

МОРФОТЕКТНИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОСТОЧНОГО ОКОНЧАНИЯ БОЛНАЙСКОГО РАЗЛОМА (Монголия)

А.В. Аржанникова, Р. Вассалло*, С.Г. Аржанников, М. Жоливе**

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

** LGCA, ISTERre, Université de Savoie, Le Bourget du Lac, France*

*** Laboratoire Géosciences Rennes, CNRS-UMR 6118, Université Rennes 1, Rennes, France*

Болнайский (Хангайский) разлом является активной сдвиговой системой, сгенерировавшей одно из крупнейших внутриконтинентальных землетрясений мира — Болнайское землетрясение 23 июля 1905 г. с магнитудой 8.2—8.5. Разлом трассируется в зоне мезозойской сутуры, сформировавшейся при закрытии Монголо-Охотского океана. Позднекайнозойская активизация разломов в данном регионе связана с процессами распространения деформаций, вызванных Индо-Азиатской коллизией, которые достигли территории Монголии 5±3 млн лет назад. Болнайский разлом практически на всем своем протяжении является левосторонним сдвигом, который компенсируется на западном окончании позднечетвертичными взбросовыми деформациями. В задачи нашей работы входило определение амплитуды косейсмических деформаций 1905 г. и предыдущих землетрясений на восточном окончании разлома, а также возможности компенсации сдвиговых перемещений на этом отрезке вертикальными типами деформаций. Измеренная по смещению тальвега водотока и продольных галечных баров долины р. Хясань-Гол амплитуда косейсмических деформаций 1905 г. составила 6.5—7.5 м. Амплитуда левостороннего сдвига галечных баров той же долины в 13±1 м соответствует накопленному смещению за два землетрясения. Палеосейсмологическое изучение разреза вкострости простирающихся поверхностных деформаций показало наличие, как минимум, двух генераций разрывов, образовавшихся во время двух сейсмических событий, которые произошли после накопления горизонта с возрастом 4689 ± 94 лет. Анализ гипсометрии аллювиальной поверхности в зоне деформаций показал постепенное увеличение абсолютной высоты в сторону хребта без каких-либо изменений при пересечении разлома, что свидетельствует о том, что разлом на этом участке обновлялся как левосторонний сдвиг без какой-либо значительной вертикальной компоненты. Компенсация сдвиговых перемещений на восточном продолжении Болнайского разлома обусловлена наличием системы параллельных впадин СВ направления, расположенных косо к основному простираению сдвига. Впадины ограничены сбросами и представляют собой присдвиговые области растяжения. Возраст осадочного заполнения присдвиговых впадин свидетельствует о том, что компенсация сдвигов по Болнайскому разлому сбросовыми деформациями происходила, как минимум, со среднего плейстоцена.

Сдвиговые разломы, морфотектоника, палеосейсмология.

MORPHOTECTONICS AND PALEOSEISMOLOGY OF THE EASTERN END OF THE BOLNAY FAULT (Mongolia)

A.V. Arzhannikova, R. Vassallo, S.G. Arzhannikov, and M. Jolivet

The Bolnay (Hangayn) fault is an active shear system which generated the $M = 8.2-8.5$ Bolnay earthquake of 23 July 1905, one of world's largest recorded intracontinental event. The fault follows the Mesozoic suture formed during the closure of the Mongolia–Okhotsk ocean. The Late Cenozoic faulting in the region was induced by propagation of strain from the India–Eurasia collision that had reached Mongolia at about 5 ± 3 Ma. The left-lateral strike slip almost all over the fault length is compensated in its western end by Late Quaternary reverse motion. We estimated coseismic slip associated with the event of 1905 and the previous earthquakes in the eastern fault end and checked whether vertical offset compensates the strike slip in this part as well. The 1905 coseismic slip measured from a displaced dry stream bed and pebble bars in the Hasany-Gol river valley was 6.5–7.5 m. The 13 ± 1 m left-lateral displacement of pebble bars in the same valley represents a cumulative slip of two events. Paleoseismological studies across the strike of surface ruptures reveal at least two generations of rupture in two events that postdated the deposition of sediments with a ^{14}C age of 4689 ± 94 yr. Hypsometry of the alluvial surface in the zone of deformation shows gradual elevation increase toward the mountains, but without abrupt change across the fault. This means the absence of vertical offset and reactivation of the fault as a left-lateral strike slip. The horizontal slip in the eastern extension of the Bolnay fault is compensated rather by parallel fault-bounded pull-apart basins trending northeastward oblique to the principal fault strike. The age of their sedimentary fill suggests no older than middle Pleistocene normal faulting that compensated the Bolnay strike slip.

