



СЕЙСМИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ АЛТАЕ- САЯНСКОГО РЕГИОНА И МЕСТО В НЕЙ ТУВИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2011–2012 гг.

Александр Н. Овсюченко

Институт физики Земли Российской
академии наук

Юрий В. Бутанаев

Тувинский институт комплексного
освоения природных ресурсов
Сибирского отделения Российской
академии наук

SEISMIC HISTORY OF THE ALTAI-SAYAN REGION AND THE 2011-2012 EARTHQUAKES IN TUVA

Aleksandr N. Ovsyuchenko

Schmidt Institute of Physics of the Earth,
Russian Academy of Sciences

Yuri V. Butanaev

Tuva Institute for Complex Development of
Natural Resources, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences

Тувинские землетрясения 2011–2012 гг. стали сильнейшими за всю историю сейсмологических наблюдений в Туве, привлекли пристальное внимание специалистов и стали первыми, хорошо изученными сейсмическими событиями Тувы.

В работе представлен обзор сейсмической истории Алтае-Саянского региона и конкретной сейсмогенерирующей структуры (Каа-Хемской системы активных разломов) в которой возникли землетрясения 2011–2012 гг.

Восстановление сейсмической истории Тувы возможно разными путями. Помимо палеосейсмологи-

The Tuva earthquakes of 2011-2012, being the strongest in the history of seismic study in Tuva, attracted the attention of professionals and became the first well-studied seismic events in Tuva.

The paper provides a general overview of seismic history of the Altai-Sayan region and a look at a particular seismogenic structure – the Kaakhem system of active faults), where the 2011-2012 earthquakes occurred.

A reconstruction of the seismic history of Tuva can follow a number of paths – aside from paleoseismological methods, those of

*Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ 14-05-00091 и 15-45-04351_p_сибирь_a
The present work was supported by RFBR grants No. 14-05-00091 and 15-45-04351_r_sibir_a*

Овсюченко Александр Николаевич — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией сеймотектоники и сейсмического микрорайонирования Института физики Земли РАН. Адрес: 123242, Россия, г. Москва, Большая Грузинская ул., д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 766-26-56. Эл. адрес: ovs@ifz.ru

Бутанаев Юрий Владимирович — младший научный сотрудник лаборатории геодинимики, магматизма и рудообразования Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук. Адрес: 667000, Россия, г. Кызыл, ул. Интернациональная, д. 117а. Тел.: +7 (39422) 6-62-18. Эл. адрес: jyra3@mail.ru

Ovsyuchenko Aleksandr Nikolaevich, Candidate of Geology and Mineralogy, Chief Research Fellow, Head of Laboratory of Seismotectonics and Seismic Microzoning, Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences. Postal address: 10 Bldg.1 Bolshaya Gruzinskaya St., 123242 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 766-26-56. Email: ovs@ifz.ru

Butanaev Yuri Vladimirovich, Junior research fellow, Laboratory of Geodynamics, Magmatism and Ore formation, Tuva Institute for Complex Development of Natural Resources, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. Postal address: 117a Internatsionalnaya St., 667000 Kyzyl, Republic of Tuva, Russian Federation. Tel.: +7 (39422) 6-62-18. Email: jyra3@mail.ru



ческого метода, в этом направлении могут помочь методы исторической сейсмологии и археосейсмологии. Использование легенд и более конкретных сведений о разрушениях построек и иных сооружений древности может дать информацию о дате землетрясения и распределении сотрясений на площади. Для определения местоположения сейсмических очагов и их параметров возможно привлечение датировок геологических следов землетрясений, письменных свидетельств и результатов археосейсмологических исследований с использованием кинематических индикаторов разрушений в древних сооружениях.

Сопоставительный анализ показывает, что события в Туве 2011–2012 гг. являются «рядовыми» явлениями на фоне мощнейших сейсмических катастроф XX века в Алтае-Саянском регионе и доисторических палеоземлетрясений, случавшихся в Каа-Хемской зоне разломов.

Ключевые слова: Алтае-Саянский регион; Тува; тувинские землетрясения; Каа-Хемский разлом; палеоземлетрясения; сейсмическая история; сейсморазрыв; историческая сейсмология; археосейсмология

archeoseismology and historical seismology can be quite helpful. Legends and more specific information on ancient constructions' collapse can provide some useful information on earthquake dates, as well as earth tremor mapping. To locate seismic foci of the earthquakes of the past and assess their parameters, we may recourse to dating their geological vestiges, written evidence and archaeoseismological study outcomes obtained by means of velocity destruction indicators set in ancient buildings.

Our comparative analysis has shown that the events of 2011-2012 are «ordinary» events against the background of the most powerful seismic catastrophes of the 20th century in the Altai-Sayan region, as well as prehistoric palaeoearthquakes located in the Kaakhem fault zone.

Keywords: Altai-Sayan region; Tuva earthquake; Kaakhem fault; paleoearthquakes; seismic history; seismofault; historical seismology; archaeoseismology

Введение

Тувинские землетрясения 2011–2012 гг. стали сильнейшими за всю историю сейсмологических наблюдений в Туве. Они не привели к человеческим жертвам, но имели серьезные последствия и вызвали большой переполох среди жителей республики. Ущерб от землетрясения составил более 2 миллиардов рублей; в ходе обследования зданий и сооружений выявлено 2158 повреждённых объектов, среди которых: предприятия жизнеобеспечения, мосты и дороги, жилье, школы, детсады, больницы, сельские клубы и библиотеки.

Землетрясения 2011–2012 гг. привлекли пристальное внимание специалистов и стали первыми, хорошо изученными сейсмическими событиями Тувы. Фрагментарные сейсмогеологические исследования сильных землетрясений современности проводились еще в XIX в., а со второй половины XX в., в передовых странах, они стали систематическими. В результате таких исследований выяснилось, что сейсмические очаги, как правило, приурочены к зонам активных разломов, а землетрясения представляют собой самые яркие проявления современных тектонических движений. С нарастанием энергии землетрясения, оценкой которой служит относительная, безразмерная величина — магнитуда (M), очаги землетрясений



становятся не только больше, но и сложнее в структурном отношении (Рогожин, 2012). На поверхности сейсмические очаги проявляются в виде первичных нарушений — сейсморазрывов (выход очага на поверхность), складок и других импульсных изгибов земной поверхности, связанных с тектоническими деформациями (рис. 1). Основное количество нарушений рельефа (оползни, обвалы, вибрационные трещины и др.) при землетрясениях образуется в результате собственно сейсмических сотрясений. В связи с этим они получили название вторичных деформаций.



Рис. 1. Сейсморазрыв Алтайского землетрясения 2003 г. на водоразделе рек Талдура и Кускуннур.

Fig.2. Seismal foci of significant earthquakes in the Altai-Sayan Region and adjacent territories

В целом же, по материалам изучения сильных землетрясений современные сейсмогеологические методы позволяют ответить на следующие вопросы: каковы масштабы события, какие именно тектонические движения привели к этому землетрясению и какова их история. Ответы на озвученные вопросы имеют очевидное прогностическое значение.

Сейсмическая история Алтае-Саянского региона

Алтае-Саянское нагорье — область активного горообразования, продолжающегося и в наши дни, свидетельством чему служат многочисленные сильные землетрясения современности (рис. 2).

