | — | 149 | 50 | 150 | 256 | 60 | 30 | 15 | 5 | 111 | 54 | 281 | 36 | [Tarponnier, Molnar, 1979] | VI |
| 17 — — | — | — | 174 | 39 | 158 | 281 | 77 | 53 | 38 | 23 | 154 | 45 | 290 | 36 | ИФиТ АН МНР [Хилько и др., 1985] | VII |
| 17 — — | — | — | 201 | 57 | -48 | 325 | 53 | -131 | 165 | 56 | 262 | 2 | 342 | 30 | [Балжинням и др., 1971; Хилько и др., 1985] | VIII |

Примечание. *K* — энергетический класс, *M* — магнитуда, *H* — глубина (км); Plane I, II — нодальные плоскости; Ось *P* — ось сжатия, Ось *T* — ось растяжения, Ось *N* — промежуточная ось.

Параметры нодальных плоскостей: Stk — азимут простираения, Dip — угол падения, Rake — угол подвижки.

Параметры осей напряжений: Az — азимут, Pl — угол погружения.

знаков первых вступлений (сжатия) не дают возможности корректно определить положение нодальных плоскостей. По таким данным можно только уверенно сказать, что тип механизма — преимущественно взброс с возможной сдвиговой составляющей. Авторы варианта V в своем определении механизма также использовали в основном данные телесейсмических станций России и мира [Мистрюков, Петров, 1994]. К сожалению, мы не имеем никаких дополнительных сведений о решении механизма очага, выполненном в ИФиТ АН МНР (вариант VII).

Фокальные механизмы I, II, III и IV довольно схожи по виду, а разница в положении нодальных плоскостей не превышает точности их определений (± 10 — 30° для варианта III [Балакина и др., 1993], $\pm 15^\circ$ для варианта I). При этом нет сомнений, что авторы механизмов II и IV использовали помимо общедоступных данных мировой сети и все возможные данные регистрации землетрясения, полученные на близких станциях региональных сейсмических сетей. Таким образом, авторы решений I, II и IV, вероятнее всего, использовали идентичные наборы данных.

Механизм очага главного толчка, определенный авторами данной статьи, наиболее близко согласуется с фокальным механизмом из работы [Балакина и др., 1993] (III, см. в табл. 2 и на рис. 3). Авторы статьи [Балакина и др., 1993] утверждают, что исследования проводились с всесторонним анализом исходных сейсмологических, макросейсмических, геологических и других данных.

Таким образом, схожесть с тремя наиболее уверенными решениями механизма очага и хорошая точность определения представленного варианта позволяют нам использовать собственный механизм как наиболее обоснованный. Фокальный механизм фиксирует преимущественно взбросовый характер смещения по разлому субширотного простираения с небольшой сдвиговой составляющей.

На рис. 4 представлены инструментально определенный эпицентр главного толчка Урэг-Нурского землетрясения (вариант I, см. табл. 2), основные глубинные разломы и схема дислокаций, образовавшихся в результате землетрясения [Хилько и др., 1985]. Как видно из рисунка, главный толчок Урэг-

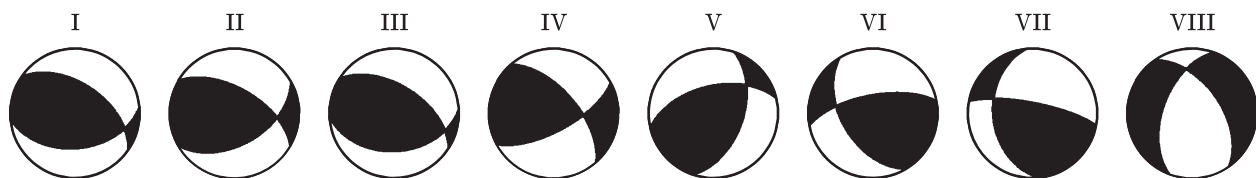


Рис. 3. Механизм очага Урэг-Нурского землетрясения в проекции нижней полусферы по данным разных авторов (см. табл. 2).

Нурского землетрясения не приурочен ни к одному из главных глубинных разломов. Севернее эпицентра Урэг-Нурского землетрясения проходит субширотно ориентированная зона Цаган-Шибетинского разлома, по своей кинематике относящаяся к надвигам и взбросам Монгольского Алтая. В работе [Молнар и др., 1995] отмечено, что Урэг-Нурское землетрясение произошло в районе именно этого глубинного разлома. Существование в механизме очага большой компоненты взбросо- или надвигообразования рассматривается авторами работы [Молнар и др., 1995] как доказательство приуроченности Урэг-Нурского землетрясения к Цаган-Шибетинскому разлому. Результаты изучения сейсмогенных деформаций на дневной поверхности [Хилько и др., 1985] показали, что сформировавшиеся при землетрясении разрывы в совокупности образуют сложно построенное поле и не увязываются с чисто взбросовым типом подвижки в очаге (рис. 4). Нанесенные на карту четыре разрыва, являющиеся наиболее крупными нарушениями дневной поверхности [Хилько и др., 1985], окружают г. Цагдул-Ула. Отмеченные нарушения сопровождаются целым рядом коротких прерывистых трещин [Хилько и др., 1985]. По характеру деформаций главная трещина отнесена к взбросу с незначительной левосторонней сдвиговой деформацией [Хилько и др., 1985]. Такой ориентировке главной трещины соответствует нодальная плоскость, обозначенная в табл. 2 как «Plane I» для варианта I (азимут простираения 85° , углы падения и подвижки 45° и 60° соответственно).

Отмечая, что координаты главного события соответствуют подножию горы Цагдул-Ула, вокруг которой сформировались разрывы дневной поверхности, можно понять, что мы имеем дело с тектоническим процессом, начавшимся не на Цаган-Шибетинском глубинном разломе, а в окрестности относительно небольшой горы, являющейся блоком, разделяющим Урэг-Нурскую впадину и падь Хэцу (см. рис. 4).