Strike-slip fault, morphotectonics, paleoseismology

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

© А.В. Аржанникова✉, Р. Вассалло, С.Г. Аржанников, М. Жоливе, 2015

✉ e-mail: arzhan@crust.irk.ru

DOI: 10.15372/GiG20151010

Болнайский (Хангайский) разлом является активной сдвиговой системой Байкало-Монгольского региона, сгенерировавшей одно из крупнейших внутриконтинентальных землетрясений мира — Болнайское землетрясение 23 июля 1905 г. Магнитуда этого события оценена между 8.2 и 8.5 [Хилько и др., 1985; Baljinyam et al., 1993; Schlupp, Cisternas, 2007]. Болнайский разлом субширотного простирания расположен в северной части Хангайского массива на востоке и выходит в Котловину Больших Озер на западе (рис. 1). Поверхностный разрыв длиной 375 км, впервые закартированный А.В. Вознесенским [1962], представляет собой левый сдвиг [Хилько и др., 1985; и др.]. Разлом трассируется в зоне мезозойской сутуры, сформировавшейся при закрытии Монголо-Охотского океана. Позднекайнозойская активизация разломов в данном регионе связана с процессами распространения деформаций, вызванных Индо-Азиатской коллизией, которые достигли территории Монголии 5 ± 3 млн лет назад [Jolivet et al., 2007]. Конкретно для Болнайского разлома примерное время активизации, связанной с накоплением сдвиговых смещений с общей амплитудой в 4 км, зафиксированной на западном окончании разлома, оценено в ~ 1.5 млн лет [Rizza et al., 2015]. Восточное окончание разлома является ключевым районом, так как находится в зоне перехода от деформационного режима сжатия, господствующего в Северной Монголии, к режиму растяжения, характерному для района Забайкалья.

Предыдущие морфотектонические исследования центральной части Болнайского разлома позволили предварительно оценить скорости смещения по двум участкам — они колеблются от 2.6 ± 0.7 до 3.15 ± 0.9 мм/год [Rizza et al., 2010]. В работе [Rizza et al., 2015] рассчитана средняя горизонтальная скорость смещения по разлому — 2.7 ± 0.3 мм/год за позднелейстоцен-голоценовый период. Это согласуется с современной скоростью деформаций в 2.6 ± 1.0 мм/год, измеренной GPS — геодезией [Calais et al., 2003].

По данным [Хилько и др., 1985; Baljinyam et al., 1993; Schwartz et al., 2009], амплитуды сдвиговых смещений, связанных с землетрясением 1905 г., колеблются от 8 ± 2 м до 11 ± 2 м и уменьшаются в западной части разлома до 5 ± 2 м. Детальные морфотектонические исследования с использованием кинематической GPS на разных участках разлома в центральной его части, представленные в работе [Rizza et al., 2015], показали, что образовавшиеся при землетрясении 1905 г. горизонтальные косейсмические смещения имеют постоянную амплитуду 8.9 ± 0.6 м.

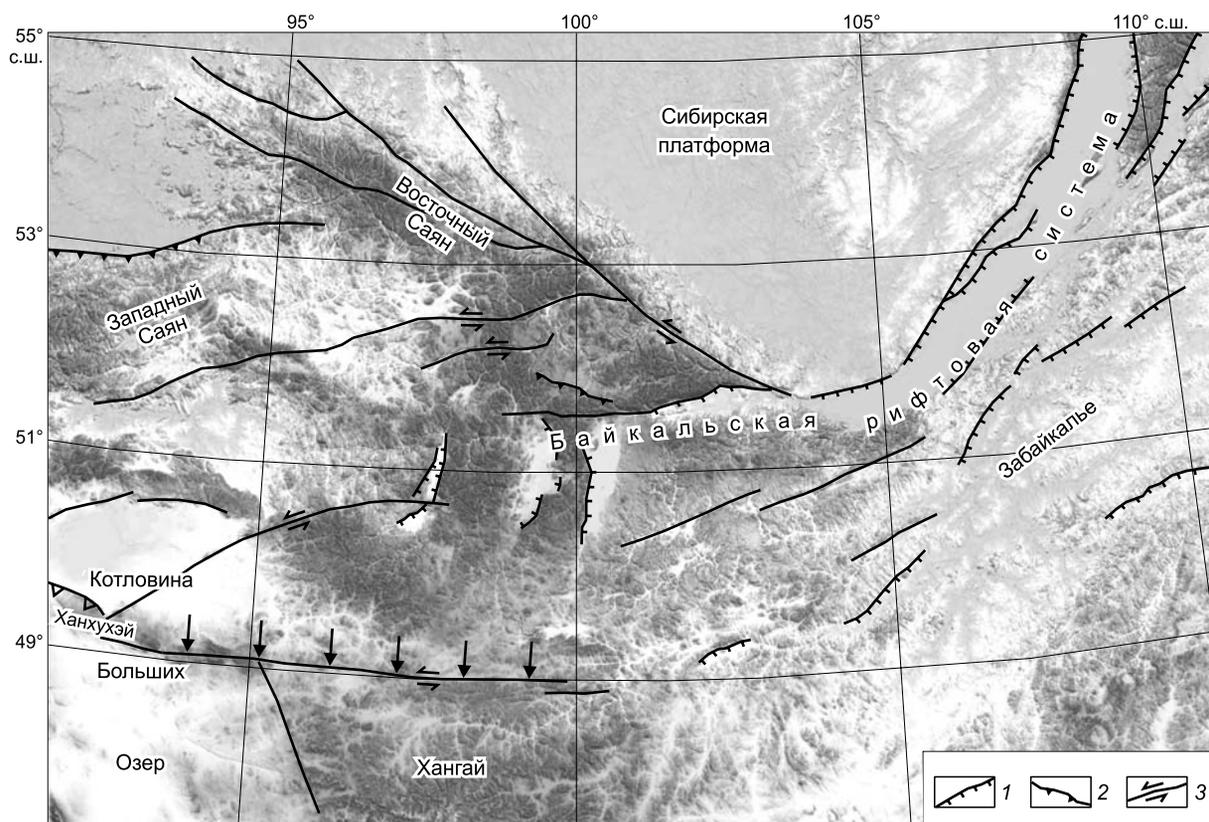


Рис. 1. Обзорная схема Байкало-Монгольского региона.

