



**Chupikova Svetlana** - candidate of geographical Sciences, head of laboratory of mathematical modeling of the Federal state budgetary institution of science of the Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS (TuvIENR SB RAS), senior lecturer of the Department of geography and tourism of FSBEI HPE Tuvan State University (TuvSU), E-mail: s\_fom@inbox.ru

**УДК 550.34**

**РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТУВИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ  
2011-2012 гг.**

*Овсюченко А.Н.<sup>1</sup>, Рогожин Е.А.<sup>1</sup>, Мараханов А.В.<sup>1</sup>, Ларьков А.С.<sup>1</sup>, Новиков С.С.<sup>1</sup>, Бутанаев Ю.В.<sup>2</sup>,  
Кужугет К.С.<sup>2</sup>*

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН<sup>1</sup>*

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН<sup>2</sup>*

**THE RESULTS OF SEISMOLOGICAL RESEARCHES OF TUVAN EARTHQUAKES  
2011-2012**

*Ovsyuchenko A.N.<sup>1</sup>, Rogozhin E.A.<sup>1</sup>, Marakhanov A.V.<sup>1</sup>, Lar'kov A.S.<sup>1</sup>, Novikov S.S.<sup>1</sup>,  
Butanaev Yu.V.<sup>2</sup>, Kuzhuget K.S.<sup>2</sup>*

*The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS<sup>1</sup>*

*Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the RAS<sup>2</sup>*

Приведены результаты сейсмогеологических исследований Тувинских землетрясений 2011-2012 гг. ставших сильнейшими за всю историю сейсмологических наблюдений в Туве. Землетрясения произошли в зоне Каа-Хемского глубинного разлома, представляющего собой одну из крупнейших сейсмогенерирующих структур Алтае-Саянского сейсмоактивного региона. Следы землетрясений чётко делятся на две группы: вторичные, представляющие собой результат сейсмических сотрясений, и первичные, непосредственно отражающие выход очага землетрясения на поверхность в виде сейсморазрыва. Отличительная черта сейсморазрывов обоих землетрясений – небольшая длина относительно магнитуды событий. Собранные данные о распределении вторичных эффектов землетрясений позволили в общих чертах наметить участки 8-ми и 9-ти балльных сотрясений, представляющие собой суммарный эффект от двух событий.

**Ключевые слова:** Тыва, землетрясение, активная тектоника, очаг, сейсмический режим.

The article presents the results of seismological researches of Tuvan earthquakes since 2011 to 2012 which became the strongest for all history of seismological observations in Tuva. The earthquakes occurred in area of the Kaa-Khem deep fault that representing is one of the major seismo generating structures of the Altai-Sayan seismically active region. Traces of earthquakes are divided into two groups: secondary, representing the result of seismic tremors, and primary, which directly reflects the output of the earthquake source to the surface in the form of a rupture. A distinctive feature of the seismic ruptures of the two earthquakes is small length relative to the magnitude of events. The data collected on the distribution of secondary effects of earthquakes was allowed in general terms to outline the sections with magnitude of 8.0 and 9.0 that representing the total effect of the two events.

**Key words:** Tuva, earthquake, active tectonics, focus (seismic), seismic regime.

**Введение**

В 2011–2012 гг. на юге Сибири (Республика Тыва, Россия) в пределах Алтае-Саянской горной страны произошло два землетрясения с  $M_s=6.7$  и  $6.8$ . Эти события оказались сильнейшими за всю историю сейсмологических наблюдений в Туве и стали первыми, хорошо изученными сильными землетрясениями этого региона. Они не привели к человеческим жертвам, но имели серьезные последствия, чем вызвали большой переполох среди местного

населения и привлекли пристальное внимание сейсмологов и геологов.

Первое Тувинское землетрясение произошло 27 декабря 2011 г., примерно в 100 километрах восточнее г. Кызыл (рис. 1). По данным Геофизической службы РАН (ГС РАН, <http://www.ceme.gsras.ru>) это событие имело  $M_s=6.7$  ( $M_s=6.6$  по данным [1],  $M_w=6.6$  по данным NEIC) и расчётную интенсивность в эпицентре –  $I_0=8$  баллов. После непродолжительного афтершокового процесса, два месяца спустя – 26 февраля 2012 г. практически в той же эпицентральной зоне произошло второе землетрясение с  $M_s=6.8$  ( $M_w=6.7$  по данным NEIC) и расчётной интенсивностью в эпицентре –  $I_0=9$  баллов (ГС РАН, <http://www.ceme.gsras.ru>). Глубина гипоцентра первого землетрясения оценена в  $h=9$  км, второго –  $h=17$  км [2]. Интенсивность сотрясений в с. Сарыг-Сеп, ближайшем к эпицентру населённом пункте, расположенном в 40 км от него, при первом землетрясении оценена в 7–8 баллов, при втором – 7 баллов [1].