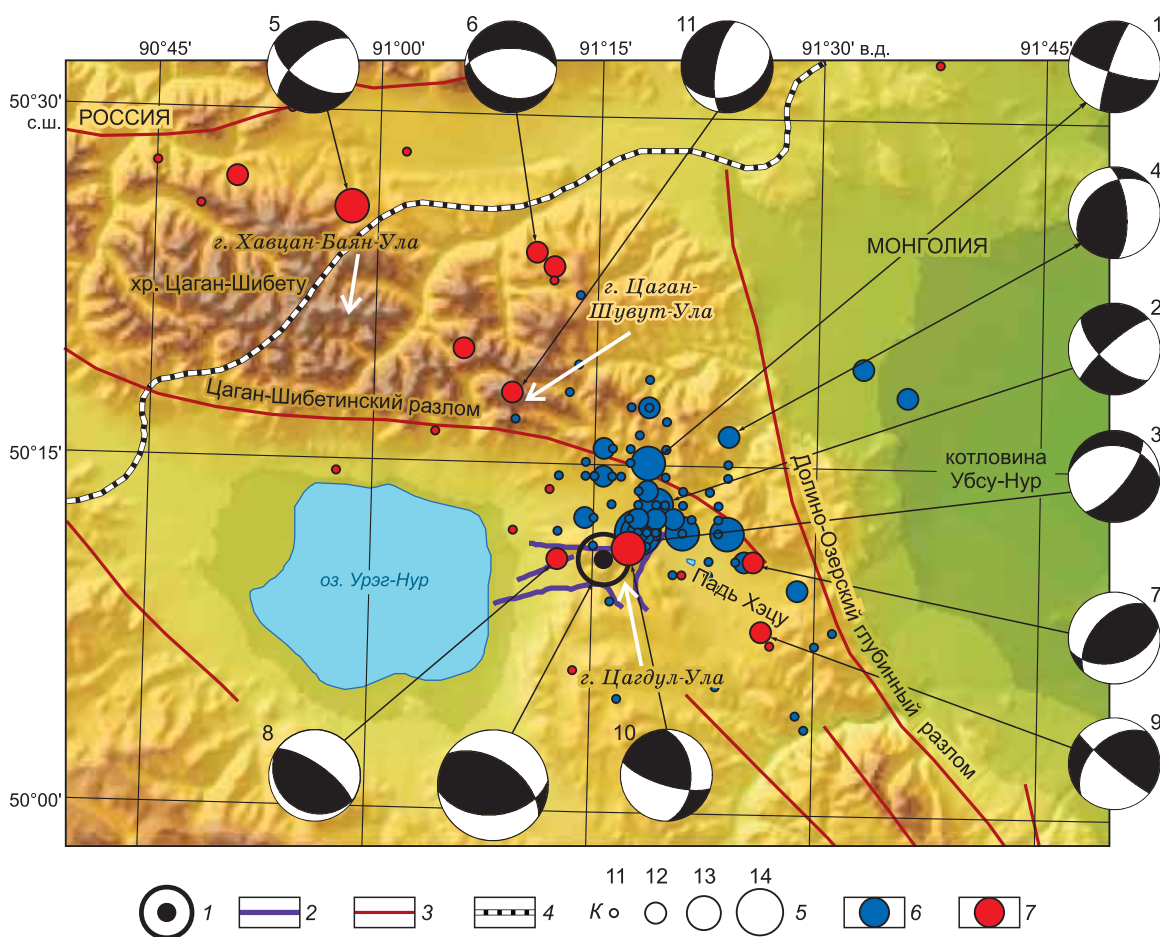


Рис. 4. Эпицентр Урэг-Нурского землетрясения и схема дислокаций, образовавшихся в результате землетрясения [Хилько и др., 1985], крупнейшие афтершоки (1970—1974 гг.) и землетрясения района за период 1975—2009 гг., механизмы очагов главного толчка (определение АСФ ГС СО РАН) и некоторых событий по данным разных авторов (см. табл. 3).

1 — эпицентр Урэг-Нурского землетрясения, 2 — сейсмодислокации Урэг-Нурского землетрясения [Хилько и др., 1985], 3 — разломы, 4 — государственная граница, 5 — землетрясения, 6 — афтершоки, 7 — последующие землетрясения (1975—2009).

К подобному выводу приходят авторы работы [Растворова, Цибульчик, 1984]. В этой работе развивается гипотеза о роли системы разломов, пересекающихся в районе г. Цагдул-Ула. Авторами выделяются группы блоков между хр. Цаган-Шибету и массивом Хархира-Нуру со слабовыраженными разломными границами северо-западного и северо-восточного простираний. Авторы объясняют сложный характер подвижки при главном толчке движением сразу по двум пересекающимся в эпицентре плоскостям, которые обосновываются геоморфологическим анализом строения эпицентральной области.

КРУПНЫЕ АФТЕРШОКИ

На рис. 4 также показано положение крупных афтершоков Урэг-Нурского землетрясения и последующих событий (с энергетическим классом $K > 10.5$), зарегистрированных в этой зоне после окончания афтершокового процесса (1975—2009 гг.), и механизмы очагов некоторых из них по данным разных авторов (табл. 3).

Данные о фокальных механизмах были взяты из литературных источников [Цибульчик, 1975; Землетрясения..., 1981; Солоненко и др., 1993; Балакина и др., 1993; Мистрюков, Петров, 1994; Хилько и др., 1985], один механизм очага для землетрясения 2003 г. (№ 11, см. табл. 3) был определен авторами по современным данным цифровых станций. Непосредственно афтершоками являются землетрясения с номерами 1—4 (первые дни активизации), а 5—11 рассматриваются как последующие события (1975—2003 гг.). Два первых афтершока с $M = 5.0$ произошли в тот же день, что и главное событие, и по своим координатам смещены относительно него в сторону Цаган-Шибетинского разлома. По механизму очага оба рассматриваемых афтершока являются сдвигами. Неопределенным является вопрос об ориентации плоскости разрыва. Следующие два крупных афтершока произошли один в районе горы Цагдул-Ула, а другой — на значительном удалении в хр. Цаган-Шибету в окрестности Долиноозерского глубинного разлома. Механизмы очагов этих событий показывают значительные вертикальные подвижки, в одном случае это взбросовая составляющая сдвига (№ 4), в другом — сбросовая (№ 3).