Главные активные разломы: 1 — сбросы, 2 — взбросы, 3 — сдвиги. Зона Болнайского разлома обозначена черными стрелками.

В зоне деформаций наблюдаются следы и более древних землетрясений. Масштаб и характер деформаций показывает, что они являются накопленными от нескольких сейсмических событий, подобных имевшему место в 1905 г. Палеосейсмологические исследования [Rizza et al., 2015] позволили установить еще два крупных землетрясения, предшествующих землетрясению 1905 года, с интервалом повторяемости в 3000—4000 лет. Отметим, что крупные землетрясения в этом районе происходили гораздо реже, чем в соседнем регионе. Так, для Чуйской впадины Горного Алтая повторяемость сильных землетрясений за последние 9 тыс. лет составляет 800 лет [Агатова и др., 2014].

Болнайский разлом практически на всем своем протяжении является левосторонним сдвигом, а в районе его западного окончания (в молодом горном массиве Ханхухэй (см. рис. 1)), как отмечают авторы работы [Rizza et al., 2015], рельеф отражает позднечетвертичные взбросовые деформации, компенсирующие 4 км сдвига по Болнайскому разлому. В задачи нашей работы входило определение амплитуды косейсмических деформаций 1905 г. и, по возможности, предыдущих землетрясений на восточном окончании разлома, расположенном в переходной деформационной зоне, а также вероятности компенсации сдвиговых перемещений на этом отрезке вертикальными подвижками. Целью палеосейсмологических исследований было определение возраста поверхностных разрывов, сохранившихся на восточном окончании Болнайского разлома. Данный комплекс исследований внесет свой вклад в понимание процессов позднечетвертичного деформирования земной коры в области перехода от тектонического режима сжатия в Северной Монголии к режиму растяжения в Забайкалье.

МОРФОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОСТОЧНОГО ОКОНЧАНИЯ БОЛНАЙСКОГО РАЗЛОМА

Продолжение Болнайского разлома к востоку от сейсмогенного разрыва 1905 г., который заканчивается в районе оз. Сангийн-Далай-Нур (рис. 2), рассмотрено в работе [Хилько и др., 1985]. На схеме, представленной в указанной работе (см. рис. 2), отмечено, что восточнее оз. Сангийн-Далай-Нур в зоне Болнайского разлома наблюдается еще один участок сейсмогенного обновления в районе р. Бусэйн-Гол. Бусэйнгольская палеосейсмодислокация длиной около 6 км представлена левосторонним сдвигом [Хилько и др., 1985]. Далее разлом поворачивает к юго-востоку, переходя в систему параллельных разрывов. Левостороннее смещение южного блока здесь компенсируется движениями по параллельным разломам в хр. Болнай, где и наблюдаются сейсмогенные обновления, например, Дзуннурская палеосейсмодислокация (см. рис. 2). Дзуннурская палеосейсмодислокация представляет собой левый взбросо-сдвиг протяженностью 53 км и связана с палеоземлетрясением с $M = 7.8$ [Хилько и др., 1985].

Далее на восток на цифровой модели рельефа показано продолжение Болнайского разлома системами параллельных впадин СВ направления, расположенными косо к основному простиранию разлома

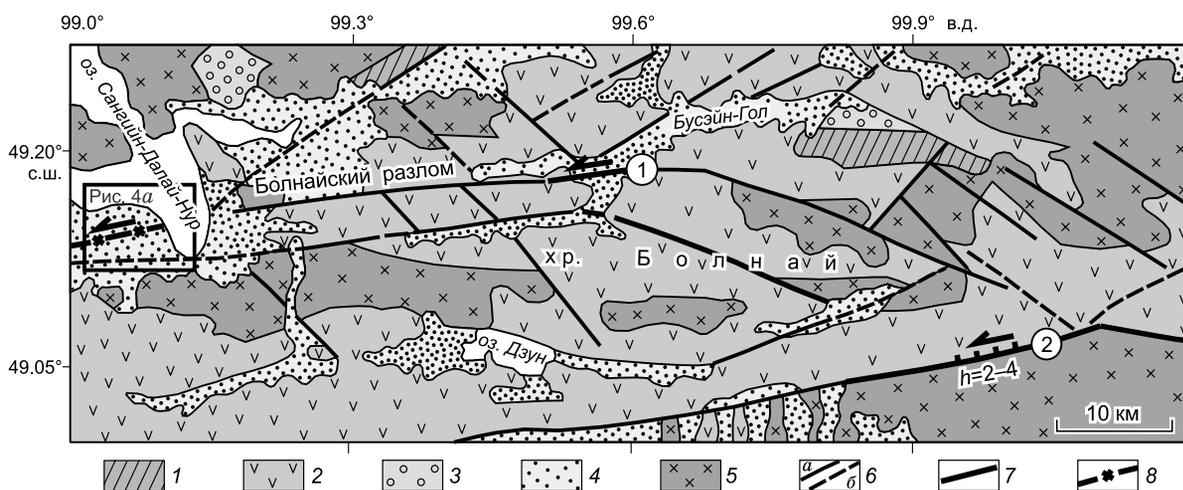


Рис. 2. Геолого-структурная схема восточного окончания Болнайского разлома (по [Хилько и др., 1985] с изменениями (упрощениями)).