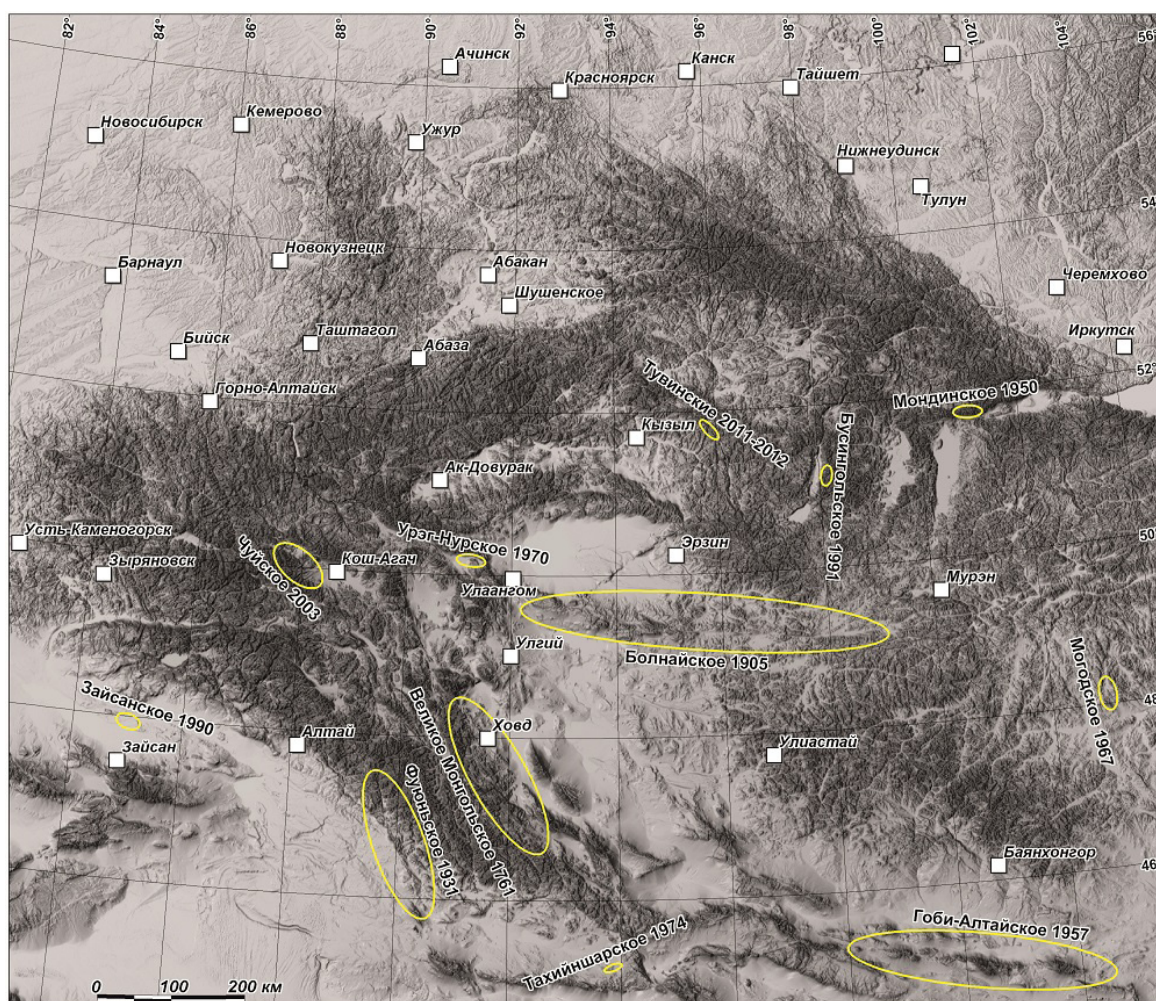


Рис. 2. Очаги изученных сильных землетрясений Алтае-Саянского региона и прилегающих территорий.

Fig.2. Seismal foci of significant earthquakes in the Altai-Sayan Region and adjacent territories

Прим.: Очаги показаны желтыми овалами с указанием названия землетрясения и года возникновения. Размеры овалов соответствуют размерам очага по геологическим и сейсмологическим данным и напрямую отражают силу землетрясений.



Известная сейсмическая история Алтае-Саянского региона, в сравнении с соседним Китаем, где она охватывает последние 3000 лет, очень коротка. Скудные сообщения о сейсмическом эффекте нескольких исторических землетрясений второй половины XVIII — начала XX в. известны только для удаленных районов (Минусинска, Кузнецка, Барнаула, Рудного Алтая), тогда как сами очаги этих событий в большинстве своем были расположены в горных хребтах Алтае-Саянского нагорья (Мушкетов, Орлов, 1893). Сбор первичной информации об исторических землетрясениях Горного Алтая в периодической печати и других опубликованных источниках показал, что в части исторических землетрясений надежно оценить параметры сейсмического события (положение эпицентра и магнитуду) на основании сведений о макросейсмическом эффекте преимущественно только в дальней зоне весьма проблематично (Татевосян, Мокрушина, 2014).

Однако, в 1980-х гг. на основе опросов местного населения и специально проведенных палеосейсмогеологических исследований в Монгольском Алтае был локализован очаг Великого Монгольского землетрясения 1761 г., которое ощущалось на огромной территории, достигнув Рудного Алтая, Бийска и Барнаула (Хилько и др., 1985). Выяснилось, что в районе эпицентра, где интенсивность сотрясений достигла 11 баллов по шкале MSK-64, память об ужасном землетрясении передавалась из поколения в поколение. Очаг землетрясения иркутскими сейсмогеологами привязан к молодому сейсморазрыву Ар-Хутэл длиной около 215 км, по которому произошел одноактный правосторонний сдвиг в горизонтальной плоскости на 4,5–7 м.

По всей видимости, обнаружение подобных свидетельств исторических землетрясений возможно и в Туве. Так, имеются неопределенные сведения о землетрясении 1771 г., эпицентр которого очень условно помещен в северной части Шапшальского хребта (Кондорская, Шебалин, 1977). О землетрясении практически ничего не известно, кроме того, что оно ощущалось на Рудном Алтае и в Кузнецке, но не распространилось столь широко как в 1761 г. (Мушкетов, Орлов, 1893). Такие же, крайне неопределенные сведения имеются о землетрясении в 1902 г., эпицентр которого также условно помещен в район хребта Западный Тану-Ола (Кондорская, Шебалин, 1977). По тем же данным, эпицентры нескольких ощутимых землетрясений (1885 и 1905 гг.) условно помещены в район Западного Саяна. Не только эти, но и другие исторические землетрясения Тувы ждут своих исследователей.