Все крупнейшие афтершоки в пространстве расположены в зоне, простирающейся к северо-востоку от главного события. Эта зона пересекает почти перпендикулярно блокоразделяющий Цаган-Шибетинский разлом.

Таблица 3. Параметры механизмов очагов землетрясений, произошедших в районе Урэг-Нурского землетрясения (15.05.1970 г.), по данным разных авторов (в проекции нижней полусферы)

| Дата | Время в очаге, ч:мин:с | Координаты | | <i>K</i> | <i>M</i> | <i>H</i> | Plane I | | | Plane II | | | Ось <i>P</i> | | Ось <i>T</i> | | Ось <i>N</i> | | Источник |
|------------|------------------------|--------------|--------------|-------------|----------|----------|---------|-----|------|----------|-----|------|--------------|----|--------------|----|--------------|----|---|
| | | с.ш. | в.д. | | | | Stk | Dip | Rake | Stk | Dip | Rake | Az | Pl | Az | Pl | Az | Pl | |
| 15.05.1970 | 17:58:28.0 | 50.25 | 91.31 | 12.7 | 5.0 | 33 | 107 | 79 | -8 | 198 | 82 | -167 | 63 | 14 | 332 | 2 | 234 | 76 | [Мистрюков, Петров, 1994] |
| 15.05.1970 | 20:12:17.0 | 50.22 | 91.32 | 12.9 | 5.0 | 34 | 133 | 64 | -13 | 230 | 78 | -152 | 94 | 28 | 359 | 9 | 252 | 61 | » |
| 17.05.1970 | 00:56 | 50.20 | 91.30 | 12.8 | — | — | 39 | 70 | -117 | 274 | 34 | -38 | 274 | 55 | 150 | 19 | 50 | 26 | [Балжинням и др., 1971; Хилько и др., 1985] |
| 18.05.1970 | 07:32:15.0 | 50.31 | 91.41 | 12.4 | 4.8 | 24 | 231 | 37 | 140 | 355 | 67 | 60 | 107 | 17 | 224 | 57 | 8 | 28 | [Мистрюков, Петров, 1994] |
| 02.02.1975 | 07:46 | 50.43 | 90.97 | 13.0 | 5.0 | — | 122 | 58 | -33 | 231 | 62 | -143 | 88 | 45 | 356 | 3 | 263 | 45 | [Солоненко и др., 1993] |
| 04.08.1977 | 19:13:06.2 | 50.40 | 91.18 | 11.8 | 4.5 | — | 270 | 57 | -102 | 112 | 35 | -71 | 144 | 75 | 9 | 11 | 277 | 11 | [Филина и др., 1973] |
| 16.09.1979 | 11:11 | 50.18 | 91.43 | 12.1 | 4.5 | — | 74 | 45 | 114 | 222 | 50 | 68 | 327 | 2 | 65 | 73 | 236 | 17 | [Солоненко и др., 1993] |
| 02.11.1980 | 20:34 | 50.18 | 91.21 | 11.6 | 4.5 | — | 305 | 71 | 92 | 119 | 19 | 84 | 33 | 26 | 218 | 64 | 124 | 2 | » |
| 05.11.1981 | 06:36 | 50.13 | 91.44 | 11.6 | 4.5 | — | 130 | 84 | 135 | 226 | 45 | 8 | 186 | 25 | 77 | 35 | 304 | 45 | » |
| 30.06.1988 | 15:25 | 50.19 | 91.29 | 12.7 | 5.0 | — | 358 | 45 | 154 | 107 | 72 | 48 | 226 | 12 | 334 | 46 | 122 | 39 | » |
| 03.07.2003 | 09:23:48.04 | 50.30 | 91.16 | 11.5 | — | 7 | 190 | 70 | -120 | 69 | 36 | -36 | 62 | 55 | 302 | 19 | 201 | 28 | — |

Примечание. Полу жирным курсивом выделены параметры, взятые из каталога Алтае-Саянского региона.

Последующие землетрясения с магнитудой около пяти, произошедшие после окончания афтершокового процесса, за исключением событий 1980 г. (№ 8) и 1988 г. (№ 10), происходили вне рассматриваемой зоны. Скорее всего, они связаны со структурами, смежными с эпицентральной областью. События, лоцированные в хр. Цаган-Шибету (№ 5, 6, 11), характеризуются большой сбросовой компонентой, а два землетрясения, зарегистрированных на продолжении Цаган-Шибетинского разлома (№ 7 и 9), имеют значительную взбросовую компоненту сдвига. Землетрясения № 8 и 10 произошли в эпицентральной области, и механизмы их очагов также фиксируют большие взбросовые подвижки.

ИССЛЕДОВАНИЕ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА

Карта землетрясений Алтае-Саянской складчатой зоны за период инструментальных наблюдений 1963—2003 гг. (см. рис. 1) не только показывает, где произошло рассматриваемое землетрясение, но и демонстрирует некоторые результаты работ по изучению условий возникновения крупных землетрясений данного региона [Еманов и др., 2005]. Белыми кружками обозначены землетрясения, начиная с тринадцатого энергетического класса, а все землетрясения меньших классов обозначены точками. Такое представление позволяет видеть крупные землетрясения, а по сгущениям черных точек — особенности сейсмического режима.

Ячеистая структура строения этой области в виде сочетания впадин и горных поднятий определяет особенности протекания сейсмичности. В этой зоне фоновая сейсмичность, хаотичная на первый взгляд, с течением времени упорядочивается в соответствии с блочной структурой, концентрируясь преимущественно в горном обрамлении впадин. Урэг-Нурское землетрясение по координатам соответствует горной перемычке между котловиной Убсу-Нур и впадиной Урэг-Нур и расположенной между ними падью Хэцу (см. рис. 4). Мы перечислили впадины разного масштаба, в окрестностях которых формировалась эпицентральной область. Остальные элементы эпицентральной области представляют собой горные массивы. Вблизи очаговой зоны землетрясения сходятся глубинные разломы разной ориентации. Сложное строение рассматриваемой области вызывает интерес к изучению особенностей развития во времени и пространстве сейсмической активизации, вызванной Урэг-Нурским землетрясением.