1 — венд-раннепалеозойские осадочно-вулканогенные образования, 2 — пермские вулканогенные образования, 3 — раннемезозойские молассоидные терригенные отложения, 4 — неоген-четвертичные отложения различного генезиса, 5 — палеозойско-раннемезозойские интрузии, 6 — активизированные в кайнозое разломы: а — достоверные; б — предполагаемые, 7 — участки сейсмогенного обновления разломов (штрихи направлены в сторону опущенного крыла; h — амплитуда вертикального смещения, м; стрелка — направление сдвига); 1 — Бусэйнгольская палеосейсмодислокация, 2 — Дзуннурская палеосейсмодислокация); 8 — сеймотектонические нарушения, образовавшиеся при землетрясении 23.07.1905 г. Черным прямоугольником обозначен район детальных исследований данных сеймотектонических нарушений.

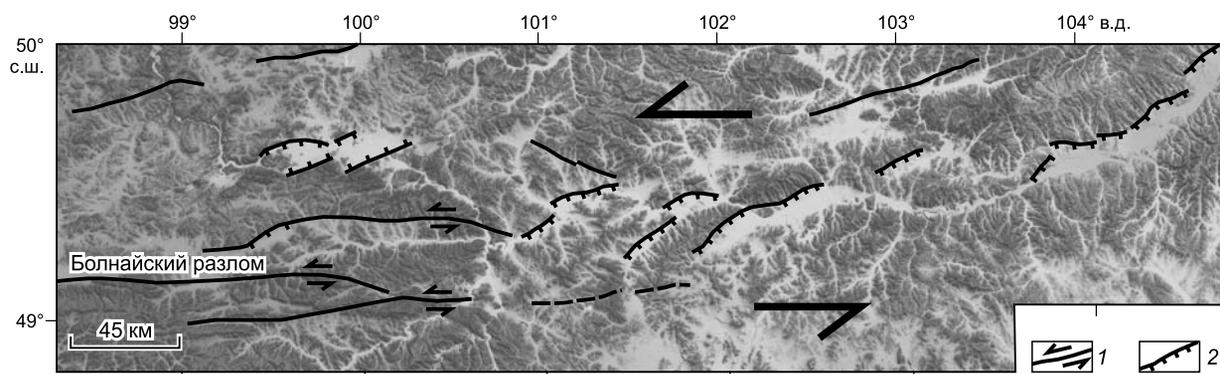


Рис. 3. Цифровая модель рельефа (SRTM) восточного продолжения Болнайского разлома.

Черными линиями показаны главные активные разломы: 1 — сдвиги, 2 — сбросы.

(рис. 3). Впадины ограничены с северо-запада серией сбросов и представляют собой присдвиговые области растяжения, что подтверждают реконструкции полей палеонапряжений для этого района [Parfeyevs, Sankov, 2012]. Впадины имеют ширину до 10 км и заполнены четвертичными осадочными отложениями. Геометрия структур указывает на левостороннее перемещение южного и северного блоков друг относительно друга, которое компенсируется в приповерхностных частях сбросовыми смещениями по более мелким северо-восточным разломам (см. рис. 3).

Таким образом, восточнее области сейсмогенных обновлений Болнайский разлом не имеет единого структурного шва, а продолжается в виде широкой сдвиговой зоны, где деформации распределяются по серии более мелких оперяющих разрывных нарушений, создающих области присдвигового растяжения. Возраст осадочного заполнения присдвиговых впадин (Q_2 — Q_4) свидетельствует о том, что компенсация сдвигов по Болнайскому разлому сбросовыми деформациями происходила, как минимум, со среднего плейстоцена. Это подтверждает сделанное ранее предположение о том, что северо-восточное окончание Болнайской системы разломов представлено в Забайкалье деформациями растяжения, создающими зону шириной в несколько сотен км [Jolivet et al., 2013].

Участок последнего сейсмогенного обновления Болнайского разлома в 1905 г. находится к западу от оз. Сангийн-Далай-Нур. На его восточном окончании (рис. 4, а) нами были проведены морфотектонические исследования для определения амплитуды косейсмических деформаций 1905 г. и предыдущих землетрясений. Деформации на этом участке представлены системами эшелонированных трещин растяжения до нескольких десятков метров в длину и валами сжатия до нескольких метров шириной, а также «кротовинами», представляющими собой небольшие бугры, которые образуются в результате коробления грунта при подвижках вдоль крупного сдвига на участках с мощным аллювиальным покровом (см. рис. 4, б, в). Амплитуды поверхностных деформаций свидетельствуют о том, что они являются результатом нескольких сейсмических событий, включая землетрясение 1905 г. К востоку от озера, где следов последнего землетрясения не наблюдается, видны левосторонние сдвиги крупных долин с накопленной амплитудой до 300 м.

