

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ТУВИНСКОГО-1 ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

27 декабря 2011 г. с  $MS=6.6$ ,  $I_0=9$  (Восточная Тува)

А.Н. Овсяченко<sup>1</sup>, Е.А. Рогожин<sup>1</sup>, А.В. Мараханов<sup>1</sup>, А.С. Ларьков<sup>1</sup>,

С.С. Новиков<sup>1</sup>, Ю.В. Бутанаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия, [ovs@ifz.ru](mailto:ovs@ifz.ru)

<sup>2</sup>Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, г. Кызыл, Россия

Тувинское землетрясение с  $MS=6.6$  [1] произошло 27 декабря 2011 г. [2], примерно в 100 км к востоку от г. Кызыл [3]. Это событие стало первым из двух землетрясений, сильнейших за весь период инструментальных наблюдений в Туве. Второе землетрясение с  $MS=6.8$  [4] произошло два месяца спустя, 26 февраля 2012 г. [5], практически в той же эпицентральной зоне. Первоначальный разброс в определении эпицентров Тувинских землетрясений по данным различных сейсмологических служб оказался чрезвычайно велик. По результатам полевых сейсмогеологических исследований представления о положении очагов были существенно уточнены [6, 7]. Этому поспособствовали результаты сейсмологических наблюдений Алтае-Саянского филиала ГС РАН [2, 8]. Полевые исследования в эпицентральной области, начатые авторами в апреле 2012 г., были продолжены в летние сезоны 2012–2015 гг. Землетрясения произошли в пределах зоны Каа-Хемского активного разлома – одной из крупнейших сейсмогенерирующих структур Алтае-Саянского нагорья (рис. 1).

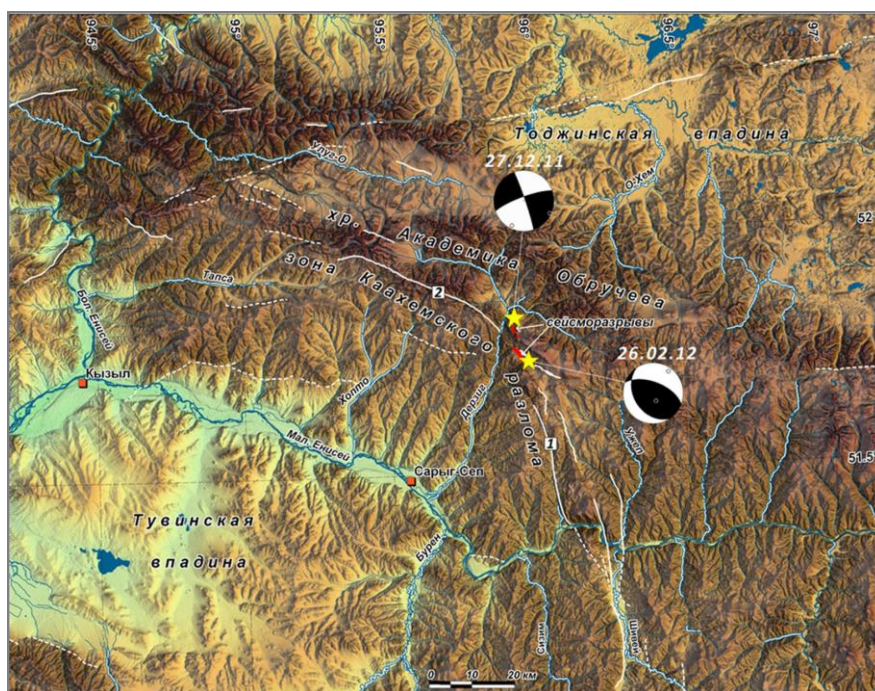
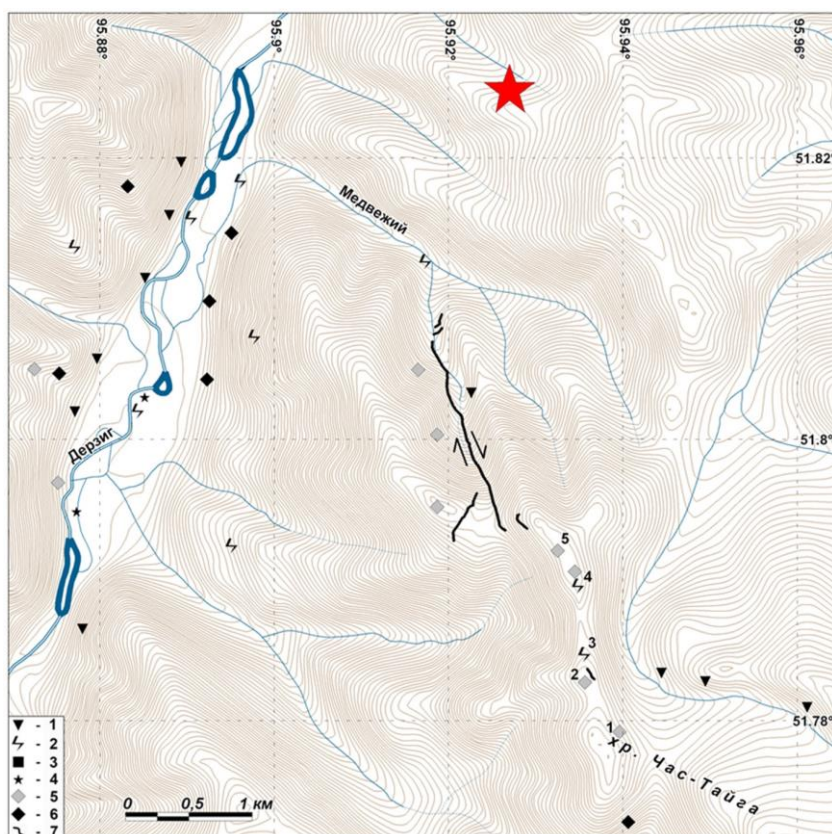