На рис. 5 приведены результаты пространственно-временного анализа активизации структуры по линии А—В—С (± 50 км): хр. Цаган-Шибету — западное обрамление котловины Убсу-Нур. Как следует из рис. 5, после землетрясения наблюдается сильнейшая сейсмическая активизация зоны длиной около 80 км, со временем отмечается уменьшение ее линейного размера и примерно через 5 лет сейсмическая активность снижается до фонового уровня. Интересен факт повышения сейсмичности в 1975 и 1988 гг. В обоих случаях это связано с крупными землетрясениями с энергетическим классом $K = 13$ (см. табл. 3).

На рис. 6, а представлен график затухания для всех землетрясений с $K > 7$, произошедших в полосе шириной ± 50 км от линии А—В—С в период 1970—1990 гг. Видно, что в зоне, охваченной афтершоковым процессом, существует кратковременное повышение сейсмичности, соответствующее активизации 1975 г. Тот факт, что этот сейсмический процесс не укладывается в рамки закона Омори (см. рис. 6, а), позволил нам усомниться, что события рассматриваемой активизации являются афтершоками Урэг-Нурского землетрясения. Была выполнена серия построений графика затухания с постепенно уменьшающейся шириной полосы анализа. Для полосы ± 10 км из анализа оказалась практически исключенной исследуемая активизация. В результате было получено хорошее соответствие экспериментальных данных закону Омори (см. рис. 6, б).

В данной ситуации можно предположить, что мы имеем дело с самостоятельным сейсмическим процессом в области афтершоковой деятельности Урэг-Нурского землетрясения. Из рис. 7, а мы видим, что эпицентр Урэг-Нурского землетрясения находится в узловой точке, где сходятся разломы разной ориентации. Облако эпицентров афтершоков в виде эллипса вытянуто в направлении расходящихся к северу активных разломов. Примечательно, что ориентация плоскости разрыва в очаге Урэг-Нурского землетрясения субширотная, а облако афтершоков своей длинной осью ориентировано почти перпендикулярно к ней. Зона сейсмической активизации, зафиксированной в 1975 г., примыкает с запада к области афтершоков и находится вне основных глубинных разломов.

Землетрясение 1988 г. также произошло в эпицентральной зоне (см. рис. 4) в районе горы Цагдул-Ула. Землетрясение вызвало повышение уровня сейсмичности в этой зоне, что хорошо отражено в графике затухания для полосы анализа шириной ± 10 км от линии А—В—С (см. рис. 6, б). Но по времени это событие уже не может рассматриваться как афтершоковый процесс, вероятнее всего, это также самостоятельная активизация в эпицентральной области Урэг-Нурского землетрясения.

Таким образом, активизация, вызванная Урэг-Нурским землетрясением, не ограничивается афтершоковым процессом. Обнаружены сопутствующие сейсмические процессы через 5 и 18 лет после землетрясения.

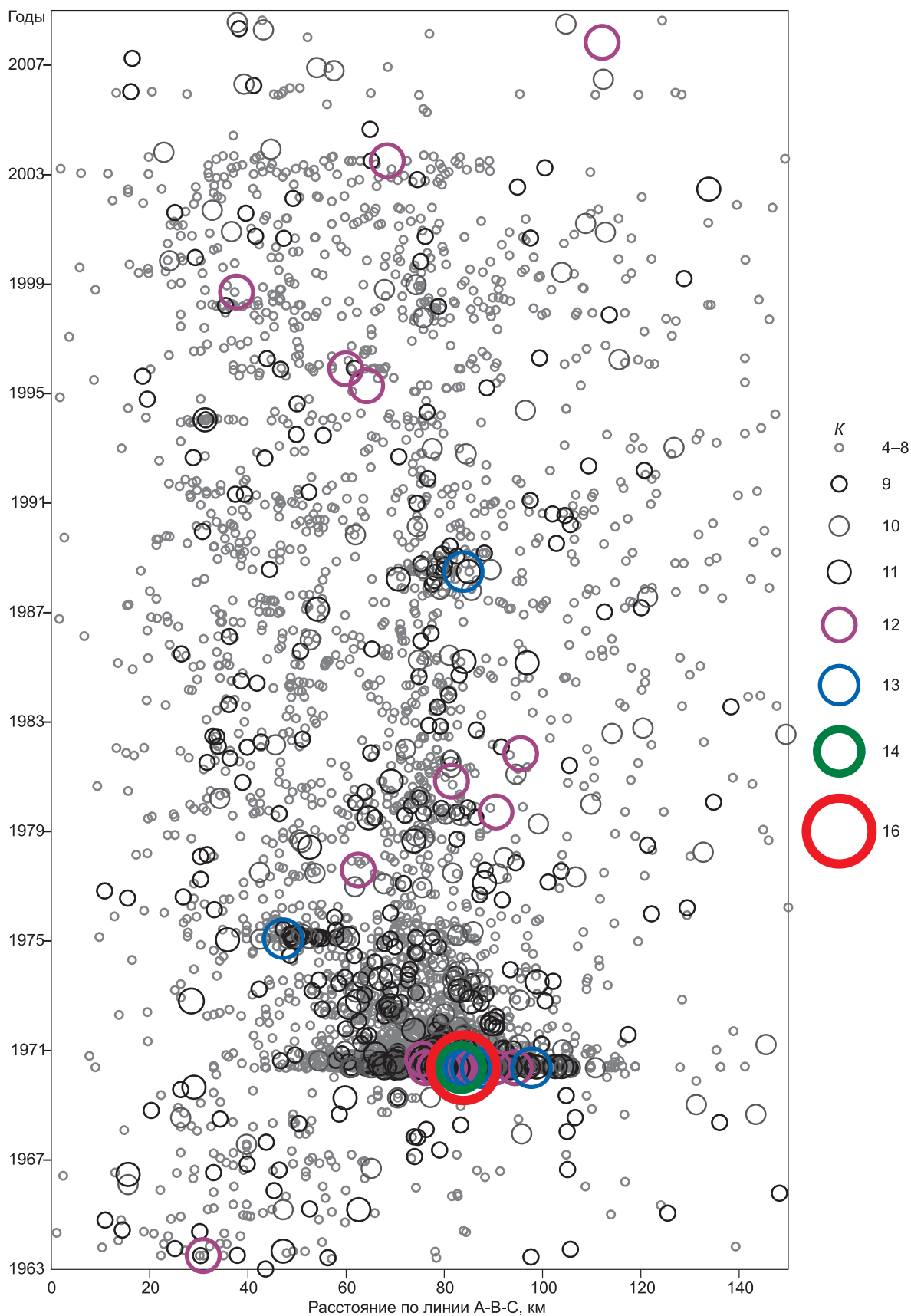


Рис. 5. Пространственно-временное представление сейсмического режима линейной зоны. Линия сноса: хр. Цаган-Шибету — западное обрамление котловины Убсу-Нур.