В 5 км к западу от озера Сангийн-Далай-Нур ($N 49.1482^\circ$, $E 99.0358^\circ$) на линии разлома деформированы элементы рельефа сухого русла р. Хясаны-Гол (см. рис. 4, а). Там было зафиксировано левостороннее сдвиговое смещение продольных галечных баров с амплитудой в 7 ± 0.5 м (см. рис. 4, з) и 13 ± 1 м (см. рис. 4, д). Последняя амплитуда, очевидно, является накопленной за два последних землетрясения. В 1 км к западу вдоль разлома от предыдущей точки ($N 49.1461^\circ$, $E 99.0205^\circ$) наблюдается смещение тальвега небольшого водотока с амплитудой 6.5 ± 0.5 м (см. рис. 4, е). Данные амплитуды меньше по значению амплитуд косейсмических смещений, рассчитанных с использованием кинематической GPS на разных участках разлома в западной и центральной его частях и составляющих ~ 8.9 м для одного и ~ 17 м для двух последних событий — 1905 г. и предыдущего, произошедшего 2300—3240 лет назад [Rizza et al., 2015]. Небольшое уменьшение амплитуд сдвига связано с затуханием деформаций на восточном окончании разлома.

Вкрест простираения разлома была построена серия топографических профилей (рис. 5). Анализ гипсометрии аллювиальной поверхности в зоне деформаций показал постепенное увеличение абсолютной высоты в сторону хребта без каких-либо изменений при пересечении разлома. Отсутствие резкой разницы в абсолютных значениях по двум сторонам разлома свидетельствует о том, что разлом обновлялся как левосторонний сдвиг без какой-либо значительной вертикальной компоненты.

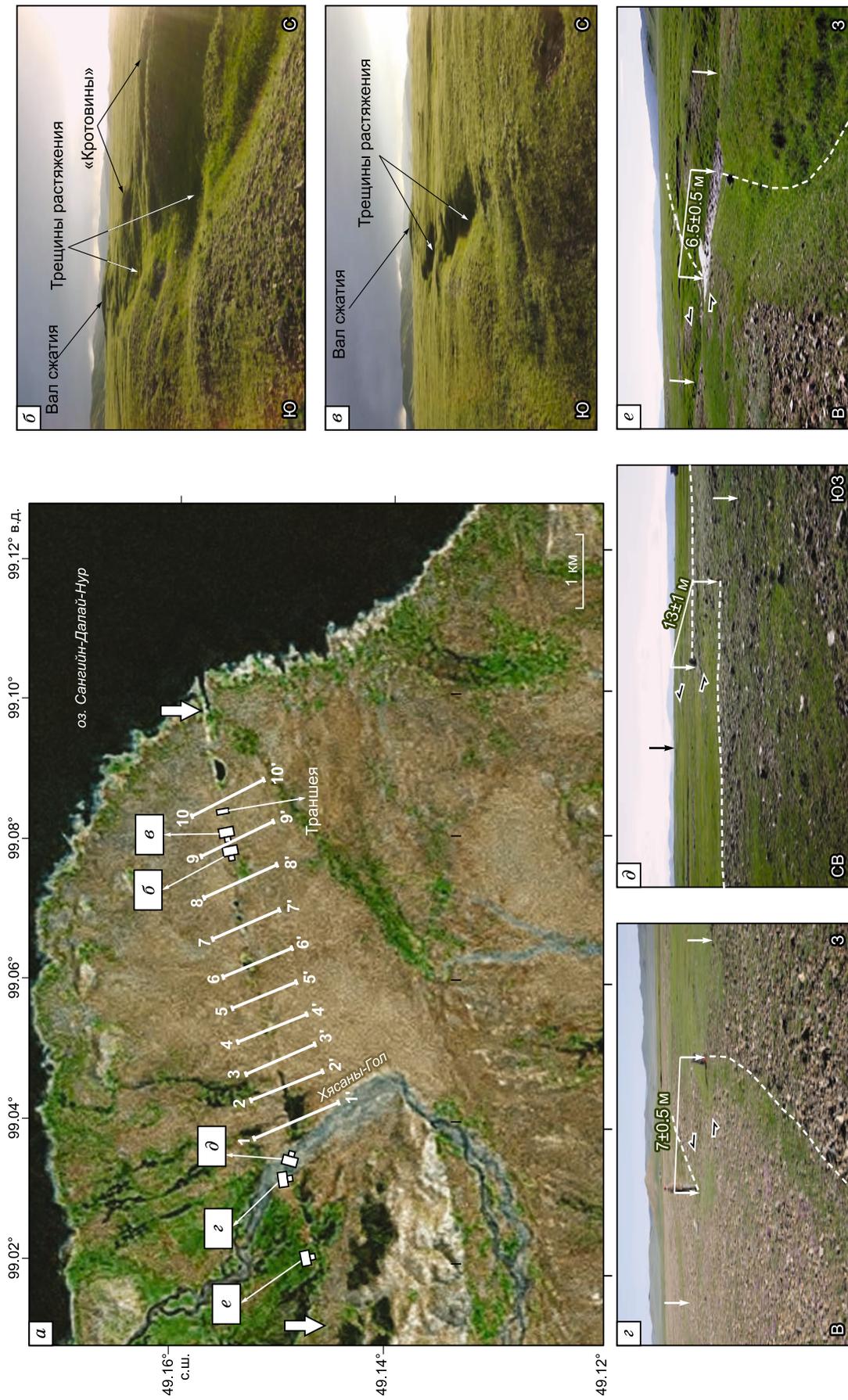


Рис. 4. Восточное окончание последнего сейсмогенного обновления Болнайского разлома.