Рис. 1. Положение сейсморазрывов по [6, 7] и эпицентров землетрясений 2011–2012 гг. из [2, 8]

Белые линии – активные разломы (с использованием данных [9, 10]: 1 – Шуйский, 2 – Хоптинский); пунктирные – предполагаемые. Механизмы очагов землетрясений по данным ГС РАН [2, 5].

Эпицентральной область расположена в Восточной Туве, на хребте Академика Обручева, в глухой горно-таежной местности без постоянного населения. По этой причине основными исследуемыми эффектами землетрясений стали геологические (рис. 2). Обширные водораздельные пространства в эпицентральной области имеют очень пологие очертания. До абсолют-

ных отметок 1850–2000 м они покрыты густой тайгой, которая выше, в гольцовой зоне, сменяется горной тундрой и обширными полями каменных россыпей. С пологими вершинными поверхностями резко контрастируют очень крутые (10–30°) склоны речных долин. Как и в других сибирских горах, на склонах хребта Академика Обручева решительно преобладают сезонные покровные смещения в теплое время и полная стабилизация склонов зимой (более полугода). Во время землетрясения склоны гор были скованы мерзлотой, что препятствовало возникновению вторичных нарушений. Препятствием этому послужила также сильная залесенность горных склонов, покрытых мощной корневой системой, в особенности характерной для широко распространенной здесь кедровой тайги. Еще одной отличительной особенностью района является преобладание прочных магматических и вулканогенно-осадочных образований палеозойского возраста, а также небольшая мощность и преимущественно грубообломочный состав отложений покровного чехла. Все перечисленные факторы сильно ограничили распространение и масштабы проявления землетрясений в природной среде.



**Рис. 2.** Геологические проявления Тувинских землетрясений в районе очага землетрясения 27.12.2011 г. (инструментальный эпицентр показан звездой по данным [2, 8])

1 – осыпи и камнепады; 2 – сейсмовибрационные трещины; 3 – оползни; 4 – выбросы песка; 5 – выбросы одиночных глыб; 6 – обвалы; 7 – сейсморазрывы; горизонтали рельефа проведены через 10 м; номера нарушений соответствуют номерам точек наблюдения  $T_i$  в тексте.

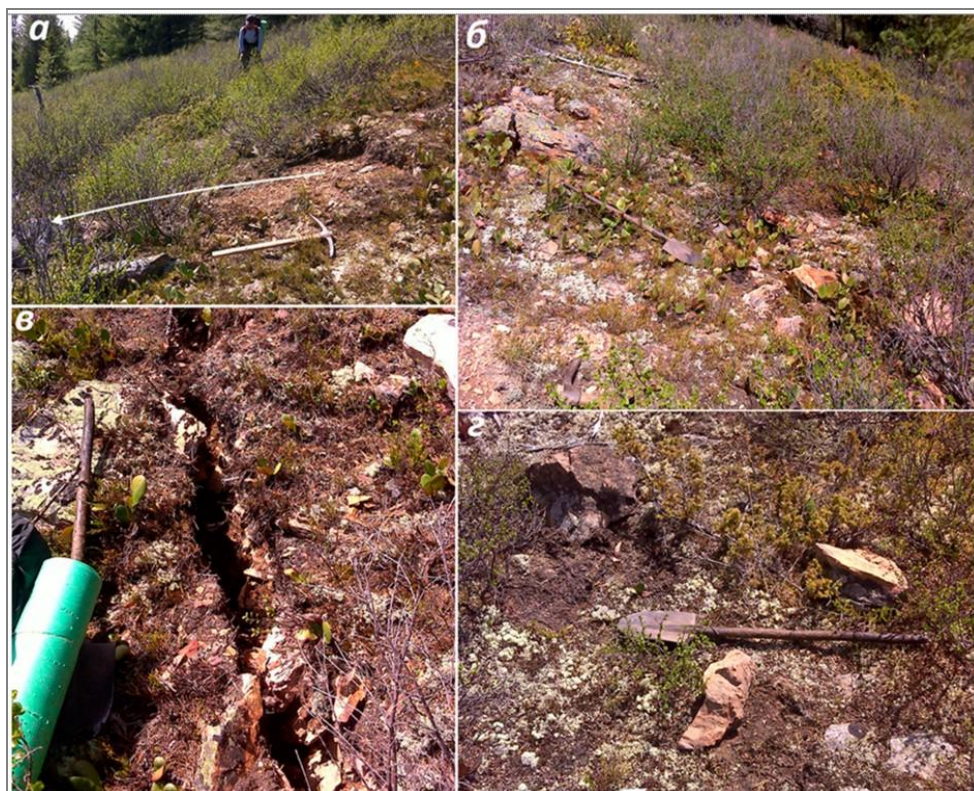
Полевые исследования проводились по двум основным направлениям – детальное картирование остаточных нарушений всех типов и изучение следов древних землетрясений в рельефе и молодых отложениях с использованием палеосейсмологических методов [11–14]. Оба землетрясения породили как первичные сеймотектонические разрывы, отражающие выход очага землетрясения на поверхность, так и вторичные нарушения, представляющие собой результат сейсмических сотрясений. Руководством по оценке интенсивности сотрясений послужила шкала ЕЕЕ (Earthquake environmental effects), разработанная в рамках проекта международной геологической организации International Quaternary (INQUA) и после незначительной доработки получившая название ESI 2007 (Environmental seismic intensity) [15–17]. В шкале интенсивность определяется по параметрам сеймотектонических разрывов, размерам и общей площади распространения вторичных эффектов.

