

УДК 550.34

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮГО-ЗАПАДА ТУВЫ

¹Овсюченко А.Н., ²Бутанаев Ю.В., ²Прудников С.Г., ²Кужугет К.С.

¹*Институт физики Земли РАН, Москва;*

²*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН,*

Кызыл, e-mail: jyra3@mail.ru

В работе представлены результаты сейсмогеологических исследований Юго-Запада Тувы. Эта область давно известна своей высокой сейсмической активностью и яркими геологическими проявлениями очагов сильных землетрясений. В процессе полевых наблюдений были изучены активные разломы: шапшальский, монгун-тайгинский, кызыл-хайский, кобдинский и устю-ыйматинский. Выявлены и изучены следы сейсмогенной активизации рельефа (последствий древних землетрясений) и активных тектонических деформаций земной поверхности. В выявленных разломах обнаружены сеймотектонические разрывы, сейсмогравитационные образования (оползни, обвалы и т.п.) и сейсмовибрационные структуры (следы сейсмогенного разжижения рыхлых обводнённых осадков). Установлено, что этот высокоактивный сеймотектонический узел очень опасен, может вызвать разрушительные землетрясения на огромной территории с $M > 7,0$. На основе палеогеографических данных, также удалось датировать возраст последнего обновления Монгун-Тайгинского разлома.

Ключевые слова: сеймотектоника, активный разлом, уступ, ров

SEISMOGEOLOGICAL RESEARCHES OF THE SOUTHWEST OF TUVA

¹Ovsyuchenko A.N., ²Butanaev Y.V., ²Prudnikov S.G., ²Kuzhuget K.S.

¹*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Moscow;*

²*Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources, SB RAS, Kyzyl, e-mail: jyra3@mail.ru*

The results of seismogeological researches of the South-West Tuva are presented. This area has long been known for its high seismic activity and geological manifestations of the bright foci of strong earthquakes. In the process of field observation active faults have been studied (shapshal', mongun-tayga, kyzyl-khay, kobdinsk i ustyuyymat). Traces of seismogenic activation of the relief [the effects of ancient earthquakes] and active tectonic deformations of the earth's surface are identified and studied. Seismotectonic ruptures, seismogravitational formations (landslides, avalanches, etc.) and seismic vibration structures (traces of seismogenic liquefaction of loose watery precipitations) were detected in the identified faults. It has been determined that this highly active seismotectonic knot is very dangerous, can cause a devastating earthquake on the vast territory with $M > 7$. On the basis of paleogeographic data, the age of the last renovation of the Mongun-Taiga's fault was dated.

Keywords: seismotectonics, active fault, shoulder, moat

Рельеф рассматриваемого орографического узла самым тесным образом связан с активными разломами. Горные хребты, межгорные впадины, нагорные плато и горные массивы здесь обнаруживают конформность геологическому строению и четкое соответствие темпам и характеру молодых тектонических процессов, т.е. представляют собой классические морфоструктуры. Это вытянутые в северо-западном направлении хребты Шапшальский, Цаган-Шибету и отделённые от них Джулукульской и Каргинской впадинами горный массив Монгун-Тайга и хр. Чихачева. Джулукульская и Каргинская межгорные впадины едины в морфотектоническом отношении, как друг с другом, так и прилегающей с востока Урэг-Нурской, представляя собой тектоническую депрессию рампового типа, выполненную континентальными отложениями раннеюрского, миоценового и позднеплиоцен-четвертичного возраста. Ярко выраженной границей впадины с Шапшальским и Цаган-Шибетинским хребтами служит

Шапшальский взбросо-надвиг. Этот разлом, по которому хребты взброшены в южном и юго-западном направлении на межгорные впадины, вытянут вдоль фронта обширной торцовой границы Западного Танну-Ола и Западного Саяна с Алтайской горной страной.

Рассмотрение сейсмичности последних двух с половиной-трёх веков показало, что за этот период успели проявить себя следующие сейсмогенерирующие структуры: Чуйско-Толбонурско-Сагсайская; Урэг-Нурско-Шапшальская и Кобдинская. Эти структуры представлены цепочками активных разломов, объединённых закономерным сочетанием зон горизонтального сдвига, сжатия и растяжения. Современные сильные землетрясения показывают сложную структуру очага с разным количеством отдельных ветвей в сдвиговом поле деформаций. Очевидно, что описанные основные закономерности строения современных сейсморазрывов характерны и для палеосейсмодислокаций, что было хорошо показано на примере Монголии [5].