ЭКСПЕРИМЕНТ С ЛОКАЛЬНОЙ СЕТЬЮ СТАНЦИЙ

В 2006 г. в районе эпицентра Урэг-Нурского землетрясения была выставлена локальная сеть из 18 временных сейсмических станций (рис. 8). Афтершоковый процесс к этому моменту давно закончился, но фоновая сейсмичность этого района Алтая всегда была довольно высока. Целью эксперимента было получение информации об особенностях фоновой сейсмичности исследуемой области. Важно было получить первые сведения о глубинах землетрясений в этом районе, уточнить информацию о пространственной приуроченности землетрясений к тем или иным тектоническим структурам, изучить механизмы очагов землетрясений.

Регистрация сейсмических событий в непрерывном режиме велась с 28 июля по 7 августа 2006 г. Во время проведенного эксперимента зарегистрировано 52 землетрясения в диапазоне энергетических классов 2—7 (см. рис. 8).

Для 12 землетрясений были построены механизмы очагов. Во всех полученных механизмах преобладает вертикальная составляющая сдвига, при этом в большинстве случаев наблюдаются взбросы и лишь три события — сбросового характера (см. рис. 8).

На рис. 9 представлено распределение землетрясений по глубине. Все произошедшие события укладываются в интервал глубин 3—23 км и концентрируются главным образом на двух максимумах, соответствующих 6—8 и 12 км.

По пространственному распределению землетрясений можно выделить четыре группы. Первая группа сейсмических событий, соответствующая эпицентральной области Урэг-Нурского землетрясения, отличается малыми глубинами гипоцентров. В основном это глубины до 5 км и небольшое число — до 10 км. Для четырех землетрясений этой группы были построены механизмы очагов, три из них чисто взбросового характера и только одно — сброс с небольшой сдвиговой составляющей.

События в хр. Саглин-Барук-Нуру (вторая группа) происходят на глубинах более 15 км. Афтершоковый процесс этот хребет не затрагивал. Простираение нодальных плоскостей в двух фокальных механизмах, полученных для этой зоны (северо-восток — юго-запад), не совпадает с общей тенденцией для района в целом. Причем одно из землетрясений является сбросом, другое взбросом. Вероятнее всего, это говорит о локальных изменениях напряженного состояния в этой зоне.

Третья и четвертая группы событий сосредоточены в хр. Цаган-Шибету, но в разных его массивах. Третья группа связана с горой Цаган-Шувут-Ула. Эта область была также вовлечена в афтершоковый процесс Урэг-Нурского землетрясения. События этой группы происходят в широком диапазоне глубин: от 5 до 20 км. Третья группа — это активизация приграничной области хр. Цаган-Шибету с котловиной Убсу-Нур. Шесть механизмов очагов этой группы показывают практически одинаковое простираение нодальных плоскостей, а значит и плоскости разрыва: северо-запад — юго-восток, что говорит о приуроченности этих событий к одной тектонической структуре. И лишь одно событие является сбросом, остальные — взбросы.

Четвертая группа событий приурочена к массиву горы Хавцал-Баян-Ула. Гипоцентры землетрясений этой группы сосредоточены на глубинах 5—10 км. Именно в этом месте, граничащем с афтершоковым процессом, через четыре года после главного толчка началась сопутствующая активизация.

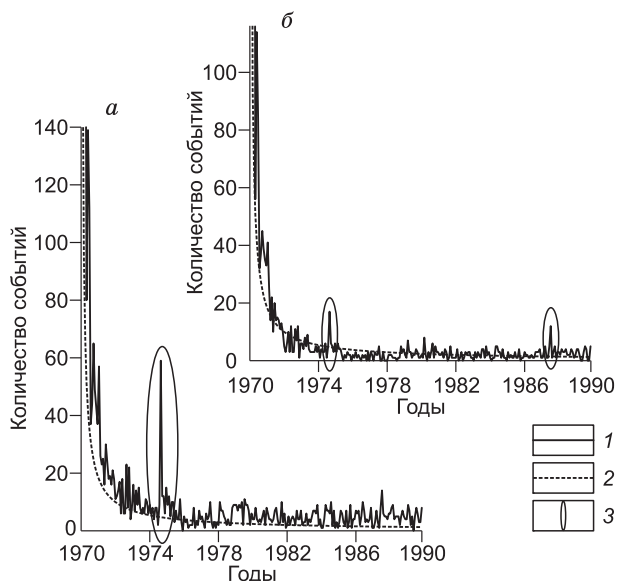
Основными результатами эксперимента можно считать следующие.

– Фоновая сейсмичность района Урэг-Нурского землетрясения упорядочена в соответствии с блоковой структурой по характерному для Алтая типу, когда землетрясения концентрируются преимущественно в горном обрамлении впадин.

– Выделены четыре обособленные группы событий, отличающихся друг от друга характеристиками и приуроченных к разным блокам горного обрамления впадин. Сейсмический процесс приурочен не к глубинным разломам, а к внутренним частям горных массивов.

Рис. 6. График затухания для событий зоны Урэг-Нурского землетрясения и аппроксимация экспериментальных данных законом Омори:

a — в полосе анализа шириной ± 50 км от линии сноса; *b* — в полосе ± 10 км от линии сноса. 1 — экспериментальные данные, 2 — теория, 3 — несоответствие закону Омори.