**Вторичные эффекты землетрясения** можно разделить на сейсмогравитационные и сейсмовибрационные. К первым относятся обвалы, осыпи, камнепады, трещины отседания (отпора), наблюдаемые на крутых склонах, а также редкие оползни склонового чехла. К сейсмовибрационным эффектам землетрясения можно отнести, в первую очередь, следы выбросов, излияния и выдавливания обводненного песка из трещин в поймах крупных рек (грифоны), а также образование трещин на ровных поверхностях без усиления гравитацией. На отдельных участках отмечено большое количество подброшенных или выброшенных из скалы камней.

В случае вторичных нарушений определить принадлежность подавляющего большинства из них к конкретному событию не удалось, т.к. все исследования проводились уже после обоих землетрясений. По всей видимости, большинство нарушений образовалось в результате более сильного второго землетрясения.

С первым Тувинским землетрясением уверенно увязывается участок, пораженный вторичными нарушениями на северо-западном склоне хребта Час-Тайга. Плотность, размеры и разнообразие генетических типов нарушений увеличиваются с юга на север по мере приближения к очагу декабрьского землетрясения. Хребет в привершинной части имеет очень пологие очертания. Разновысотные пологие вершинные поверхности довольно резко переходят в очень крутые (до  $30^\circ$ ) склоны долины р. Дерзиг и ее притоков. На редких скальных выходах коренных пород в бортах ручьев возникли небольшие осыпи и камнепады. На пологой вершинной поверхности северо-западного отрога хребта Час-Тайга наблюдаются многочисленные подброшенные камни и трещины, прослеживание которых позволило наметить эпицентральному зону землетрясения. Ниже приводится их краткое описание.

Т. 1 – на склоне водораздела отдельно лежащие крупные камни переброшены с места на место. Размер самого крупного камня, отброшенного в юго-восточном направлении примерно на 1 м, составляет  $0.5 \times 0.7$  м (рис. 3 а).



**Рис. 3.** Вторичные нарушения в районе очага Тувинского-I землетрясения 27 декабря 2011 г. с  $MS=6.6$

а – отброшенный камень в Т. 1; б – пологая поверхность водораздела, усеянная подброшенными камнями в Т. 2; в – сейсмовибрационная трещина в каменистом грунте на пологой вершинной поверхности в Т. 3; г – отброшенные камни на пологой вершинной поверхности в Т. 4.

Т. 2 – в 500 м к северу от Т. 1 на пологой вершинной поверхности отрога все скальные выходы были растресканы а отколотые камни выброшены в горизонтальном направлении

(рис. 3 б). Самый крупный плоский камень размером  $1.5 \times 2$  м треснул пополам и был отброшен в виде двух фрагментов на расстояние до 3 м в юго-восточном направлении.

Т. 3 – в 200 м к северу от Т. 2 на пологой задернованной вершинной поверхности наблюдаются по-разному ориентированные сейсмовибрационные и сейсмогравитационные трещины длиной до 300 м при ширине до 50 см (рис. 3 в).

Т. 4 – на пологой вершинной поверхности все отдельно лежащие камни отброшены в горизонтальном направлении (преобладает юго-восточное) (рис. 3 г); на склоне водораздела наблюдаются сейсмогравитационные трещины длиной до 300 м при ширине до 0.5 м (рис. 4 а).

Т. 5 – на склоне водораздела, покрытом густой сетью сейсмогравитационных трещин (рис. 4 б), отмечен камень размером  $1.5 \times 2$  м, который оказался отброшен в юго-восточном направлении (вдоль склона) на 1–1.5 м и прыжками укатился вниз по склону, оставив после себя вмятины и осколки размером до  $0.2 \times 0.4$  м.

На крутых склонах долины ручья, в русле которого прослежен сейсморазрыв первого землетрясения, наблюдаются многочисленные выброшенные камни, небольшие осыпи и, также, склоновые срывы. Размер отброшенных камней здесь не превышает 1 м.



Рис. 4. Сейсмогравитационные трещины в районе очага Тувинского-I землетрясения 27 декабря 2011 г. с  $MS=6.6$  (а – Т. 4; б – Т. 5)

Размеры подброшенных камней и трещин постепенно увеличиваются с юга на север по мере приближения к очагу первого землетрясения. Кроме того, в большинстве случаев устанавливается однообразное направление отброса камней – на юго-восток, т.е. в противоположную сторону от очага первого землетрясения, что также указывает на связь рассмотренных нарушений именно с этим событием. Размеры трещин и величина отброса камней соответствуют интенсивности  $I_0=9$  баллов по шкале ESI-2007 [15] на участке длиной около 2 км от сейсморазрыва.