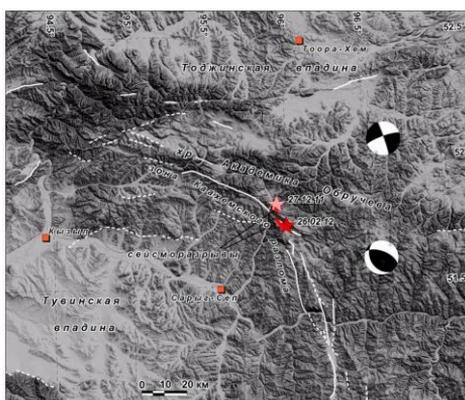


Рис. 1. Положение сейсморазрывов землетрясений 2011–2012 гг. в Каа-Хемской системе активных разломов.

Пунктиром показаны предполагаемые активные разломы. Показаны механизмы очагов землетрясений по данным ГС РАН.

Первоначальный разброс в определении эпицентров Тувинских землетрясений по данным разных сейсмологических агентств был чрезвычайно велик. В результате проведения полевых сейсмогеологических исследований [5,3], представления о положении очагов были существенно уточнены. Этому поспособствовали результаты детальных сейсмологических наблюдений временной сетью станций Алтае-Саянского филиала ГС РАН [1,2].

#### Методы исследований

Эпицентральная область расположена в глухой горно-таёжной местности без постоянного населения, в связи с чем, основными исследуемыми эффектами землетрясений стали геологические. Главным руководством по оценке интенсивности сотрясений послужила шкала INQUA EEE [8,4], где аббревиатура EEE (Earthquake environmental effects) служит синонимом выражению «геологические проявления землетрясения» [6]. Шкала INQUA EEE была разработана в рамках проекта международной геологической организации International Quaternary (INQUA) в 2004 г. В 2007 г., после незначительной доработки, она получила название ESI-2007 (Environmental seismic intensity) [9].

В шкале ESI-2007 эпицентральная интенсивность определяется по двум независимым критериям – размерам сейсморазрывов и общей площади распространения вторичных эффектов. Помимо площади распространения в шкале учитываются размеры вторичных эффектов (объём для оползней и обвалов, длина, ширина для трещин и т.д.). Размеры сейсморазрывов выражаются двумя параметрами: общая длина и максимальное смещение.

### Результаты полевых исследований

Оба землетрясения породили как первичные нарушения поверхности, отражающие выход очага землетрясения на поверхность, так и вторичные, представляющие собой результат сейсмических сотрясений.

**Первичные нарушения.** Очаги землетрясений вышли на поверхность в виде сейсморазрывов секущих корни и стволы деревьев, камни, кустарниково-моховой покров и прослеживаемых во всех формах рельефа. Сейсморазрыв второго, февральского события был обнаружен и предварительно обследован уже в начале апреля 2012 г. [5]. Важно, что обследование было выполнено в зимних условиях, ещё до стаивания снега. Это позволило составить представление о разрывах в близком к первоначальному виде. Уже тем же летом разрывы оплыли и, в густом растительном покрове, распознавались значительно сложнее.

Согласно решению механизмов ГС РАН (<http://www.ceme.gsras.ru>) подвижка при первом землетрясении имела преимущественно сдвиговую кинематику; при втором – преимущественно взбросовую с компонентой сдвига. При северо-западном простираии действующей плоскости смещений горизонтальный сдвиг был правосторонним; при северо-восточной ориентировке – левосторонним.

Характер смещений по сейсморазрывам хорошо коррелирует с решениями механизмов, а их положение – с координатами эпицентров по инструментальным данным (с учетом ошибки), что позволяет уверенно соотнести сейсморазрывы с конкретными землетрясениями. Очаг первого землетрясения расположен в верховьях руч. Медвежий, второго – в верховьях руч. Верхний и Нижний Кара-Хем (рис. 2). Сейсморазрывы представлены сложными системами нарушений, образующих закономерные структурные парагенезы.

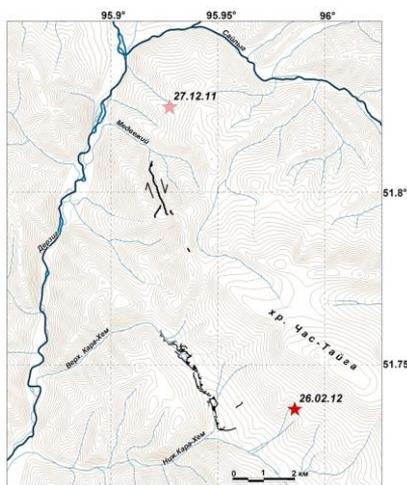


Рис. 2. Карта сейсморазрывов Тувинских землетрясений.

Сейсморазрывы показаны жирными линиями, звёздами – эпицентры землетрясений по данным [Еманов и др., 2013; 2014]. Горизонталы рельефа проведены через 30 м.