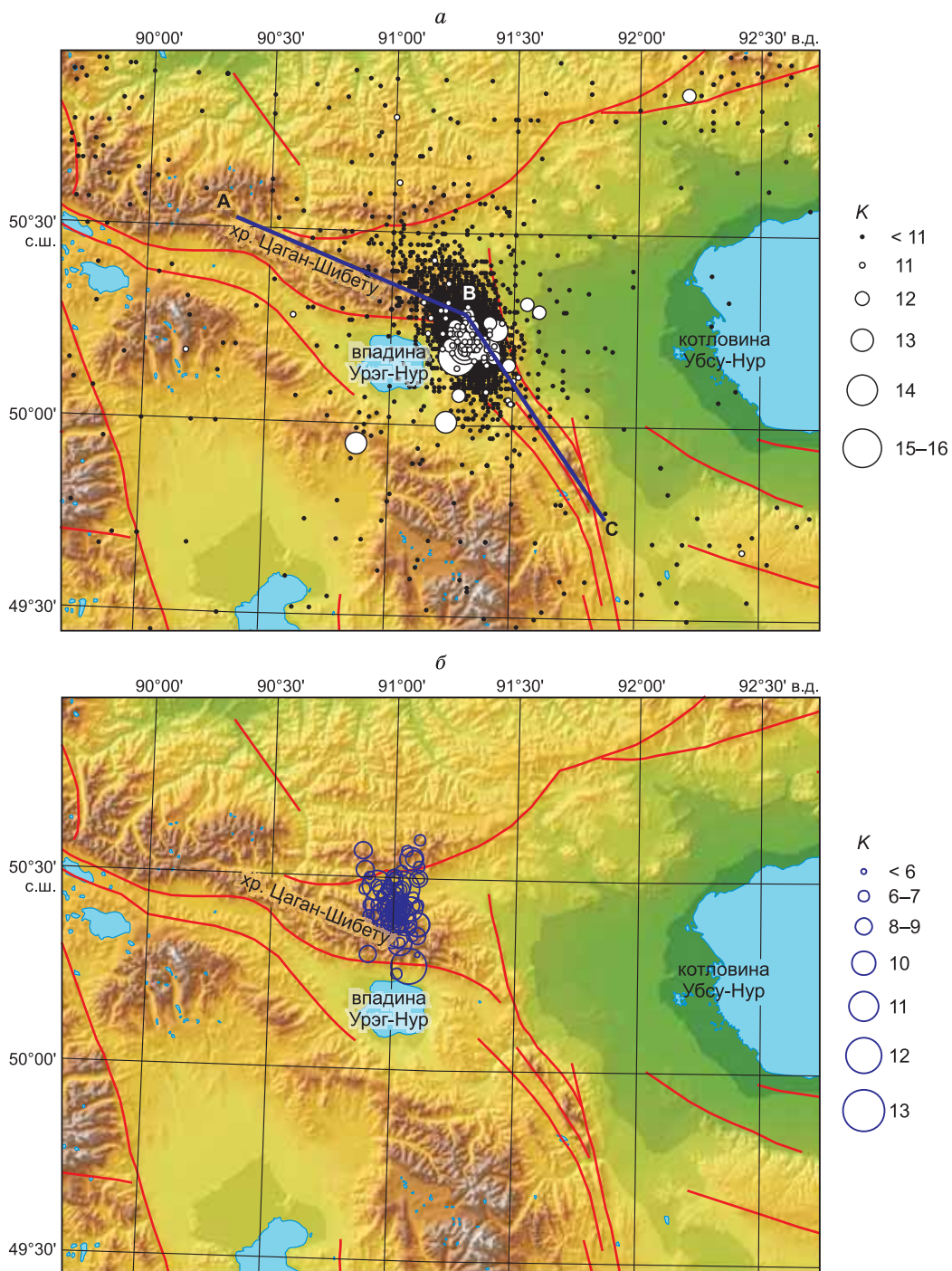


Рис. 7. Пространственное разделение двух сейсмических процессов.

а — эпицентры афтершоков за период 1970—1974 гг. и линия сноса А—В—С для пространственно-временного анализа; *б* — эпицентры землетрясений вторичной активизации 1975 г.

– Группа землетрясений в районе горы Цагдул-Ула (район эпицентра Урэг-Нурского землетрясения) характеризуется малыми глубинами землетрясений (около 5 км).

– Землетрясения в массиве хр. Саглин-Бурук-Нуру происходят на глубинах более 15 км. Этот блок не был охвачен интенсивным афтершоковым процессом после Урэг-Нурского землетрясения.

– В хр. Цаган-Шибету, где в основном протекал афтершоковый процесс, выделено две группы землетрясений. Первая группа событий соответствует массиву горы Цаган-Шувут-Ула, где афтершоко-