**Сеймотектонические разрывы** уверенно сопоставляются с конкретными сейсмическими событиями. Характер смещений по сейсморазрывам находится в соответствии с решениями механизмов, а их положение – с координатами эпицентров по данным Алтае-Саянского филиала ГС РАН (с учетом ошибки). Сейсморазрывы прослежены на местности и закартированы по характерным признакам – они секут и смещают корни и стволы деревьев, камни, кустарниково-моховой покров, чем отличаются от сейсмогравитационных и сейсмовибрационных трещин. Сейсморазрывы выражены во всех формах рельефа, образуя закономерные структурные рисунки, свойственные всем тектоническим деформациям.

Сейсморазрыв первого Тувинского землетрясения был обнаружен и закартирован летом 2013 г. Он имеет север–северо-западное простирание и правосдвиговую кинематику смещений. Амплитуда смещения замерена в нескольких местах по разорванным корням и стволам деревьев (рис. 5). Нарушения в основном представлены системой сопряженных коротких трещин растяжения и валов сжатия, образующих «рыскающий» разрыв.

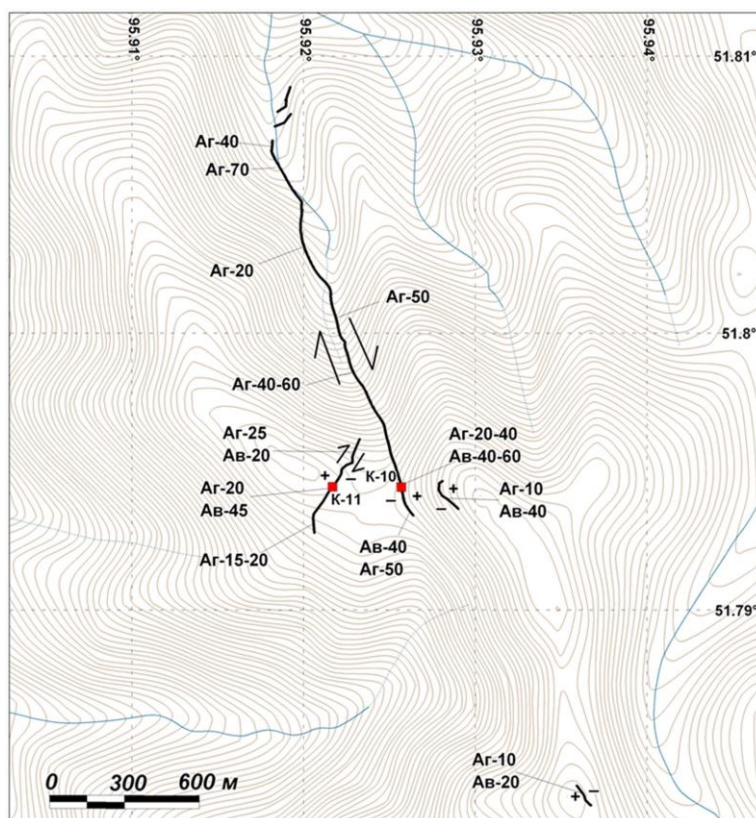


Рис. 5. Амплитуды смещения (Аг – горизонтальная, Ав – вертикальная, см) по сейсморазрыву Тувинского-I землетрясения 27.12.2011 с  $MS=6.6$

Квадраты – канавы К-10, К-11; горизонтالي рельефа проведены через 10 м.

На южном окончании системы сейсморазрывов задокументированы два сбросо-сдвига. Между ними заключена широкая и плоская, как футбольное поле, седловина, резко контрастирующая с окружающими чрезвычайно крутыми склонами. Седловина представляет собой зону растяжения на окончании сдвигового разрыва – впадину типа pull-apart basin, которая неоднократно испытывала тектонические опускания в результате сильных землетрясений прошлого.

Вдоль восточного борта седловины разрыв представлен кулисообразной системой рвов длиной до 25 м, сопряженных с короткими (до 5 м) валами высотой до 1 м (рис. 6). Разрыв приурочен к месту перегиба крутого (до 35°) выпуклого склона, ниже которого расположена вогнутая поверхность обломочного шлейфа, а выше – крутой каменистый склон. Преобладает вертикальная компонента смещений. Величина правого сдвига, замеренная по смещению старого бревна, равна – 40 см, по корням – 20 см. Вертикальное смещение – 40–60 см. На отрезке север–северо-западного простирания разрыв на глубину до 1.5 м представлен зияющим рвом. Глубже он выражен близвертикальной тектонической границей между трещиноватыми гранитоидами и грубообломочными накоплениями (рис. 7). В южном направлении разрыв приобретает северо-западное простирание и затухает. На этом отрезке он представлен извилистым взбросо-надвигом с вертикальным смещением до 40 см. Горизонтальная компонента смещений представлена сдвиганием дневной поверхности с перекрытием до 50 см (рис. 7).