Сейсмогеологические исследования

В процессе полевых наблюдений ставилась задача выявления и изучения всех возможных следов сейсмогенной активизации рельефа и активных тектонических деформаций земной поверхности. Основное внимание было направлено на выявление активных разломов, с которыми связаны сеймотектонические разрывы, сейсмогравитационных образований (оползней, обвалов и т.п.) и сейсмовибрационных структур (следов сейсмогенного разжижения рыхлых обводнённых осадков).

Благодаря почти полному отсутствию лесов, открытости и хорошей обнажённости, район исключительно благоприятен для геоморфологических наблюдений и использования материалов дистанционного зондирования. Хорошими маркерами при отслеживании молодых тектонических деформаций являются широко развитые здесь следы плейстоценового оледенения и речные террасы. Молодые разрывные деформации этих форм рельефа обнаружены в зонах нескольких основных разломов (рис. 1).

Шапшальский разлом представляет собой взбросо-надвиг, по которому каледонский структурный ярус надвинут или взброшен на мезозойский и кайнозойский структурно-вещественные комплексы [2, 3].

В изученном районе разлом очень ярко выражен в рельефе в виде уступа, секущего позднплейстоценовые морены, ледниковые трюги и более молодые речные террасы. В целом, уступ следует вдоль подножия Шапшальского и Цаган-Шибетинского хребтов на многие километры. Основной особенностью морфологии уступа является его извилистый характер. Уступ вдаётся в речные долины вверх по течению и отступает в южном направлении на гребнях отрогов хребта между долинами. Такое поведение уступа указывает на пологое залегание разрыва в недрах и надвиговую кинематику смещений.

В истоках р. Каргы позднплейстоценовая конечная морена испытывает резкий вертикальный изгиб в 80 м. В правом борту долины, в теле морены хорошо видно пологое падение разрыва. Уступ нарушает все террасовидные поверхности, выработанные в морене в голоцене, после стаивания ледника, вплоть до первой надпойменной террасы в днище долины. Восточнее уступ прослеживается на поверхности голоценовых пролювиальных шлейфов, перекрывающих позднплейстоценовую морену, часто приобретает облик двух-трёх непротяжённых валов. Вдоль уступа наблюдаются многочисленные оползни и обвалы рыхлого чехла.



Рис. 1. Обследованные древние сейсморазрывы Юго-Западной Тувы. Названия разломов: Ша – Шапшальский; М – Музурский; М-Т – Монгун-Тайгинский; Ко – Кобдинский; У – Устю-Ыйматинский; К – Кызыл-Хайский

Во врезях ручьев на пересечении с уступом наблюдается надвигание перетёртых коренных пород на пролювиальные отложения и палеопочву. Надвигание на палеопочву фиксирует собой деформацию и захоронение древней дневной поверхности в результате одноактной подвижки, параметры которой удалось замерить в двух местах. Высота уступа составляет 6,5–7 м, величина перекрытия палеопочвы перетёртыми коренными породами – 4–5,5 м. Калиброванный радиоуглеродный возраст этой палеопочвы – 3445–3611 (образец ИГАН 4672). По всей видимости, последнее сильное землетрясение, послужившее причиной этой подвижки, произошло около 3000–3500 лет назад.

Большинство мелких ручьёв берут своё начало из родников вдоль зоны разлома. Все они приурочены к молодому нарушению (уступу).

Уступ, порождённый последним землетрясением, имеет свежий облик. Часто он покрыт незаросшим обломочным материалом. При этом свежий уступ наращивает более высокий древний уступ. Длина прослеженного уступа – около 60 км. Параметры последней подвижки замерены очень приблизительно. И всё же, полученные цифры позволяют сделать сугубо предварительную оценку силы палеоземлетрясения, произошедшего в зоне Шапшальского разлома несколько сотен лет назад – $M > 7,0$.

Монгун-Тайгинский разлом прослеживается вдоль северо-западного подножия одноимённого горного массива. Уступ пересекает позднеплейстоценовые ледниковые трог и конечные морены. Прослеживается с водораздела, где он нарушает конечную морену на голоценовую террасу в днище долины р. Дуруг-Суг. Имеет извилистые очертания и высоту порядка 12–15 м. На сейсмотектонический характер уступа указывает рассечение им как поверхности террас, так и конечной морены. В левого борту долины уступ перекрыт отмершим каменным глетчером. Глетчер имеет характерную гофрированную поверхность, покрытую дугообразными валами, выпуклыми в сторону медленного движения в некогда мёрзлом состоянии. Обломочный материал глетчера имеет грубую сортировку. Отмерший каменный глетчер залегает в виде обширного грубообломочного плаща в подножии высокого скального обрыва, к которому прислонены конусы свежих, активных осыпей. По степени задернованности и морфологии поверхности можно выделить три основных

генерации каменного глетчера. Самая древняя поверхность покрыта дёрном с тундровой растительностью и усеяна лишь отдельными крупными глыбами, выдавленными на поверхность в результате промерзания. Средняя генерация меньше задернована, покрыта полосовыми каменными россыпями с другой ориентировкой. На поверхности последней генерации дёрновый покров и растительность практически отсутствуют. Первые две генерации не обнаруживают признаков современной активности; фронтальные валы у них выположены склоновыми процессами. Последняя генерация выглядит свежей, однако фронтальный вал тоже начинает зарастать.