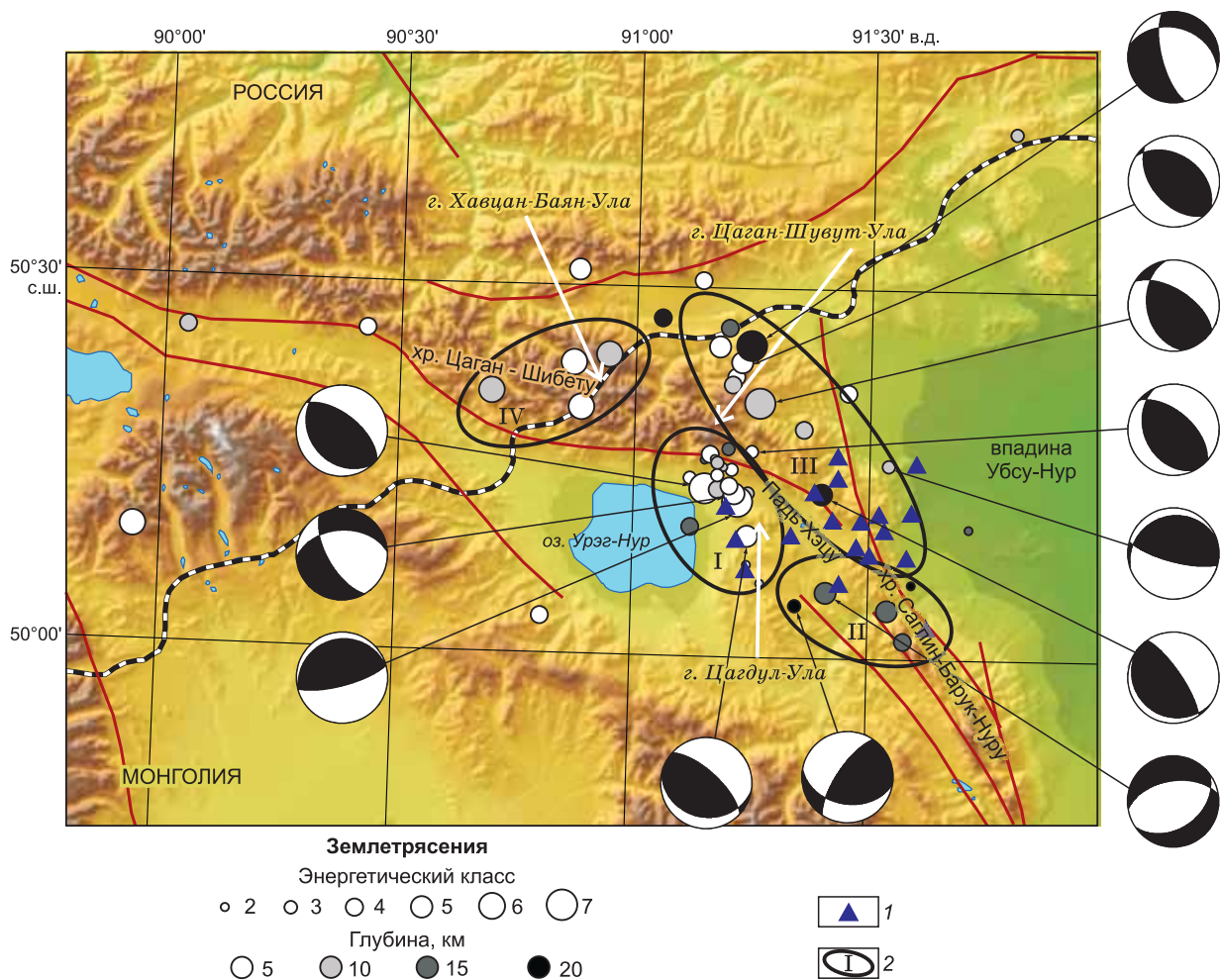


Рис. 8. Локальная сеть сейсмических станций в районе оз. Урэг-Нур в 2006 г., эпицентры зарегистрированных землетрясений и фокальные механизмы некоторых из них.

1 — сейсмостанции, 2 — группы землетрясений.

вый процесс был наиболее интенсивным, глубины гипоцентров здесь 5—20 км. Вторая группа пространственно принадлежит к массиву горы Хавцал-Баян-Ула, в этом месте через пять лет после главного толчка была зафиксирована активизация. Землетрясения этой группы происходят на глубинах 5—10 км.

— Во всех полученных механизмах очагов современных событий преобладает вертикальная составляющая сдвига, в большинстве наблюдается взбросовый тип подвижки. При этом изменение типов механизмов и простирания их нодальных плоскостей зависят от приуроченности к различным горным блокам.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Урэг-Нурское землетрясение (15 мая 1970 г., $M_s = 7.0$) произошло в северо-восточной окраинной части Монгольского Алтая в межгорной перемычке между Урэг-Нурской и Убсу-Нурской впадинами. Обратившись к схеме межгорных и предгорных впадин Алтая [Новиков, 2004], можно отметить, что сама Урэг-Нурская впадина, будучи межгорной, относится к геологической структуре, которая выглядит как выступ Монгольского Алтая во впадины предалтайского прогиба. С востока от этой структуры находятся Убсу-Нурская, а с запада — Ачит-Нурская впадины. Урэг-Нурская впадина в значительной степени приподнята относительно предгорных впадин, но по размерам существенно меньше своих соседей. К Урэг-Нурской впадине примыкает падь Хэцу, которая, по сути, является также межгорной котловиной существенно меньшего размера. Вместе они практически огибают гору Цагдул-Ула.

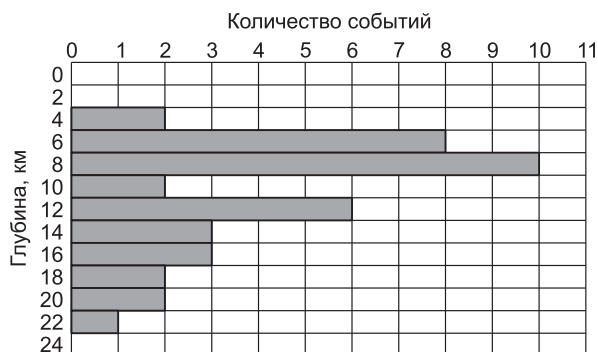


Рис. 9. Глубины землетрясений в районе оз. Урэг-Нур по данным локальной сети станций.

Имеющиеся данные указывают на то, что Урэг-Нурское землетрясение произошло не на глубинном Цаган-Шибетинском разломе, а на границе горы Цагдул-Ула с окружающими ее структурами. В разрывах дневной поверхности имеются взбросовые нарушения, но при этом в значительной степени зафиксированы зияющие трещины растяжения. Разрывы дневной поверхности окружают со всех сторон гору

Цагдул-Ула. Ясно, что мы имеем очаг со сложной механикой разрушения среды и излучения сейсмических волн.

Одной из особенностей афтершокового процесса Урэг-Нурского землетрясения является то, что основные глубинные разломы этой зоны не активизированы сейсмическим процессом. По наиболее достоверно определенным положениям крупных афтершоков прослеживается развитие сейсмического процесса на северо-восток от горы Цагдул-Ула по линии, перпендикулярной к блокоразделяющему разлому, с выходом в горный массив Цаган-Шибету.