Вдоль западного борта седловины прослеживается кулисообразная система разрывов северо-восточного простирания. Разрывы представлены рвами шириной до 1 м с опущенным восточным крылом (рис. 8). Рвы протягиваются на бровке и в подножии крутого уступа высотой до 2.5 м, по которому оказалась приподнятой небольшая полоска плоского днища седловины. На центральном фланге уступ имеет двухступенчатое строение, а разрывы приурочены к подножию ступеней. Величина правого сдвига на центральном участке, замеренная по разорванному дереву, – 25 см; вертикальное смещение – до 45 см. В южном направлении правосдвиговые смещения постепенно затухают, а на отрезке субмеридионального простирания наблюдаются короткие (до 20 м) разрозненные левые сдвиги с амплитудой смещения 15–20 см. Далее на юг разрыв постепенно рассеивается и затухает.



Рис. 6. Сейсотектонические рвы с вертикальным смещением в восточном борту тектонической седловины (район К-10 на рис. 5)

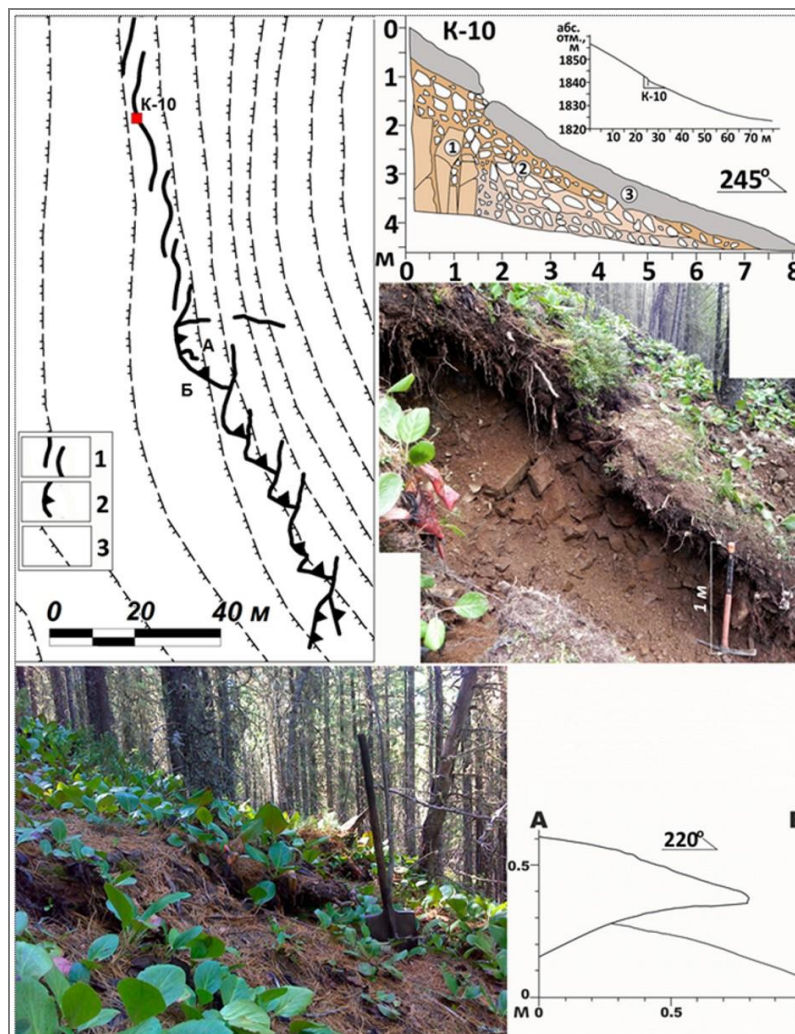


Рис. 7. Строение сейсморазрыва в восточном борту тектонической седловины (вверху – схема расположения, зарисовка и фото канавы К-10)

Цифры на плане: 1 – рвы; 2 – взбросо-надвиги; 3 – условные горизонтали рельефа; цифры на зарисовке канавы: 1 – трещиноватые гранитоиды; 2 – грубообломочные накопления; 3 – почва; внизу – взбросо-надвиг и его разрез по линии А-Б (положение см. выше на плане).



**Рис. 8.** Кулисообразная система сейсмоструктурных рвов с вертикальным смещением в западном борту тектонической седловины в районе К-11 на рис. 5 (на переднем плане – разорванное дерево)

Южнее описанной седловины разрыв с признаками сейсмоструктурного смещения обнаружен на пологой вершинной поверхности северо-западного отрога хребта Час-Тайга (рис. 9). Разрыв длиной около 150 м протягивается в север-северо-западном направлении, пересекая пологие склоны и вершину сопки. Преобладает вертикальная компонента смещений. Величина правого сдвига, замеренная по смещению микроформ рельефа, равна 10 см; вертикальное смещение – 20 см. Разрыв – зияющий, шириной до 0.5 м; приурочен к уступу высотой до 1.5 м. На вершине сопки от него под углом 40–60° отходит необновленный уступ.



**Рис. 9.** Гравитационно-сейсмоструктурный разрыв на вершинной поверхности хребта Час-Тайга

Рассматриваемый разрыв образовался на простирации магистрального сейсморазрыва в месте максимальных ( $I_0=9$  баллов) сотрясений на вершине хребта. В терминологии В.П. Солоненко [11] разрыв можно рассматривать в качестве гравитационно-сейсмоструктурной структуры – переходной формы между сейсмогравитационными и сейсмоструктурными

нарушениями. В классификации А.А. Никонова [14] такие деформации рассматриваются как сейсמודинамические, возникающие в результате инерции горных масс при резких сейсмических колебаниях горных массивов. В западной терминологии такие образования именуется сакунгами [12]. Они зафиксированы в схожих геоморфологических условиях в эпицентральных зонах некоторых современных землетрясений как в связи с сейсморазрывами, так и без.