Уступ сечёт фронтальный вал первой генерации каменного глетчера, но не прослеживается на поверхности второй. Следовательно, последняя подвижка произошла во время или после формирования первой генерации, но до оформления второй генерации.

Используя временные рамки стадий потепления и похолодания в голоцене можно ориентировочно оценить возраст глетчера и верхнюю временную рамку подвижки по разлому. Согласно А.Р. Агатовой и др. [1], активизации долинных ледников и формирование каменных глетчеров произошли 4900–4200 (аккемская стадия), 2300–1700 л.н. («историческая» стадия) и в конце XIII – середине XIX вв. (стадия актру или «малый ледниковый период»).

По всей видимости, 1-я генерация отмершего каменного глетчера сформировалась в аккемскую стадию, 4900–4200 л.н., 2-ая – в «историческую» стадию, 2300–1700 л.н., а самая молодая может быть отнесена к «малому ледниковому периоду». По этим данным, последняя подвижка произошла в интервале между 4900–4200 л.н. и 2300–1700 л.н.

Длина прослеженного уступа – около 12,5 км. К юго-западу от окончания главной системы нарушений прослеживается ещё один короткий сегмент, который наращивает суммарную длину уступа до 22 км. Вдоль системы разрывов наблюдаются в основном вертикальные смещения. Вдоль него прослеживаются уступы и рвы, приуроченные к крутому перегибу склона и резкому понижению вершинной поверхности. О молодых смещениях вдоль рассматриваемого уступа свидетельствует смещение пролювиальных отложений. Уступ в долине мелкого ручья нарушает пролювиальные отложения и имеет очень резкий характер.

Он имеет двухступенчатое строение. Высота нижней ступени – 2–2,2 м; верхней 1,5–1,8 м. Возможно, что ступени отражают индивидуальные подвижки по разлому.

Кызыл-Хайский разлом обрамляет горный массив Монгун-Тайга с юга. Он протягивается вдоль ограничения локальной впадины, в которой находится пос. Кызыл-Хая, и демонстрирует структуры, типичные для взбросо-надвигов на границах гор и впадин Монголии и Алтае-Саян. Ниже уступа простирается полого наклонная пьедестальная равнина, образованная слившимися конусами выноса. Конусы выноса подорваны вдоль разлома, что свидетельствует о голоценовом возросте последних тектонических смещений по нему. Здесь наблюдаются уступы и небольшие поднятия-форберги, вдающиеся во впадину со стороны гор. Некоторые форберги подпруживают конусы мелких распадков. Наблюдаемая картина типична для активных взбросов рассматриваемого региона [6]. Длина наблюдаемой системы нарушений – около 12 км. Вдоль разрыва наблюдаются в основном признаки вертикальных смещений.

Кобдинский разлом представляет собой крупнейший правый сдвиг север-северо-западного простирания со скоростью голоценовых смещений 5–6 мм/год [4].

Крупная разломная зона в рассматриваемом районе трассируется вдоль долины р. Моген-Бурен. Здесь обнаружен относительно короткий разрыв, секущий как поверхность водораздела, так и 1-ю надпойменную террасу р. Моген-Бурен. Вдоль разрыва протягиваются рвы и уступы с поднятым западным крылом. В левом борту р. Моген-Бурен ров пересекает поверхность террасы. В результате, в восточном крыле разлома на поверхность оказались выведены коренные породы, покрытые редкой галькой. Коренные породы вдоль разрыва представлены зоной милонитизации с жилами кварца и гранитоидов. Они рассеяны многочисленными трещинами и более глубокими (до 3 м) расселинами, что может свидетельствовать о встряхивании массива. Ров заполнен обломочным материалом без следов окатанности и сортировки с прослоями песка, что может свидетельствовать о временной стабилизации склоновых условий. Ров перекидывается на противоположный, правый борт реки, где в поднятом крыле наблюдается три локальных уровня речных террас, количество которых может быть увязано с количеством подвижек

по разлому в голоцене. Длина системы рвов и уступом – не многим более 3 км.