Исследования землетрясений Алтае-Саянского региона были начаты в 1905 г. А. В. Вознесенским (Вознесенский, 1906). Они были проведены в эпицентральной области сильнейших Болнайских (Таннуольских) землетрясений 1905 г. Им впервые была закартирована система сейсморазрывов длиной около 400 км, возникших в очаге землетрясений 1905 г., и сделано детальное описание этого грандиозного природного феномена. Землетрясения 1905 г. охватили огромную территорию Сибири, включая и Туву, где вызвали сотрясения интенсивностью 6–7 баллов, оставшиеся в памяти местных жителей. Сейсмическая активизация началась сильным землетрясением 9 июля 1905 г. ($M=7.6-7.7$), которое ощущалось почти по всей Монголии, вплоть до Пекина, а в Сибири — от Томска на западе, до Сретенска на востоке и Киренска на севере (Хилько и др., 1985). Это событие породило систему сейсморазрывов длиной около 130 км. 23 июля 1905 г. произошло гораздо более мощное, главное землетрясение с $M=8,2-8,3$ (11 баллов шкале MSK-64), которое наряду с Гоби-Алтайским 1957 г. вошло в число сейсмических катастроф мирового масштаба. Очаг этого землетрясения вышел на поверхность в виде системы сейсморазрывов общей протяженностью около 500 км, вдоль которой произошел левосторонний сдвиг в горизонтальной плоскости на 5-10 м (Молнар и др., 1995).

Инструментальные данные о землетрясениях Алтае-Саянской горной страны с $M>5.0$ появляются с 1913 г. В связи с большой удаленностью сейсмических станций в то время, эта информация мало пригодна для локализации очагов землетрясений в пределах конкретных сеймотектонических структур. Из этого периода известно несколько десятков землетрясений. Сильнейшее из них, Фуюньское землетрясение ($M=7,9-8,0$) произошло 11 августа 1931 г. в китайском Алтае. Истинный масштаб событий в эпицентральной области выяснился только к концу 1970-х годов. Китайскими сейсмогеологами был обнаружен очаг землетрясения 1931 г. где прослежена система сейсморазрывов длиной около 170 км (Yang, Ge, 1980). Сейсморазрывы образовались в результате импульсного правостороннего сдвига в горизонтальной плоскости на 8–11 м. Судя по сообщениям из некоторых пунктов Рудного Алтая, в верховьях Иртыша, на границах Алтайского края, Казахстана и Китая, интенсивность сотрясений 11 августа 1931 г. составила не менее 6 баллов (Кондорская, Шебалин, 1977).

Первые комплексные сейсмогеологические исследования в Алтае-Саянском регионе были выполнены в связи с катастрофическим Гоби-Алтайским землетрясением 1957 г. ($M=8,3$). Работы специальной Советско-Монгольской экспедиции, проведенные в 1957–1958 гг. под руководством



В. П. Солоненко и Н. А. Флоренсова, вышли далеко за рамки изучения последствий этого землетрясения и превратились в крупное научное исследование сейсмичности как природного феномена (Флоренсов, Солоненко, 1963). Гоби-Алтайское землетрясение началось в полдень 4 декабря 1957 г. пятибалльным предварительным толчком (форшоком), спасшим много человеческих жизней: жители выбежали из помещений и когда через минуту последующий могучий удар разрушил, а местами буквально смел с лица Земли некоторые строения, в них уже почти никого не было и только кое-где в горах несколько человек погибли под обвалами. Этот сейсмический удар ощущался жителями Монголии, Сибири и Китая на площади около 5 млн км².

Очаг землетрясения 1957 г. вышел на поверхность в виде сложной системы сейсморазрывов, охватившей участок Гобийского Алтая длиной примерно 275 км и шириной более 30 км. Максимальные горизонтальные и вертикальные компоненты смещений по разрывам достигают 8 и 9 м соответственно, хотя они существенно варьируют по простиранию системы. В результате землетрясения целая цепочка отдельных горных массивов и хребтов была приподнята и перемещена в горизонтальном направлении на 8–9 м. Такие грандиозные одноактные перемещения со всей очевидностью показали, как растут горы Алтае-Саянского региона.

По итогам исследования Гоби-Алтайского землетрясения был разработан палеосейсмогеологический метод, направленный на выявление следов землетрясений древности (палеосейсмодислокаций) и оценку их основных параметров (Флоренсов, 1960; Солоненко, 1962). Метод основан на обнаружении в очаге Гоби-Алтайского землетрясения следов сейсмических активизаций далекого прошлого, отсутствующих в каких-либо иных источниках кроме геологической летописи. Эти идеи были плодотворно восприняты многими исследователями, и с тех пор начаты палеосейсмогеологические исследования по всему Алтае-Саянскому региону, включая и Туву. Свое развитие они получили по всему миру, что привело к появлению отдельного научного направления — палеосейсмологии, с глубоко проработанными методическими приемами (Палеосейсмология, 2011).

С 1963 г. была начата регистрация всех землетрясений Алтае-Саянского региона с $M \geq 3,5$ (Жалковский и др., 1995). Одно из сильнейших сейсмических событий инструментального этапа наблюдений — Могодское землетрясение с магнитудой $M=7,8$ и интенсивностью в эпицентре (I_0) — 10 баллов, произошло 5 января 1967 г. в центре Монголии (Хилько и др., 1985). Это сейсмическое событие оказалось неожиданно сильным для



считавшейся ранее умеренно сейсмоактивной территории Центральной Монголии и продемонстрировало необычайно сложное строение очага. Сейсмический очаг вышел на поверхность в виде сложной и протяженной (примерно 45 км) системы сейсморазрывов, охватившей не одну протяженную плоскость сейсмогенерирующей подвижки, как это часто бывает при сильных землетрясениях, а плоскости двух крупных разломов меридионального и северо-западного простирания вблизи узла их пересечения (Рогожин, 2012).

В 1970 г., в приграничном районе Монголии и Юго-Западной Тувы произошло Урэг-Нурское землетрясение с $M=7,0$. Очаг землетрясения приурочен к тектоническому узлу в районе пересечения двух крупных активных разломов (Шапшальский и Цаган-Шибэтинский), но не был связан ни с одной из этих магистральных структур. По характеру обнаруженной в эпицентральной области системы сейсморазрывов длиной 6–8 км, в сейсмическую активизацию оказался вовлечен небольшой горный массив Цагдул-Ула (Хилько и др., 1985). Величина вертикального смещения достигла 2 м, сдвига — 0,5 м. Интенсивность сотрясений в эпицентральной зоне, судя по характеру и масштабу остаточных деформаций, могла достигать 9–10 баллов.

4 июля 1974 г. в Юго-Западной Монголии произошло Тахийншарское землетрясение ($M=6,9-7,0$, $I_0 = 9$ баллов). Очаг землетрясения вышел на поверхность в виде извилистой системы сейсморазрывов длиной около 17 км (Хилько и др., 1985). Максимальное вертикальное смещение по разрывам достигло 0,4 м, а горизонтальное (левый сдвиг) — 0,3–0,4 м. Относительно магнитуды события, величина смещений оказалась довольно небольшой.

В Восточном Казахстане 14 июня 1990 г. произошло Зайсанское землетрясение с $M=6,9-7,0$ (Рогожин, 2012). На то время оно стало сильнейшим для территории Русского Алтая и всего Восточного Казахстана за инструментальный этап наблюдений, чем внесло существенные коррективы в существовавшие представления о сейсмичности региона. Большая глубина гипоцентра главного толчка (35–40 км) была причиной сравнительно скромного сейсмического эффекта на поверхности — до 8-ми баллов. Все деформации поверхности носили, по-видимому, вторичный — вибрационный или сейсмогравитационный характер. Возможно, лишь линейная субширотно вытянутая система трещин общей протяженностью более 20 км, может косвенно отражать на поверхности проекцию верхней кромки сейсмического очага.