К северу от седловины разрывы объединяются в магистральный правый сдвиг, вспоровший склоны и днище долины ручья (рис. 10, 11). По разрыву зафиксированы в основном смещения в горизонтальной плоскости. Амплитуда смещения замерена в нескольких местах по разорванным корням и стволам деревьев и меняется от 20 до 70 см, в среднем составляя 50 см.



**Рис. 10.** Правосдвиговый сейсморазрыв Тувинского-I землетрясения в верховьях долины ручья (а) и на склоне водораздела (б); в – сдвиг разорванного корня в долине ручья



**Рис. 11.** Сейсморазрыв Тувинского-I землетрясения в долине ручья

В долине ручья сейсморазрыв на всем протяжении следует вдоль контакта девонских гранитоидов, слагающих восточное крыло, и среднепалеозойских вулканитов, залегающих в западном крыле. Следовательно, сейсморазрыв обновил зону древнего разлома. Разрывы возникли на ограничениях грабена-седловины и в спрямленной долине ручья, не выйдя за пределы долины, т.е. четко вписались в молодые морфоструктуры – тектонически обусловленные формы рельефа. Смещения по разрывам отразили тенденции развития этих морфоструктур, прослеживаемые на протяжении среднего плейстоцена – голоцена. К ним, в первую очередь, относятся локальное опускание грабена-седловины в верховьях ручья Медвежий и горизонтальное смещение вдоль спрямленной долины.

Длина закартированного сейсморазрыва составляет примерно 1.6 км. С учетом коротких гравитационно-сейсмотектонических разрывов в приводораздельной части хребта, вписывающихся в общий структурный ансамбль, длина системы нарушений составляет  $L=3.1$  км.



Обе величины, в отличие от средней амплитуды подвижки, существенно меньше оценок, полученных из регрессионных соотношений между параметрами разрыва и магнитудой события по данным общемировой статистики [18]. Величина подвижки по этим же данным соответствует магнитуде события  $MS=6.6$ .

Следы палеоземлетрясений сохранились в рельефе и в молодых отложениях. С целью их изучения были пройдены канавы на ограничениях тектонической впадины (грабена-седловины) в верховьях ручья Медвежий (см. рис. 5). Наиболее информативна канава К-11. Она пройдена вкост простирания двухступенчатого уступа в западном борту впадины (рис. 12). Вскрытый разрез представлен двумя слоями грубообломочных склоновых отложений. В основании обеих ступеней наблюдаются разрывы 2011 г. с амплитудой вертикального смещения 25 см по верхнему и 20 см по нижнему. В верхней части разреза они представлены открытыми трещинами шириной до 20 см, заполненными ссыпавшейся туда почвой и обломками. Разрыв в основании верхней ступени образовался в 2011 г., т.к. величина вертикального смещения современной подзолистой почвы идентична смещению границы в склоновых отложениях. Разрыв в основании нижней ступени неоднократно обновлялся и ранее – в его опущенном крыле вскрыты три линзы палеопочвы, погребенные обломками из склоновых отложений. Залегание палеопочвы свидетельствует о резком захоронении обломочным материалом в результате сейсмотектонических подвижек. Нижняя палеопочва представлена остатками торфянистого дерна с углями (калиброванный радиоуглеродный возраст – 2960–3220 лет, обр. ЛУ-7425); средняя – гумусовым горизонтом черной лесной палеопочвы с углями (калиброванный радиоуглеродный возраст – 1880–1960 лет, обр. ЛУ-7424). Еще одна тонкая линза обломочного материала наблюдается в современном почвенном профиле. Ниже него залегает гумусовый горизонт (калиброванный радиоуглеродный возраст – 360–600 лет, обр. ЛУ-7426). Судя по залеганию в разрезе, датировки палеопочв отражают их возраст до захоронения обломочным материалом, т.е. представляют собой нижнее возрастное ограничение более ранней подвижки и верхнее – более поздней.



Рис. 12. Сейсморазрыв Тувинского-I землетрясения в месте проходки канавы К-11

Согласно полученным данным можно приблизительно оценить возраст трех предыдущих землетрясений – 3000–3500, 1500–1900 и 300–500 лет назад. Самое молодое событие (300–500 лет назад) имеет и другие следы в пределах сдвигового разрыва 2011 г. В приустьевой части долины, у русла ручья, в 10 м от сейсморазрыва 2011 г. обнаружен заросший и заваленный старыми стволами ров запад–северо-западного простирания (рис. 14). Вдоль этого рва ствол старого полусгнившего кедра разорван и смещен вправо на 40 см. Судя по растительному покрову, смещение ствола произошло синхронно с образованием рва, первые сотни лет назад. Таким образом, по интенсивности сотрясений предпоследнее событие было сходно с Тувинским-I землетрясением 2011 г. с  $MS=6.6$ . Два предыдущих события (3000–3500 и 1500–1900 лет назад), судя по толщине обломочных линз, захоронивших палеопочвы в К-11, могли быть с большей интенсивностью сотрясений. Однако величина вертикального смещения по сбросу на окончании сдвига прямо не отражает общей величины подвижки. Это затрудняет оценку магнитуды двух предыдущих палеоземлетрясений.