Фрагмент обновленного участка 1905 г. показан белыми стрелками на космоснимке Landsat (а). Местоположение см. на рис. 2. Черными линиями вкосте простирания разлома (1'-10'-10') показано местоположение топографических профилей, представленных на рис. 5; б, в — фотографии поверхностных деформаций (сейсмогенных форм рельефа) вдоль восточного сегмента Болнайского разлома; г, д, е — фотографии смещенных элементов рельефа на линии Болнайского разлома (разлом обозначен черными стрелками); з, д — левостороннее сдвиговое смещение продольных талечных баров (пунктирная линия) сухого русла р. Сангайн-Далай-Нур с амплитудой 7 и 13 м соответственно; е — смещение тальвега небольшого водотока (пунктирная линия) с амплитудой 6.5 м. Местоположение см. на рис. 4, а.

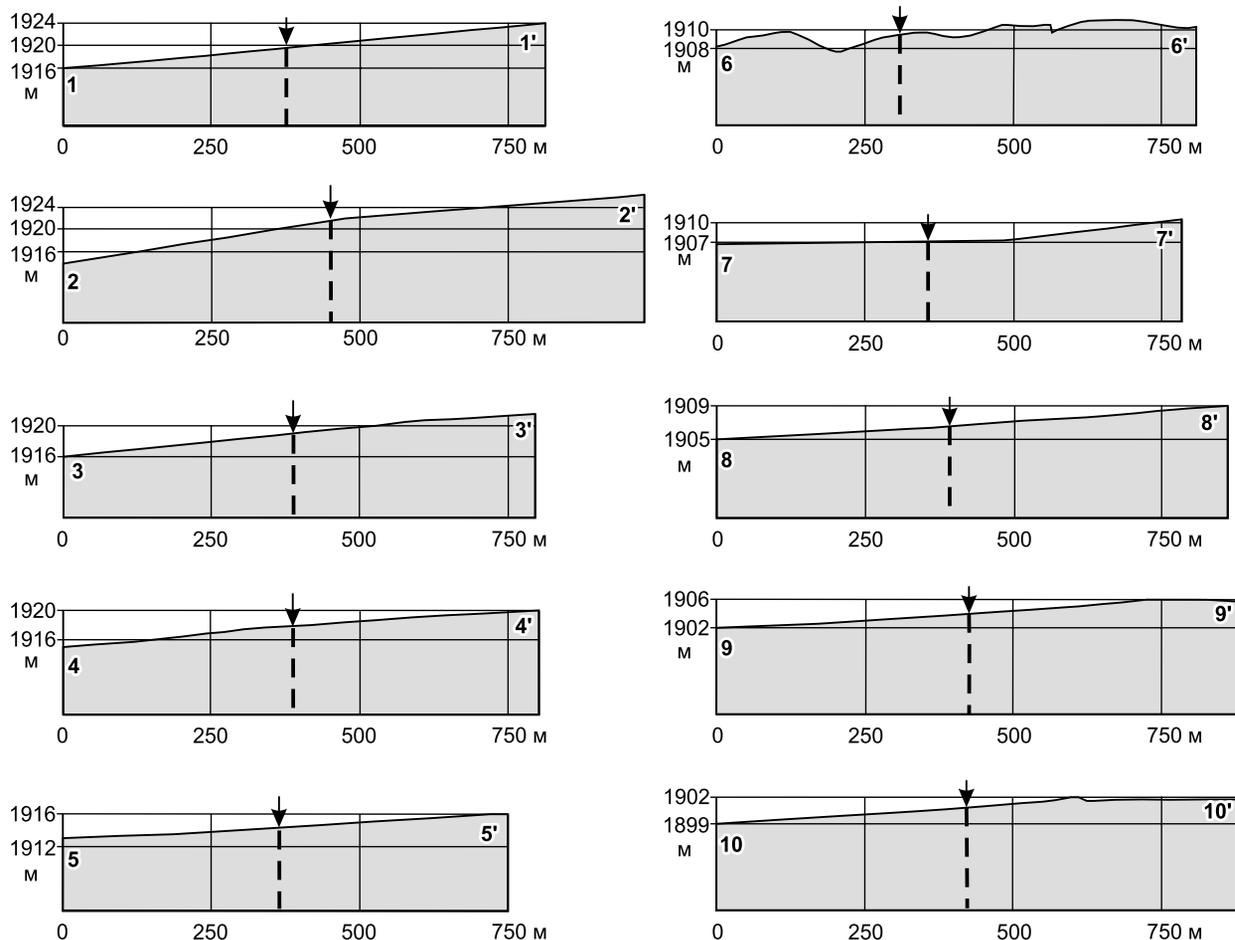


Рис. 5. Топографические профили вкостр простираия разлома.

Расположение профилей показано на рис. 4, *a*. Местоположение разлома на каждом профиле указано стрелкой.

ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ВОСТОЧНОМ ОКОНЧАНИИ БОЛНАЙСКОГО РАЗЛОМА

Участок палеосейсмологических исследований расположен на восточном окончании хорошо выраженной в рельефе зоны дислокаций Болнайского разлома. На этом участке разлом рассекает поверхность, представленную отложениями слившихся конусов выноса водотоков, стекающих с хр. Болнай к оз. Сангийн-Далай-Нур (см. рис. 4, *a*). Разлом здесь имеет простираие 80°. В структуре разрыва наблюдаются валы сжатия и трещины растяжения в виде грабенов и пулл-апартов. В днище небольшой пулл-апартовой впадины (N 49.1547°, E 99.0837°) вкостр простираия разлома была заложена траншея (рис. 6, *a, б*) для уточнения возраста палеоземлетрясений, сформировавших данную структуру.

Разрез западной стенки траншеи (см. рис. 6, *в*) представлен осадками конусов выноса (горизонты 10—50) и почвенным горизонтом (0). Первые состоят из песчано-галечных отложений с большим (горизонты 10, 20, 40, 50) или меньшим (горизонт 30) процентом грубообломочного материала. Горизонт 50 резко отличается от других горизонтов сильной карбонатизацией, придающей белесый оттенок отложениям. Горизонт 10 имеет коричневый оттенок за счет незначительной проработки почвообразовательными процессами.

В разрезе зафиксировано пять разрывных нарушений. Почти все из них смещают выделенные горизонты или являются их вертикальными границами. Последнее землетрясение 1905 г., в результате которого сформировались изучаемые деформации, представлено в разрезе разломом F1, который деформирует современный почвенный горизонт (0) и нижележащие отложения. Разлом F2 сформировался во время предыдущего землетрясения, поскольку его запечатывает горизонт 20, который впоследствии был смещен разломом F1. Разломы F3-F5, вероятно, тоже образовались во время предыдущего сейсмического события либо не достигли поверхности (разлом F4) во время землетрясения 1905 г.



Рис. 6. Тренчинговое изучение восточного окончания Болнайского разлома.

а, б — фотографии траншеи, заложенной вкостр простираения пулл-апартовой впадины. Местоположение показано на рис. 4. *а, в* — документация и фотография западной стенки траншеи; 0 — современный почвенный горизонт, 10 — горизонт слабогумусированных песчано-галечных отложений коричневатого цвета с большим количеством грубообломочного материала; 20 — горизонт песчано-галечных отложений темно-коричневатого цвета с включением более крупных галек, чем в горизонте 10; 30 — горизонт песчано-галечных отложений желтовато-коричневого цвета с меньшим содержанием грубообломочного материала по сравнению со всеми другими горизонтами; 40 — горизонт песчано-галечных отложений бежевого цвета с максимальным количеством грубообломочного материала; 50 — горизонт песчано-галечных отложений светло-коричневого цвета с беслым оттенком за счет сильной карбонатизации; F1-F5 — разрывные нарушения; белыми кружками указаны места отбора проб.

Попытка датирования деформированных отложений дала следующие результаты. Во время тщательного исследования горизонтов на предмет датированного радиоуглеродным методом (^{14}C) материала, нами были обнаружены погребенные кости грызуна в горизонте 50 (обр. Poz-59995). Результаты анализа, проведенного в Poznan Radiocarbon Laboratory, дали возраст 4130 ± 35 лет назад. Откалиброванный возраст с помощью программы <http://www.calpal-online.de/> составил 4689 ± 94 лет назад. В горизонтах 0 и 20 были обнаружены угли с возрастом 4360 ± 35 (Poz-59996) и 4365 ± 30 лет назад (Poz-59997), откалиброванные 4927 ± 46 и 4927 ± 42 лет назад соответственно. Поскольку угли с более древним возрастом находятся в верхних горизонтах, в том числе и в современном почвенном слое, мы считаем их перетолженными. Определение, таким образом, возраста горизонтов по содержащимся в них углям не представляется возможным. Возраст же горизонта 50 установлен достоверно, поскольку кости грызуна были обнаружены *in situ*.

Таким образом, изучение разреза показало наличие, как минимум, двух генераций разломов, образовавшихся во время двух сейсмических событий, которые произошли после накопления горизонта 50, т.е. после 4689 лет. По данным [Rizza et al., 2015], предпоследнее крупное событие в центральной части Болнайского разлома произошло 2300—3250 лет назад. Поскольку масштаб поверхностных деформаций восточной части Болнайского разлома свидетельствует о нескольких сейсмических событиях, способствующих их формированию, можно предположить, что крупное палеоземлетрясение, обнаруженное в центральной части разлома, затронуло и восточную его часть. Возможно, именно с ним связано формирование разрывных нарушений F2-F5. Разлом F1 соответствует последнему землетрясению 1905 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Морфотектонические исследования восточного окончания Болнайского разлома показали, что амплитуда косейсмических деформаций 1905 г., измеренная по смещению тальвега водотока, составляет 6.5 м. По деформациям продольных галечных баров долины р. Хясаны-Гол амплитуды левостороннего сдвига в разных местах составили 7 ± 0.5 и 13 ± 1 м. Последнее смещение, очевидно, является накопленным и примерно в два раза превышает амплитуду сдвига 1905 г. Это может свидетельствовать о повторяемости подобных сдвиговых смещений на восточном участке Болнайского разлома так же, как это было отмечено для центральной его части [Rizza et al., 2015]. Об этом же свидетельствуют сопоставимые по времени с землетрясениями, обнаруженными в центральной части разлома [Rizza et al., 2015], два сейсмических события, зафиксированные нами в траншее на восточном окончании зоны деформаций. Оба события произошли позже 4689 ± 94 лет назад.