Гораздо более сильное землетрясение произошло 27 сентября 2003 г. на территории Горного Алтая ($M=7,3$, $I_0=9-10$ баллов). Оно получило название Чуйского или Алтайского. Очаг землетрясения вышел на поверхность в виде протяженной (более 70 км) системы правых сдвигов со смещением в горизонтальной плоскости до 1,5–2,0 м (Рогожин и др., 2007). Это землетрясение не привело к человеческим жертвам, но вызвало образование многочисленных сейсмовибрационных трещин в п. Бельтир, расположенном на надпойменной террасе р. Чаган-Узун, в результате чего поселок был перенесен в другое место. В целом, землетрясение 2003 г. было изучено очень детально с самых разных сторон, включая и сейсмическую историю очага за последние 10 тыс. лет.

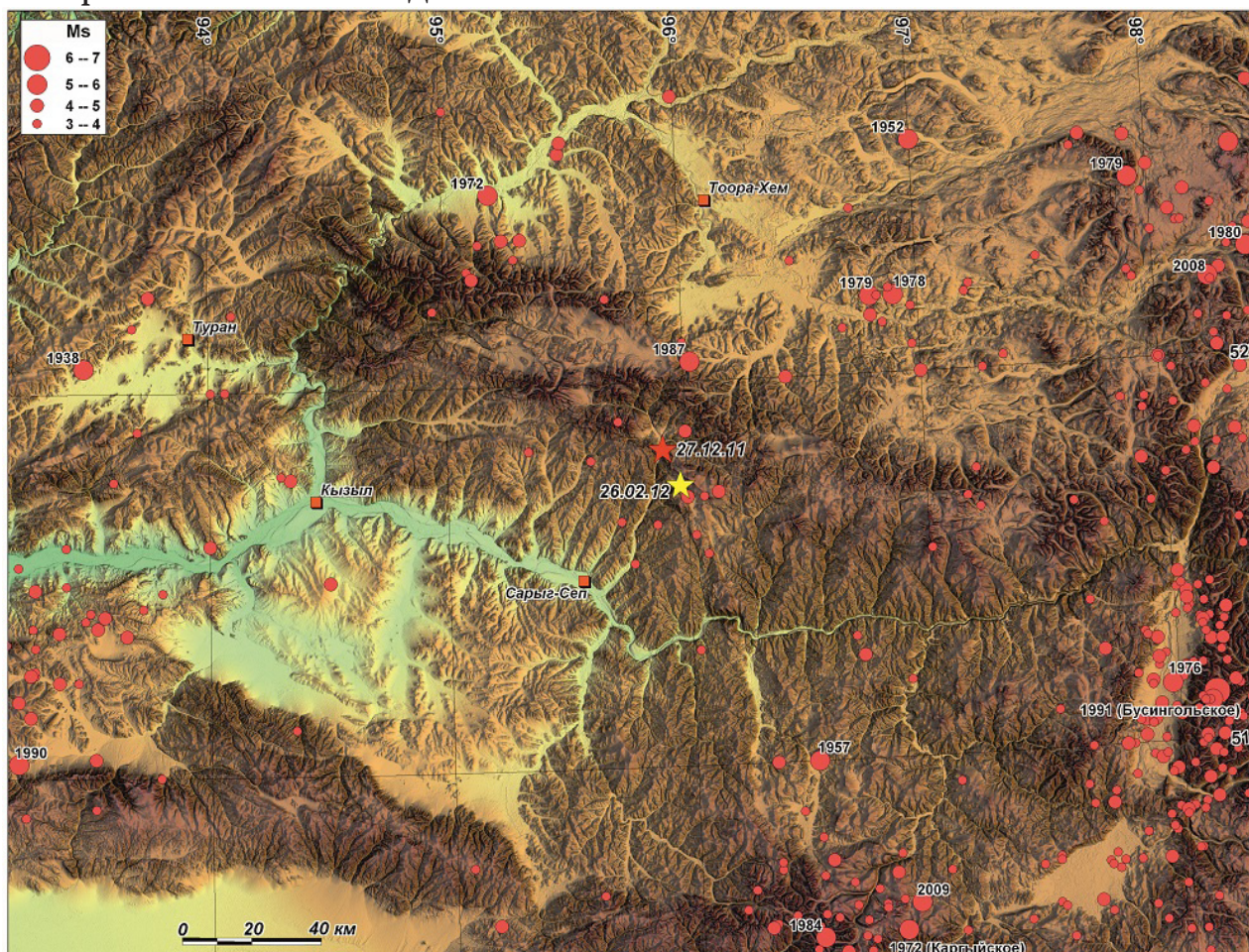


Рис. 3. Сейсмичность Восточной Тувы до тувинских землетрясений по данным (Каталог, Электр. ресурс).

Fig.3. Seismic activity in Eastern Tuva prior to earthquakes in Tuva (Source: Katalog...)

Прим.: Эпицентры Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. показаны звездочками по данным (Еманов и др., 2014).



В Туве до событий 2011–2012 гг. сильнейшим землетрясением было Бусингольское 1991 г. с $M=6,5$ (рис. 3). Оно случилось на востоке Тувы, в пределах Билино-Бусингольской впадины, представляющей собой крайний юго-западный сегмент хорошо изученной Байкальской рифтовой зоны. Землетрясение произошло в приграничном районе с Монголией. Насколько известно, это событие было изучено только с сейсмологической точки зрения (Еманов и др., 2005). Среди землетрясений Тувы до 2011 г., полноценно изученных с геологической точки зрения, можно отметить лишь одно — Каргыйское 1972 г. с $M=5,7$ (Чернов и др., 1974). При землетрясении возникли только вторичные нарушения — обвалы, осыпи, выбросы и выколы глыб, вибрационные трещины и т. п. По ним были составлены представления об интенсивности сотрясений в эпицентральной области — 7–8 баллов.

О тувинских землетрясениях 2011–2012 гг.

Первое тувинское землетрясение произошло 27 декабря 2011 г., примерно в 100 километрах восточнее г. Кызыл. По данным Геофизической службы РАН это событие имело $M_s=6,7$ и расчетную интенсивность в эпицентре 8 баллов. После непродолжительного афтершокового процесса, два месяца спустя — 26 февраля 2012 г. практически в той же эпицентральной зоне произошло второе землетрясение с $M_s=6,8$ и расчетной интенсивностью в эпицентре 9 баллов.

Институт Физики Земли РАН совместно с Тувинским институтом комплексного освоения природных ресурсов СО РАН с 2012 по 2014 гг. проводили сейсмогеологические исследования в эпицентральной области тувинских землетрясений. Первоначальный разброс в определении эпицентров тувинских землетрясений по данным разных сейсмологических агентств был чрезвычайно велик. В результате полевых работ были закартированы остаточные нарушения землетрясений. По этим данным было установлено точное местоположение очагов землетрясений, их пространственные характеристики, место в геологической структуре региона и сейсмическая история за последние несколько тысяч лет (Рогожин и др., 2012; Овсяченко и др., 2014, 2016). Землетрясения породили сеймотектонические разрывы, обвалы, осыпи, камнепады, трещины отседания на крутых склонах, редкие оползни склонового чехла и трещины с выбросами обводненного песка в поймах крупных рек. Собранные данные о распределении вторичных эффектов землетрясений позволили в общих чертах наметить участки 8-ми и 9-ти балльных сотрясений.