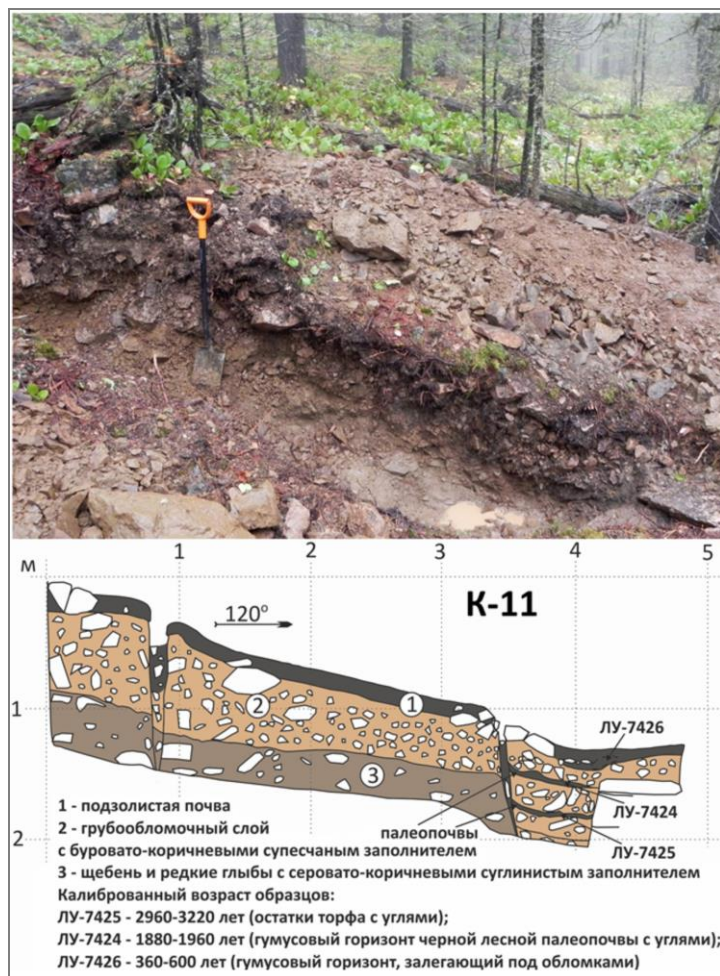


Рис. 13. Зарисовка и фото канавы К-11, пройденной вкост простираия сейсморазрыва Тувинского-I землетрясения



Рис. 14. Древний сеймотектонический ров в пределах зоны сейсморазрыва Тувинского-I землетрясения

**Сейсмотектоническая позиция очага** отражена на рис. 1. Возможность возникновения сильных землетрясений на хребте Академика Обручева была установлена относительно давно. Яркие проявления молодых (четвертичных) тектонических смещений по разломам в западной части хребта были выявлены при геологической съемке 200-тысячного масштаба в середине XX-го столетия [19]. Позже Г.А. Черновым [20] в Восточной Туве была выделена сейсмогенерирующая структура, названная Каа-Хемским сейсмогеном, частично совпадающая с одноименным разломом. По результатам палеосейсмогеологических исследований, проведенных в районе хр. Академика Обручева [9, 21], сейсмический потенциал Каа-Хемской зоны был оценен как  $M_{\max}=6.6-7.0$  [22, 23]. Таким образом, сделанный по палеосейсмогеологическим данным долгосрочный прогноз оправдался при возникновении Тувинских землетрясений 2011–2012 гг.

Очаг декабрьского землетрясения охватил небольшой сегмент Каа-Хемской системы активных разломов, который неоднократно обновлялся за последние 3000 лет. В районе эпицентральной области Тувинских землетрясений авторами были детально изучены и другие сегменты Каа-Хемской системы разломов, демонстрирующие следы древних (возрастом в сотни-тысячи лет) сейсмотектонических смещений, неоднократно повторявшихся по одним и тем же индивидуальным разрывам (см. рис. 1). Разрывы имеют преимущественно правосдвиговую или взбросовую кинематику смещений. Параметры разрывов свидетельствуют о том, что магнитуда землетрясений достигала  $M=7.5$ .

Очаг декабрьского землетрясения по простиранию продолжает гораздо более протяженный Шуйский сегмент субмеридиональной ориентировки, также демонстрирующий молодые правосдвиговые смещения. К западу от эпицентральной зоны 2011–2012 гг. расположен Хоптинский сегмент северо-западного простирания с правосторонней сдвиго-взбросовой кинематикой смещений.

Землетрясения 2011–2012 гг. произошли в пределах сейсмотектонического узла, где происходит смена ориентировки зоны Каа-Хемского разлома с субмеридиональной на северо-западную. Сейсморазрыв первого землетрясения отразил смещения по субмеридиональной север–северо-западной плоскости, тогда как второго – по плоскости северо-западной ориентировки. Сейсморазрыв 2011 г. четко вписался в молодые (позднеплейстоцен-голоценовые) морфоструктуры – ограничения грабена-седловины в верховьях ручья Медвежий и спрямленную долину ручья там же. В целом смещения по сейсморазрыву отразили направленность деформаций, прослеживаемую на протяжении позднего плиоцена–голоцена. Они отражены в правом сдвиге по плоскости субмеридиональной север–северо-западной ориентировки. Подвижка в очаге декабрьского события не отразила сжатия в зоне Каа-Хемского разлома, что было реализовано два месяца спустя, при втором Тувинском землетрясении.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность руководителю Департамента гражданской защиты МЧС России С.Л. Диденко за помощь в организации вертолетного облета эпицентральной зоны. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 11-05-00205-а, 14-05-00091, 15-45-04351\_p\_сибирь\_a, 15-35-50401) и проекта № 9 Федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года».