Устю-Ыйматинский разлом выражен в виде системы уступов северо-западного простирания в правом борту одноимённой реки. Здесь наблюдается серия трапециевидных тектонических фасет. На пересечении с этой серией комплекс надпойменных террас в правом борту р. Моген-Бурен резко меняет свои отметки. Общая длина системы нарушений – около 16 км. В целом, Устю-Ыйматинский разлом оперяет окончание Кобдинского разлома, представляя собой одну из структур, компенсирующих сдвиговые перемещения по этому крупнейшему сдвигу.

Заключение

Проведённые полевые наблюдения позволили заверить несколько выразительных линейных сеймотектонических форм рельефа в Юго-Западной Туве. Самый протяжённый и выразительный сейморазрыв обнаружен в зоне Шапшальского разлома. Длина сейморазрыва – около 60 км. Параметры последней подвижки замерены очень приблизительно. И всё же полученные цифры в первом приближении характеризуют силу палеоземлетрясения, произошедшего в зоне Шапшальского разлома около 3000–3500 лет назад – $M > 7,0$.

На основе палеогеографических данных также удастся датировать возраст последнего обновления Монгун-Тайгинского разлома, который прослеживается вдоль северо-западного подножия одноимённого горного массива. Последняя подвижка произошла в интервале между 4900–4200 л.н. и 2300–1700 л.н.

Особый интерес представляет собой северное окончание крупнейшего Кобдинского правого сдвига, расположенное в районе Юго-Западной Тувы. В Юго-Западной Туве, в зоне Кобдинского разлома выявлен короткий разрыв длиной около 3 км, природа которого требует дальнейшего исследования. Для других разрывов, более или менее надёжно, была оценена длина в среднем – 12–16 км. Параметры сейморазрывов являются одной из основных характеристик сеймотектонической модели региона.

Поскольку каждый сдвиг где-то заканчивается по простиранию, горизонтальное смещение поглощается на протяжении разлома или у его концов соответствующими деформациями. В одну сторону происходит сжатие пород, а в другую – растяжение. Сжатие может быть поглощено надвигами

и смятием пород в складки продольного изгиба, а растяжение – сбросами или раздвигами [7]. И те, и другие структуры сопровождаются горизонтальными сдвигами, что часто осложняет конкретные геологические структуры.

Согласно этой классической схеме в Юго-Западной Туве, к востоку от Кобдинского правого сдвига могут быть развиты структуры растяжения, а в западном крыле – сжатия. Явных признаков структур растяжения в восточном крыле Кобдинского сдвига в Юго-Западной Туве не обнаружено. Крупнейшая отрицательная структура – Ачит-Нурская впадина – расположена южнее. Видимо, поглощение растяжения в восточном крыле Кобдинского сдвига происходит южнее рассматриваемого района. Ответвление Устю-Ыйматинского разлома от Кобдинского может свидетельствовать о распространении сосредоточенных деформаций в северо-западном направлении, в сторону Чулышманского плато. Яркие признаки горизонтальных смещений в зоне Устю-Ыйматинского разлома не выявлены. Это может свидетельствовать о частичной компенсации горизонтальных перемещений

по Кобдинскому разлому в вертикальные по Устю-Ыйматинскому, что характеризует этот разлом как очень опасный с сейсмической точки зрения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 15-45-04351_р_сибирь_a, 15-35-50401).

Список литературы

1. Агапова А.Р., Назаров А.Н., Непоп Р.К., Орлова Л.А. Радиоуглеродная хронология гляциальных и климатических событий голоцена Юго-Восточного Алтая. // Геология и геофизика. – 2012. – № 6. – С. 712–737.
2. Башарина Н.П. Тектоника Каргинской впадины (Юго-Западная Тува). // Геология и геофизика. – 1968. – № 5. – С. 3–9.
3. Вишневецкий А.А., Девяткин Е.В., Беленко Л.Н., Лаврович Н.Н. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист М-45-ХVIII. Объяснительная записка. – М.: Недра, 1965. – 90 с.
4. Трифионов В.Г. Неотектоника Евразии. – М.: Научный мир, 1999. – 252 с.
5. Хилько С.Д., Курушин Р.А., Кочетков В.М. и др. Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии. / Под ред. В.П. Солоненко и Н.А. Флоренсова. – М.: Наука, 1985. – 244 с.
6. Флоренсов Н.А. К проблеме механизма горообразования во Внутренней Азии. // Геотектоника. – 1965. – № 4. – С. 3–14.
7. Sylvester A.G. Strike-slip faults. // Geol. Soc. Amer. Bull. – 1988. – Vol. 100. – P. 1666–1703.