Очаги обоих землетрясений вышли на поверхность в виде закономерных систем сейсморазрывов (рис. 4). Очаг февральского события был обнаружен и предварительно обследован уже в начале апреля 2012 г. (Рогожин и др., 2012). Важно, что обследование было выполнено в зимних условиях, еще до стаивания снега. Это позволило составить представление о разрывах в близком к первоначальному виде. Тем же летом разрывы оплыли, и в густом растительном покрове распознавались уже значительно сложнее. Сейсморазрывы от вторичных трещин отличаются тем, что секут на своем пути все формы рельефа и демонстрируют четкие структурные рисунки, свойственные тектоническим деформациям в целом.

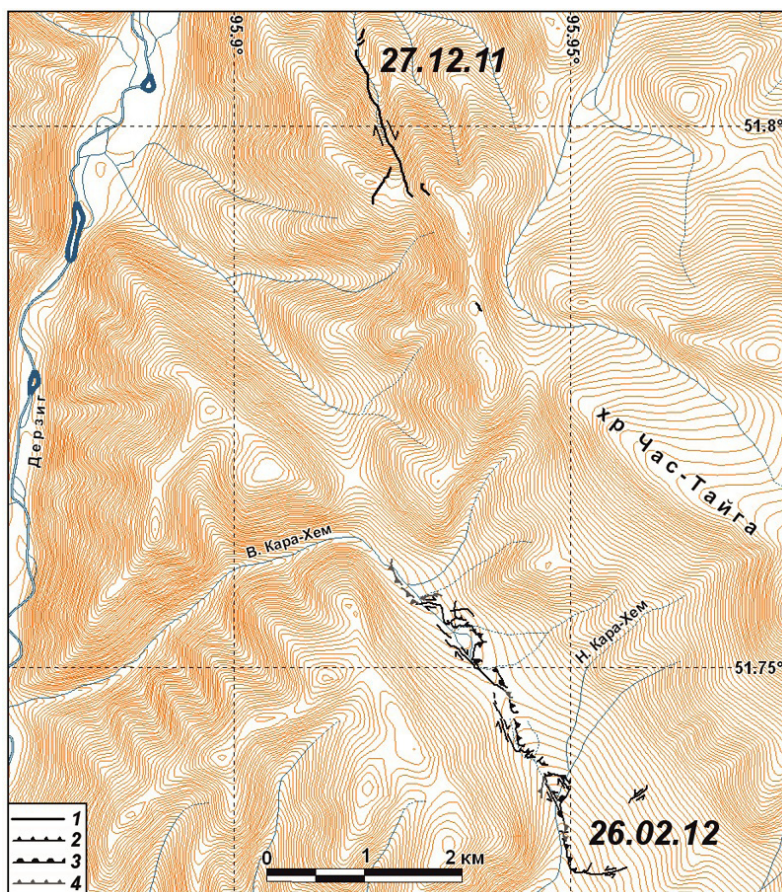


Рис. 4. Карта сейсморазрывов Тувинских землетрясений 2011–2012 гг.

Fig.4 Seismic faults during 2011–2012 earthquakes in Tuva

Прим.: 1 — сдвиги; 2 — взбросы и надвиги (бергштрихи направлены в сторону поднятого крыла); 3 — флексуры (бергштрихи направлены в сторону опущенного крыла); 4 — приразломные антиклинальные валы (бергштрихи направлены в сторону поднятого крыла сопутствующих взбросо-надвигов). Горизонтالي рельефа проведены через 10 м.

Сейсморазрывы возникли на ограничениях более древних тектонических форм рельефа (морфо-структур) — валов-поднятий, крутых бортов седловин-грабенов, а также в спрямленной долине ручья, и разделяют участки с резко различными геоморфологическими условиями. Смещения по разрывам отразили тенденции развития морфо-структур, прослеживаемые на протяжении очень длительного интервала времени — среднего плейстоцена — голоцена. К



ним, в первую очередь, относятся: сокращение поверхности Карахемской впадины (верховья ручьев Верх. и Ниж. Кара-Хем) в результате тектонического сжатия и локальное опускание грабена-седловины на северо-западном склоне хр. Час-Тайга.

Результаты палеосейсмологических исследований показали, что в прошлом здесь происходили такие же, и более сильные землетрясения, которые приводили к образованию сейсморазрывов в тех же местах. Радиоуглеродное датирование следов древних землетрясений дало возможность оценить их повторяемость. Сеймотектонические смещения неоднократно повторялись по одним и тем же индивидуальным разрывам, иногда практически синхронно в разных частях исследованного района. Для очага 1-го тувинского землетрясения 2011 г. получен возраст трех палеоземлетрясений — 3000–3500, 1500–1900 и 300–500 лет назад. По силе предпоследнее событие было сходно с землетрясением 2011 г. ($M=6,7$). Два предыдущих события (3000–3500 и 1500–1900 лет назад) были сильнее. Для очага 2-го тувинского землетрясения (2012 г.), получены датировки двух предыдущих подвижек, произошедших за последние 900 лет — примерно 800–700 и 600–500 лет назад. По своим параметрам предыдущие подвижки были практически аналогичны современной. Можно полагать, что были схожи и параметры землетрясений — магнитуда ($M=6,8$) и интенсивность сотрясений в эпицентре (9 баллов).

Тувинские землетрясения произошли в осевой части горной цепи получившей название Академика Обручева. За полвека инструментальных сейсмологических наблюдений (с 1963 г.) хребет Академика Обручева в сейсмическом отношении проявил себя умеренно активным. В 1960–1980-х годах здесь неоднократно происходили землетрясения с умеренными магнитудами ($M=4-5,5$). Полвека наблюдений — очень небольшой интервал времени для выявления всех сейсмоактивных структур региона, в связи с чем при оценке сейсмической опасности в Алтае-Саянском регионе начиная с 1970-х годов широко используются геологические данные о молодых тектонических деформациях и следах древних землетрясений.

Возможность возникновения на хребте Академика Обручева сильных землетрясений была установлена с использованием сейсмогеологических методов. Яркие проявления молодых (четвертичных) тектонических смещений в западной части хребта были выявлены в середине XX-го столетия (Чудинов, 1959). Позже Г. А. Черновым (Чернов, 1978) в Восточной Туве была намечена сейсмогенерирующая структура, названная Каа-Хемским

сейсмогеном, частично совпадающая с одноименным разломом. По результатам палеосейсмогеологических исследований сейсмический потенциал Каа-Хемской разломной зоны был оценен как $M=6,6-7,0$ (Вдовин, Зеленков, 1982; Аржанников, Зеленков, 1995; Аржанников, 1998). Эти оценки нашли отражение на карте Общего сейсмического районирования России ОСР-97. Таким образом, землетрясения 2011–2012 гг. не стали неожиданными с точки зрения долгосрочного сеймотектонического прогноза, возникнув в уже известной сейсмогенерирующей структуре.