#### Л и т е р а т у р а

1. Болдырева Н.В. (отв. сост.), Аторина М.А., Бабкина В.Ф., Дуленцова Л.Г., Лёвкина А.В., Мальянова Л.С., Рыжикова М.И., Щербакова А.И. (сост.). Каталог землетрясений Земли за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
2. Геофизическая служба РАН. Информационное сообщение о сильном землетрясении в Республике Тыва 27 декабря 2011 года. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – URL: [http://www.ceme.gsr.ru/cgi-bin/new/info\\_quake.pl?mode=1&id=183](http://www.ceme.gsr.ru/cgi-bin/new/info_quake.pl?mode=1&id=183).
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Подкорыгова 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.

4. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2012 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2012–2013. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2012](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2012).
5. Геофизическая служба РАН. Информационное сообщение о сильном землетрясении в Республике Тыва 26 февраля 2012 года. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – URL: [http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/info\\_quake.pl?mode=1&id=1843/4](http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/info_quake.pl?mode=1&id=1843/4).
6. Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Мараханов А.В., Кужугет К.С., Бутанаев Ю.В., Новиков С.С., Ларьков А.С. Результаты полевых сейсмогеологических исследований Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. // Тувинские землетрясения 2011–2012 гг. – Кызыл: ТуВИКОПР СО РАН, 2014. – С. 57–79. – URL: [http://ipc-publisher.ru/collections\\_1.aspx?id\\_sb=11](http://ipc-publisher.ru/collections_1.aspx?id_sb=11).
7. Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Мараханов А.В., Ларьков А.С., Новиков С.С., Кужугет К.С., Бутанаев Ю.В. Геологические исследования Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – 43. – № 1. – С. 5–29.
8. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г. Афтершоковая область Тувинских землетрясений 27.12.2011 г. с  $M=6.6$  и 26.02.2012 г. с  $M=6.8$ . // Землетрясения России в 2012 году. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 94–98.
9. Аржанников С.Г., Зеленков П.Я. Сильные палеоземлетрясения хребта Академика Обручева (Восточная Тува) // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 2–3. – М.: ОИФЗ РАН, 1995. – С. 323–330.
10. Аржанников С.Г. Палеосейсмодислокации в зоне влияния Оттутгайгино-Азасского разлома (Восточная Тува) // Геология и геофизика. – 2000. – 41. – № 11. – С. 1499–1509.
11. Солоненко В.П. Палеосейсмогеология // Физика Земли. – 1973. – № 9. – С. 3–16.
12. Палеосейсмология. В 2-х томах. / Ред. Мак-Калпин Дж.П. – М.: Научный Мир, 2011.
13. Рогожин Е.А. Очерки региональной сеймотектоники. – М.: ИФЗ РАН, 2012. – 340 с.
14. Никонов А.А. Терминология и классификация сейсмогенных нарушений рельефа // Геоморфология. – 1995. – № 1. – С. 4–10.
15. Michetti A.M., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Aude-mard F., Azuma T., Clague J., Comerci V., Gürpınar A., McCalpin J., Mohammadioun B., Morner N.A., Ota Y., Rogozhin E. Intensity scale ESI 2007 // Special paper APAT, Memorie descrittive della carta geologica d'Italia. – 2007. – 74. – 41 p.
16. Татевосян Р.Э., Рогожин Е.А., Арефьев С.С. Оценка интенсивности землетрясений на основании сейсмических эффектов в природной среде: общие принципы и примеры применения // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2008. – 35. – № 1. – С. 7–27.
17. Рогожин Е.А. О проекте новой макросейсмической шкалы ЕЕЕ // Землетрясения Северной Евразии в 2003 г. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 396–402.
18. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Am. – 1994. – 84. – No 4. – P. 974–1002.
19. Чудинов Ю.В. Новейшие тектонические движения в районе бассейна р. Улуг-О и хребта Таскыл в северо-восточной Туве // Бюлл. МОИП. – 1959. – XXXIV. – № 5. – С. 55–70.
20. Чернов Г.А. К изучению сейсмогеологии и неотектоники Алтае-Саянской горной области // Сейсмогеология восточной части Алтае-Саянской горной области. – Новосибирск: Наука, 1978. – С. 6–27.
21. Вдовин В.В., Зеленков П.Я. Сейсмогенные формы рельефа Тувы и Западного Саяна // Закономерности развития рельефа Северной Азии. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 99–106.
22. Хромовских В.С., Николаев В.В., Демьянович М.Г., Чипизубов А.В., Семенов Р.М., Серебренников С.П., Аржанников С.Г., Смекалин О.П., Дельянский Е.А. Новая карта сейсмического районирования Восточной Сибири и Монголии // Геофизические исследования в Восточной Сибири на рубеже XXI века. – Новосибирск: Наука, 1996. – С. 94–99.
23. Аржанников С.Г. Сеймотектоника Восточно-Тувинского нагорья. Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. – Иркутск, ИЗК СО РАН, 1998. – 16 с.