В работе [Растворова, Цибульчик, 1984] для данной ориентации афтершокового процесса был обоснован тектонический разлом, уходящий от горы Цагдул-Ула в Цаган-Шибетинский хребет. Обоснованное исследователями направление подвижки подтверждается особенностями развития афтершокового процесса и соответствует данным о разрывах дневной поверхности при Урэг-Нурском землетрясении [Хилько и др., 1985]. Разрывы, окаймляющие гору Цагдул-Ула (см. рис. 2), уходят в стороны от нее. Один из разрывов имеет направление, совпадающее с направлением развития афтершокового процесса. Два крупных афтершока по типу механизма очага являются сдвигами с вероятной ориентацией перпендикулярно хребту Цаган-Шибету.

Афтершоковый процесс Урэг-Нурского землетрясения, прежде всего, охватывает эпицентральную область около горы Цагдул-Ула и массив горы Цаган-Шувут-Ула (хр. Цаган-Шибету). Массив горы Хавцал—Баян Ула (западнее в том же хребте) сейсмически активизировался через пять лет после Урэг-Нурского землетрясения. В работе [Растворова, Цибульчик, 1984] обосновывалась геоморфологическими данными возможность подвижки при главном толчке по двум пересекающимся разрывам одновременно. Развитие афтершокового процесса соответствует простиранию одного из них. Активизация 1975 г. в массиве горы Цаган-Шувут-Ула, пространственно примыкающая к афтершоковой области, но не укладывающаяся в рамки одного афтершокового процесса, имела место на продолжении второго разрыва.

Большинство крупнейших землетрясений Евразии приурочено к крупным разломным зонам или к узлам сочленения разломов разной ориентации [Шебалин, 1997; Арефьев, 2003]. Но в ряде случаев сейсмический процесс охватывает сложную блочную структуру, к примеру, как при Газлийских землетрясениях 1976 и 1984 гг., где плоскости сейсмогенерирующих подвижек оконтурили в недрах объемный блок земной коры [Рогожин, 2000; Арефьев, 2003], или как при Гоби-Алтайском землетрясении 1957 г., когда разрывы дневной поверхности очертили систему, состоящую из нескольких блоков земной коры [Молнар и др., 1998].

При Урэг-Нурском землетрясении 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. Эксперимент с локальной сетью станций подтвердил, что и фоновая сейсмичность настоящего времени обладает той же приуроченностью к внутренним частям блоков земной коры.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы РАН ОНЗ-7 (проект 4).

ЛИТЕРАТУРА

Арефьев С.С. Эпицентральные сейсмологические исследования. М., ИКЦ «Академкнига», 2003, 375 с.

Балакина Л.М., Захарова А.И., Москвина А.Г., Чепкунас Л.С. Исследование механизмов очагов сильных коровых землетрясений Северной Евразии 1927—1991 // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М., ИФЗ РАН, 1993, с. 123—131.

Балжинням И., Баяр Г., Цэмбел Б. Цаган-Шувуутское землетрясение. БНМАУ Шинжлэх Ухааны Акад. Мэдээ, 1971, № 3, с. 17—21.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В. Пространственно-временные особенности сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны // Физическая мезомеханика, 2005, т. 8, № 1, с. 49—64.

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, т. 9, № 1, с. 33—43.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Колесников Ю.И., Кузнецов К.Г. Сейсмический мониторинг района Урэг-Нурского землетрясения 15.05.1970, $M_s = 7.0$ (Горный Алтай, Монголия) // Землетрясения России в 2006 году. — Обнинск, ГС РАН, 2008, с. 73—76.

Землетрясения в СССР в 1977 году. М., Наука, 1981, 248 с.

Мистрюков А.О., Петров В.А. Каталог механизмов очагов землетрясений, 1964—1990 // Материалы мирового центра данных Б. М., ВИНТИ, 1994, 87 с. http://www.brk.adm.yar.ru/seism/catalogue_r.html

Молнар П., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Демьянович М.Г., Борисов В.А., Ващилов Ю.Я. Деформация и разрывообразование при сильных землетрясениях в Монголо-Сибирском регионе // Глубинное строение и геодинамика Монголо-Сибирского региона. Новосибирск, Наука, 1995, с. 5—55.

Молнар П., Курушин Р.А., Баясгалан А., Хаднат К.В. Дислокации Гоби-Алтайского (Монголия) землетрясения 1957 г. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 1998, 148 с.

Новиков И.С. Морфотектоника Алтая. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004, 313 с.

Растворова В.А., Цибульчик И.Д. Урэг-Нурское землетрясение 15.V.1970 г. в Северо-Западной Монголии // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 25. 1984, с. 120—124.

Рогожин Е.А. Тектоника очаговых зон сильных землетрясений Северной Евразии конца XX столетия // Российский журнал наук о Земле, февраль 2000, т. 2, № 1, с. 37—62.

Солоненко А.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И., Козьмин Б.Н., Кучай О.А., Суханова С.С. Напряжения и подвижки в очагах землетрясений Сибири и Монголии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М., ИФЗ РАН, 1993, с. 113—122.

Филина А.Г., Цибульчик И.Д., Хайдуков В.Г., Щеглов В.И. Землетрясения Алтая и Саян // Землетрясения в СССР в 1970 году. М., Наука, 1973, с. 118—122.

Хилько С.Д., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Мишарина Л.А., Мельникова В.И., Гилева Н.А., Ласточкин С.В., Балжинням И., Монхоо Д. Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии // Труды Совместной советско-монгольской научно-исследовательской геологической экспедиции. Вып. 41. М., Наука, 1985, 224 с.

Цибульчик И.Д. Некоторые результаты исследований напряженного состояния в очагах землетрясений Алтая и Саян // Сейсмичность Алтае-Саянской области. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1975, с. 48—56.

Шебалин Н.В. Сильные землетрясения. Избранные труды. М., Изд-во Академии горных наук, 1997, 542 с.

International Seismological Centre, on-line bulletin. Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2010. <http://www.isc.ac.uk/>

Tapponnier P., Molnar P. Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Mongolia and Baikal region // J. Geophys. Res., 1979, v. 84, № 7, p. 3425—3459.

*Рекомендована к печати 16 февраля 2012 г.
В.С. Селезневым*

*Поступила в редакцию
3 августа 2011 г.*