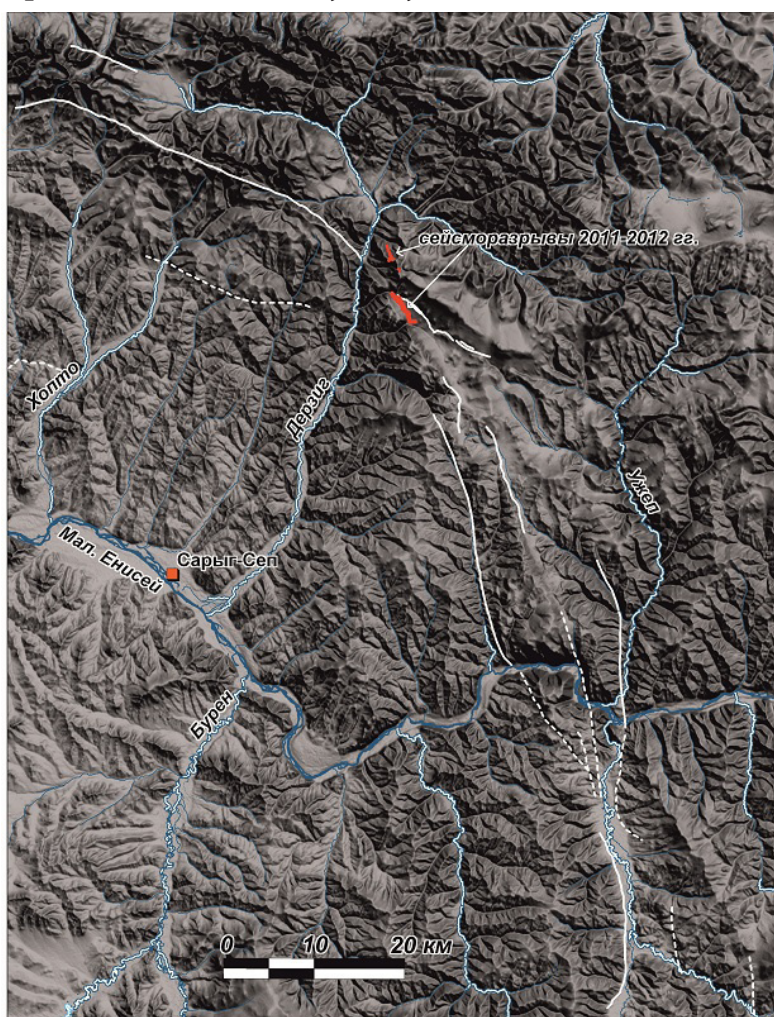


Рис. 5. Сегменты Каа-Хемской системы активных разломов (белые линии) с положением сейсморазрывов 2011–2012 гг.

Fig.5 Segments of the Kaakhem active fault system (faultlines in white), with indication of seismic faults in 2011-2012.

Каа-Хемский разлом, в зоне которого произошли тувинские землетрясения, представляет собой крупнейшую зону смятия шириной 15–20 км. Зона разлома имеет сложнейшую геологическую историю и играла структурообразующую роль

на протяжении всех тектоно-магматических активизаций с конца докембрия. Вдоль зоны Каа-Хемского разлома выявлены сегменты, демонстрирующие следы древних (возрастом в сотни-тысячи лет) сеймотектонических смещений, неоднократно повторявшихся по одним и тем же индивидуальным разрывам (рис. 5). Величины одноактных смещений достигают 2,5 м, а длины сегментов превышают 10 км, достигая 40 км. Это говорит о том, что



здесь происходили и произойдут в будущем более мощные землетрясения, магнитуда которых превышала $M=7,0$.

Заключение

Землетрясения 2011–2012 гг. стали сильнейшими за всю историю сейсмологических наблюдений в Республике Тыва и, таким образом, стали первыми хорошо изученными сильными сейсмическими событиями этого региона. Обзор сейсмической истории как всего Алтае-Саянского региона в целом, так и конкретной сейсмогенерирующей структуры в которой возникли эти землетрясения, показывает, что события 2011–2012 гг. являются «рядовыми» явлениями на фоне мощнейших сейсмических катастроф XX-го века и доисторических палеоземлетрясений случавшихся в Каахемской зоне разломов.

Ввиду очень слабой изученности, важнейшее значение имеет восстановление сейсмической истории Тувы на протяжении последних нескольких тысяч лет. Помимо палеосейсмологического метода, в этом направлении могут помочь методы исторической сейсмологии и археосейсмологии. Удачный пример использования опросов местного населения в локализации очага Великого Монгольского землетрясения 1761 г., показывает применимость методов исторической сейсмологии в Алтае-Саянском регионе. В Тыве подобный случай подтверждения легенды о вулканическом извержении, сохранившемся в памяти людей, результатами геологических исследований приведен А. М. Сугораковой и А. А. Монгушем (2015) на примере лавового потока в долине р. Кыштаг. Информацию о землетрясениях содержат периодическая печать и другие опубликованные источники второй половины XVIII — начала XX в. (Татевосян, Мокрушина, 2014) а также китайские и монгольские летописи (Хилько и др., 1985). Археосейсмологический подход был использован А. В. Паниным (2011) при исследованиях крепости Пор-Бажин, где были обнаружены следы трех землетрясений, произошедших за последние 1500 лет. Использование легенд и более конкретных сведений о разрушениях построек и иных сооружений древности может дать информацию о дате землетрясения и распределении сотрясений на площади, но недостаточно для определения местоположения сейсмических очагов и их параметров. Это возможно с привлечением датировок геологических следов землетрясений, письменных свидетельств и результатов археосейсмологических исследований с использованием кинематических индикаторов разрушений в древних сооружениях.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аржанников, С. Г. (1998) Сейсмоструктура Восточно-Тувинского нагорья : автореф. дисс. ... канд. геол.-мин.наук. Иркутск. 16 с.
- Аржанников, С. Г., Зеленков, П. Я. (1995) Сильные палеоземлетрясения хребта Академика Обручева (Восточная Тува) // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 2–3. М. : ОИФЗ РАН. С. 323–330.
- Вдовин, В. В., Зеленков, П. Я. (1982) Сейсмогенные формы рельефа Тувы и Западного Саяна // Закономерности развития рельефа Северной Азии / отв. ред. В. А. Николаев, Н. А. Флоренсов. Новосибирск : Наука. 161 с. С. 99–106.
- Вознесенский, А. В. (1906) Доклад о поездке в Монголию для исследования очагов землетрясений 9-го и 23-го июля 1906 года // Изв. Пост. Центр. сейсмич. ком. Т. II. Вып. 3. С. 83–92.
- Флоренсов, Н. А., Солоненко, В. П. (1963) Гоби-Алтайское землетрясение. М. : Изд-во АН СССР. 391 с.
- Еманов, А. Ф., Еманов, А. А., Филина, А. Г., Лескова, Е. В. (2005) Пространственно-временные особенности сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны // Физическая мезомеханика. Т. 8. № 1. С. 49–64.
- Еманов, А. Ф., Еманов, А. А., Лескова, Е. В., Селезнев, В. С., Фатеев, А. В. (2014) Тувинские землетрясения 27.12.2011 г., ML = 6.7 и 26.02.2012 г., ML = 6.8 и их афтершоки // Доклады Академии наук. Т. 456. № 2. С. 223–226.
- Жалковский, Н. Д., Кучай, О. А., Мучная, В. И. (1995) Сейсмичность и некоторые характеристики напряженного состояния земной коры Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. Т. 36. № 10. С. 20–30.
- Каталог [Электронный ресурс] // Сейсмобезопасность России. URL: http://www.seismorus.ru/eq_cat (дата обращения: 12.12.2016).
- Молнар, П., Курушин, Р. А., Кочетков, В. М., Демьянович, М. Г., Борисов, Б. А., Ващилов, Ю. Я. (1995) Деформация и разрывообразование при сильных землетрясениях в Монголо-Сибирском регионе // Глубинное строение и геодинамика Монголо-Сибирского региона. Новосибирск : Наука. С. 5–55.
- Мушкетов, И. В., Орлов, А. П. (1893) Каталог землетрясений Российской империи. СПб. : Тип. Имп. Академии наук. 582 с.
- Кондорская, Н. В., Шебалин, Н. В. (1977) Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. М. : Наука. 535 с.
- Овсяченко, А. Н., Рогожин, Е. А., Мараханов, А. В., Кужугет, К. С., Бутанаев, Ю. В., Новиков, С. С., Ларьков, А. С. (2014) Результаты полевых сейсмогеологических исследований Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. // Тувинские землетрясения 2011–2012 гг. Кызыл : ТувИКОПР СО РАН. 92 с. С. 57–79.