На восточном окончании ярко выраженных в рельефе деформаций, связанных с последними землетрясениями (как минимум, двумя) по Болнайскому разлому, каких-либо вертикальных перемещений не наблюдается. Поверхность северного и южного крыльев разлома на этом участке не имеет резкой разницы в абсолютных отметках. Анализ гипсометрии поверхности в зоне деформаций показал постепенное увеличение абсолютной высоты в сторону хребта без каких-либо изменений при пересечении разлома, что свидетельствует о том, что разлом на этом участке обновлялся как левосторонний сдвиг без какой-либо значительной вертикальной компоненты.

Восточное продолжение Болнайского разлома не имеет единого структурного шва, а продолжается в виде широкой сдвиговой зоны, где деформации распределяются по серии более мелких разрывных нарушений, создающих области присдвигового растяжения. Возраст осадочного заполнения присдвиговых впадин свидетельствует о том, что компенсация сдвигов по Болнайскому разлому сбросовыми деформациями происходила, как минимум, со среднего плейстоцена. Таким образом, деформации растяжения в зоне перехода от Северной Монголии к Забайкалью представляют собой пассивно раскрытые впадины, сформировавшиеся при сдвиговом перемещении блоков вдоль Болнайского разлома.

Авторы благодарят рецензентов к.г.-м.н. А.В. Прокопьева и к.г.-м.н. Е.В. Деева за полезные замечания, позволившие улучшить статью.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты: PICS № 13-05-91052-НЦНИ — CNRS- 4881 и №13-05-00247).

ЛИТЕРАТУРА

Агатова А.Р., Непоп Р.К., Баринов В.В., Назаров А.Н., Мыглан В.С. Первый опыт датирования сильных голоценовых землетрясений Горного Алтая с использованием длительных древесно-кольцевых хронологий // Геология и геофизика, 2014, т. 55 (9), с. 1344—1355.

Вознесенский А.В. Исследование области Хангайских землетрясений 1905 г. в Северной Монголии. Материалы отделения Физической географии, вып. 1. Л., 1962, 50 с.

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 экспедиции). Вып. 41. М., Наука, 1985, 224 с.

Baljinnyam I., Bayasgalan A., Borisov B.A., Cisternas A., Dem'yanovich M.G., Ganbaatar, L., Kochetkov V. M., Kurushin R. A., Molnar P., Philip H., Vashchilov Y. Ruptures of major earthquakes and active deformation in Mongolia and its surroundings // *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 1993, v. 181, p. 1—60.

Calais E., Vergnolle M., San'kov V., Lukhnev A., Miroshnitenko A., Amarjargal S., Deverchere J. GPS measurements of crustal deformation in the Baikal-Mongolia Area (1994-2002): Implications for current kinematics of Asia // *J. Geoph. Res.*, 2003, v.108, p. 2501.

Jolivet M., Ritz J.-F., Vassallo R., Larroque C., Braucher R., Todbileg M., Chauvet A., Sue C., Arnaud N., De Vicente R., Arzhanikova A., Arzhanikov S. Mongolian summits: An uplifted, flat, old but still preserved erosion surface // *Geology*, 2007, v. 35, № 10, p. 871—874.

Jolivet M., Arzhannikov S., Chauvet A., Arzhannikov A., Vassallo R., Kulagina N., Akulova V. Accomodating large-scale intracontinental extension and compression in a single stress-field: A key example from the Baikal Rift System // *Gondwana Res.*, 2013, v. 24, № 3-4, p. 918—935, doi:10.1016/j.gr.2012.07.017.

Parfeevets A.V., Sankon V.A. Late Cenozoic tectonic stress fields of the Mongolian microplate // *Comptes Rendus Geoscience*, 2012, v. 344, p. 227—238.

Rizza M., Ritz J.-F., Prentice C., Braucher R., Vassallo R., Larroque C., Mahan S., Arzhanikova A., Arzhanikov S., Todbileg M., Javkhaa O., Michelot J.-L., Massault M. Determining the slip rate and the recurrence intervals of earthquakes along the Bolnay Fault, Mongolia. Abstracts of the European Seismological Commission, 32nd General Assembly, 2010, T/SD2/P4/ID185.

Rizza M., Ritz J.-F., Prentice C., Vassallo R., Braucher R., Larroque C., Arzhanikova A., Arzhanikov S., Mahan S., Massault M., Michelot J.-L., Todbileg M. Earthquake geology of the Bolnay fault (Mongolia) // *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 2015, v. 105, № 1, p. 72—93.

Schlupp A. and Cisternas A. Source history of the 1905 great Mongolian earthquakes (Tsetserleg, Bolnay) // *Geophys. J. Intern.*, 2007, v. 169, p. 1115—1131.

Schwartz D., Hecker S., Ponti D., Stenner H., Lund W., Bayasgalan A. The July 23, 1905 Bolnay fault, Mongolia Surface rupture // *Seismol. Res. Lett.*, 2009, v. 80, p. 357.

*Рекомендована к печати 29 января 2015 г.
В.А. Верниковским*

*Поступила в редакцию
30 мая 2014 г.*