Овсюченко, А. Н., Рогожин, Е. А., Мараханов, А. В., Ларьков, А. С., Новиков, С. С., Кужугет, К. С., Бутанаев, Ю. В. (2016) Геологические исследования Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. // Вопросы инженерной сейсмологии. Т. 43. № 1. С. 5–29.

Палеосейсмология (2011) : в 2-х т. / ред. Дж. П. Мак-Калпин М. : Научный Мир.

Панин, А. В. (2011) Первые данные о позднеголоценовой сейсмике юго-западного замыкания Байкальской рифтовой зоны // Доклады Академии наук. Т. 438. № 1. С. 76–81.

Рогожин, Е. А. (2012) Очерки региональной сеймотектоники. М. : ИФЗ РАН. 340 с.

Рогожин, Е. А., Овсюченко, А. Н., Мараханов, А. В., Ушанова, Е. А. (2007) Тектоническая позиция и геологические проявления Алтайского землетрясения 2003 г. // Геотектоника. № 2. С. 3–23.

Рогожин, Е. А., Овсюченко, А. Н., Мараханов, А. В., Ларьков, А. С., Новиков, С. С. (2012) Тектоническая позиция и предварительные данные о геологических проявлениях Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. // Вопросы инженерной сейсмологии. Т. 39. № 2. С. 69–78.

Солоненко, В. П. (1962) Определение эпицентральных зон землетрясений по геологическим признакам // Известия АН СССР. Сер. геол. № 11. С. 58–74.

Сугоракова, А. М., Монгуш, А. А. (2015) Новейший вулканизм Восточной Тувы и подтверждение древней легенды // Сейсмическая безопасность региона и воздействие сейсмогеологических и социально-экономических факторов на его развитие. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (17–18 ноября 2015 г., Кызыл). Кызыл : РИО ТувГУ. С. 100–102.

Татевосян, Р. Э., Мокрушина, Н. Г. (2014) Макросейсмические сведения об Алтайских землетрясениях 1764–1913 гг. // Вопросы инженерной сейсмологии. Т. 41. № 4. С. 25–56.

Флоренсов, Н. А. (1960) О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области // Геология и геофизика. № 1. С. 74–90.

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. (1985) Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии / под ред. В. П. Солоненко и Н. А. Флоренсова. М. : Наука. 244 с.

Чернов, Г. А. (1978) К изучению сейсмогеологии и неотектоники Алтае-Саянской горной области // Сейсмогеология восточной части Алтае-Саянской горной области / отв. ред. В. П. Солоненко, Николаев В. А. Новосибирск : Наука. 104 с. С. 6–27.

Чернов, Г. А., Жалковский, Н. Д., Цибульчик И. Д. (1974) Каргыйское землетрясение 28 февраля 1972 года // Геология и геофизика. № 7. С. 124–132.

Чудинов, Ю. В. (1959) Новейшие тектонические движения в районе бассейна р. Улуг-О и хребта Таскыл в северо-восточной Туве // Бюллетень МОИП. Т. XXXIV. № 5. С. 55–70.



Yang, Z., Ge, S. (1980) Preliminary study of the fracture zone of the 1981 Fuyun earthquake and the features of neotectonic movement (in Chinese) // *Seismology and Geology*. Vol. 2. № 3. P. 31–38.

Дата поступления: 08.11.2016 г.

REFERENCES

Arzhannikov, S. G. (1998) *Seismotektonika Vostochno-Tuvinskogo nagor'ia* : Thesis of Diss. ... Candidate of Geological-Mineralogical Sciences. Irkutsk. 16 p. (In Russ.).

Arzhannikov, S. G. and Zelenkov, P. Ia. (1995) Sil'nye paleozemletriaseniia khrebta Akademika Obrucheva (Vostochnaia Tuva). *Seismichnost' i seismicheskoe raionirovanie Severnoi Evrazii*, vol. 2–3. Moscow, OIFZ RAN. Pp. 323–330. (In Russ.).

Vdovin, V. V. and Zelenkov, P. Ia. (1982) Seismogennye formy rel'efa Tuvy i Zapadnogo Saiana. In: *Zakonomernosti razvitiia rel'efa Severnoi Azii*, ed. V. A. Nikolaev and N. A. Florensov. Novosibirsk, Nauka. 161 p. Pp. 99–106. (In Russ.).

Voznesenskii, A. V. (1906) Doklad o poezdke v Mongoliiu dlia issledovaniia ochagov zemletriasenii 9-go i 23-go iuliia 1906 goda. *Izv. Post. Tsent. seismich. kom.*, vol. II, issue 3, pp. 83–92. (In Russ.).

Florensov, N. A. and Solonenko, V. P. (1963) *Gobi-Altayskoe zemletriasenie*. Moscow, AN SSSR Publ. 391 p. (In Russ.).

Emanov, A. F., Emanov, A. A., Filina, A. G. and Leskova, E. V. (2005) Prostranstvenno-vremennye osobennosti seismichnosti Altae-Saianskoii skladchatoi zony. *Fizicheskaiia mezomekhanika*, vol. 8, no. 1, pp. 49–64. (In Russ.).

Emanov, A. F., Emanov, A. A., Leskova, E. V., Seleznev, V. S. and Fateev, A. V. (2014) Tuvinskie zemletriaseniia 27.12.2011 g., ML = 6.7 i 26.02.2012 g., ML = 6.8 i ikh aftershoki. *Doklady Akademii nauk*, vol. 456, no. 2, pp. 223–226. (In Russ.).

Zhalkovskii, N. D., Kuchai, O. A. and Muchnaia, V. I. (1995) Seismichnost' i nekotorye kharakteristiki napriazhennogo sostoianiia zemnoi kory Altae-Saianskoii oblasti. *Geologiiia i geofizika*, vol. 36, no. 10, pp. 20–30. (In Russ.).

Katalog. *Seismobezopasnost' Rossii* [online] Available at: http://www.seismorus.ru/eq_cat (access date: 12.12.2016). (In Russ.).

Molnar, P., Kurushin, R. A., Kochetkov, V. M., Dem'ianovich, M. G., Borisov, B. A. and Vashchilov, Iu. Ia. (1995) Deformatsiia i razryvoobrazovanie pri sil'nykh zemletriaseniiaikh v Mongolo-Sibirskom regione. In: *Glubinnoe stroenie i geodinamika Mongolo-Sibirskogo regiona*. Novosibirsk, Nauka. Pp. 5–55. (In Russ.).

Mushketov, I. V. and Orlov, A. P. (1893) *Katalog zemletriasenii Rossiiskoi imperii*. St. Petersburg, Tip. Imp. Akademii nauk. 582 p. (In Russ.).

Kondorskaia, N. V. and Shebalin, N. V. (1977) *Novyi katalog sil'nykh zemletriasenii na territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 g.* Moscow, Nauka. 535 p. (In Russ.).

Ovsiuchenko, A. N., Rogozhin, E. A., Marakhanov, A. V., Kuzhuget, K. S., Butanaev, Iu.



V., Novikov, S. S. and Lar'kov, A. S. (2014) Rezul'taty polevykh seismogeologicheskikh issledovaniy Tuvinskikh zemletriasenii 2011–2012 gg. In: *Tuvinskie zemletriaseniia 2011–2012 gg.* Kyzyl, TuvIKOPR SO RAN. 92 p. Pp. 57–79. (In Russ.).

Ovsiuchenko, A. N., Rogozhin, E. A., Marakhanov, A. V., Lar'kov, A. S., Novikov, S. S., Kuzhuget, K. S. and Butanaev, Iu. V. (2016) Geologicheskie issledovaniia Tuvinskikh zemletriasenii 2011–2012 gg. *Voprosy inzhenernoi seismologii*, vol. 43, no. 1, pp. 5–29. (In Russ.).

Paleoseismologiia (2011) : in 2 vol., ed. Dzh. P. Mak-Kalpin. Moscow, Nauchnyi Mir.

Panin, A. V. (2011) Pervye dannye o pozdnegolotsenovoi seismike iugo-zapadnogo zamykaniia Baikal'skoi riftovoi zony. *Doklady Aakademii nauk*, vol. 438, no. 1, pp. 76–81. (In Russ.).

Rogozhin, E. A. (2012) *Ocherki regional'noi seismotektoniki*. Moscow, IFZ RAN. 340 p. (In Russ.).

Rogozhin, E. A., Ovsiuchenko, A. N., Marakhanov, A. V. and Ushanova, E. A. (2007) Tektonicheskaia pozitsiia i geologicheskie proiavleniia Altaiskogo zemletriaseniia 2003 g. *Geotektonika*, no. 2, pp. 3–23. (In Russ.).

Rogozhin, E. A., Ovsiuchenko, A. N., Marakhanov, A. V., Lar'kov, A. S. and Novikov, S. S. (2012) Tektonicheskaia pozitsiia i predvaritel'nye dannye o geologicheskikh proiavleniiakh Tyvinskikh zemletriasenii 2011–2012 gg. *Voprosy inzhenernoi seismologii*, vol. 39, no. 2, pp. 69–78. (In Russ.).

Solonenko, V. P. (1962) Opredelenie epitsentral'nykh zon zemletriasenii po geologicheskim priznakam. *Izvestiia AN SSSR, Issue Geology*, vol. 11, pp. 58–74. (In Russ.).

Sugorakova, A. M. and Mongush, A. A. (2015) Noveishii vulkanizm Vostochnoi Tuvy i podtverzhdenie drevnei legendy. In: *Seismicheskaiia bezopasnost' regiona i vozdeistvie seismogeologicheskikh i sotsial'no-ekonomicheskikh faktorov na ego razvitie. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (17–18 noiabria 2015 g., Kyzyl)*. Kyzyl, RIO TuvGU. Pp. 100–102. (In Russ.).

Tatevosian, R. E. and Mokrushina, N. G. (2014) Makroseismicheskie svedeniia ob Altaiskikh zemletriaseniiakh 1764–1913 gg. *Voprosy inzhenernoi seismologii*, vol. 41, no. 4, pp. 25–56. (In Russ.).

Florensov, N. A. (1960) O neotektonike i seismichnosti Mongolo-Baikal'skoi gornoj oblasti. *Geologiia i geofizika*, no. 1, pp. 74–90. (In Russ.).

Khil'ko, S. D., Kurushin, R. A., Kochetkov, V. M., Misharina, L. A., Mel'nikova, V. I., Gileva, N. A., Lastochkin, S. V., Balzhinniam, I. and Monkhoo, D. (1985) *Zemletriaseniia i osnovy seismicheskogo raionirovaniia Mongolii*, ed. V. P. Solonenko and N. A. Florensova. Moscow, Nauka. 244 p. (In Russ.).

Chernov, G. A. (1978) K izucheniiu seismogeologii i neotektoniki Altae-Saianskoi gornoj oblasti. In: *Seismogeologiia vostochnoi chasti Altae-Saianskoi gornoj oblasti*, ed. V. P. Solonenko and V. A. Nikolaev. Novosibirsk, Nauka. 104 p. Pp. 6–27. (In Russ.).



Chernov, G. A., Zhalkovskii, N. D. and Tsibul'chik I. D. (1974) Kargyiskoe zemletriasenie 28 fevralia 1972 goda. *Geologiya i geofizika*, no. 7, pp. 124–132. (In Russ.).

Chudinov, Iu. V. (1959) Noveishie tektonicheskie dvizheniia v raione basseina r. Ulug-O i khrebta Taskyl v severo-vostochnoi Tuve. *Biulleten' MOIP*, vol. XXXIV, no. 5, pp. 55–70. (In Russ.).

Yang, Z., Ge, S. (1980) Preliminary study of the fracture zone of the 1981 Fuyun earthquake and the features of neotectonic movement (in Chinese). *Seismology and Geology*, vol. 2, no. 3, pp. 31–38. (In Russ.).

Submission date: 08.11.2016.

Для цитирования:

Овсюченко А. Н., Бутанаев Ю. В. Сейсмическая история Алтае-Саянского региона и место в ней тувинских землетрясений 2011–2012 гг. [Электронный ресурс] // Новые исследования Тувы. 2017. № 1. URL: <https://nit.tuva.asia/nit/article/view/703> (дата обращения: дд.мм.гг.).

For citation:

Ovsyuchenko A. N. and Butanaev Yu. V. Seismic history of the Altai-Sayan region and the 2011-2012 earthquakes in Tuva. *New Research of Tuva*, no. 1 [online] Available at: <https://nit.tuva.asia/nit/article/view/703> (access date: dd.mmm.yy).