Сейсморазрыв первого землетрясения устроен относительно просто. Он имеет север-северо-западное простираие и правосдвиговую кинематику смещений на 50–60 см. Амплитуда смещения замерена в нескольких местах по разорванным корням деревьев и смещенным брёвнам. Длина сейсморазрыва составляет примерно 1,6 км. Однако, учитывая короткие разрывы в приводораздельной части хребта, вписывающиеся в общий структурный ансамбль,

длина системы нарушений составляет 3,1 км. Нарушения в основном представлены системой сопряжённых коротких трещин растяжения и валов сжатия, образующих «рыскающий» разрыв. На центральном отрезке сейморазрыв вспорол днище долины ручья. На южном окончании системы сейморазрывов 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 при таких же землетрясениях.

Сейморазрыв второго землетрясения устроен гораздо сложнее. Он вытянут в северо-западном направлении. Здесь наблюдаются разрывы практически всех кинематических типов. Среди нарушений можно выделить три основных разновидности. Преобладают взбросо-сдвиговые разрывы. Менее распространены взбросо-надвиги и сдвиги, среди которых доминируют правосторонние, хотя на отдельных участках обнаружены и левосторонние. Системы разрывов связаны друг с другом постепенными переходами, в целом образуя закономерный взбросо-сдвиговой структурный ансамбль общей длиной немногим менее 4 км. Максимальная величина горизонтального сокращения по разрыву достигла 1 м, смещение в вертикальной плоскости – до 80 см, величина правого сдвига – до 50 см. В целом, поднятым оказалось северо-восточное крыло, в котором расположен хр. Час-Тайга.

В опущенном крыле разрывов с вертикальной компонентой смещений произошло заболачивание и подтопление поверхности. На поднятых крыльях разрывов, напротив, часто наблюдается засохшая болотная растительность. Некоторые заболоченные участки заключены между отдельными ветвями разрывов, представляя собой опущенные тектонические блоки. Основное опускание произошло в полосе шириной порядка 100–150 м, вытянутой вдоль взбросо-сдвигов и взбросо-надвигов.

Согласно шкале ESI-2007 длина сейморазрывов отвечает интенсивности в 9 баллов. Однако по величине смещений интенсивность составляет 10 баллов. Описанные гидрогеологические проявления соответствуют 9 баллам. За итоговую можно принять оценку в 9 баллов.

**Вторичные нарушения.** Вторичные нарушения можно разделить на сейсмогравитационные и сеймовибрационные. К первым относятся обвалы, осыпи, камнепады, трещины отседания (отпора), наблюдаемые на крутых склонах, а также редкие оползни склонового чехла. На отдельных участках отмечено большое количество подброшенных или выброшенных из скалы камней. К сеймовибрационным 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.

В случае Тувинских землетрясений определить принадлежность вторичных нарушений к конкретному событию оказалось невозможным, т.к. все исследования проводились уже после обоих землетрясений. Поэтому удалось оценить лишь их суммарный эффект.

Концентрация и размеры вторичных нарушений обнаруживают зависимость не только от эпицентрального расстояния, но и от геолого-геоморфологических условий (рис. 3). В эпицентральной области наиболее детально было обследовано несколько участков, соответствующих вышеупомянутым «пунктам» [6,7], в пределах которых оценивался сейсмический эффект по всей совокупности объектов. Это – долины рек Дерзиг и Кара-Ос, Кара-Хемская впадина а также северо-западные склоны хребта Час-Тайга, где расположен очаг первого землетрясения. Указанные участки отличаются геолого-геоморфологическим строением, положением относительно очагов землетрясений. Они представляют собой основные ландшафтные единицы района и обладают различным набором доминирующих рельефообразующих процессов. Эти различия определили преобладание того или иного типа нарушений и масштабы их развития.

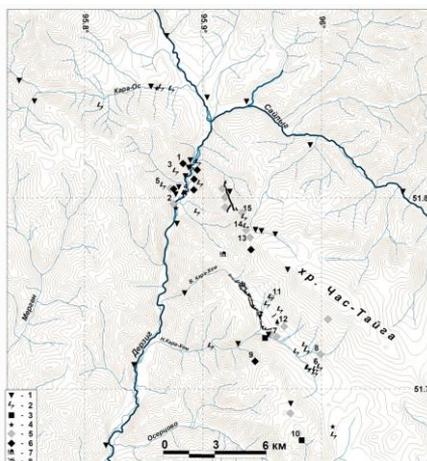


Рис. 3. Геологические проявления Тувинских землетрясений.

1 – осыпи и камнепады; 2 – сеймовибрационные трещины; 3 – оползни; 4 – выбросы песка; 5 – выбросы одиночных глыб; 6 – обвалы; 7 – поврежденная изба; 8 – сейсморазрывы. Горизонтали рельефа проведены через 50 м.

В целом, вторичные нарушения возникли на нескольких, относительно небольших участках, с благоприятными ландшафтно-геоморфологическими условиями. В эпицентральной области зафиксированы многочисленные камни, подброшенные вверх или выброшенные из скал в горизонтальном направлении. Согласно шкале ESI-2007 подбрасывание камней отвечает интенсивности 8 или 9 баллов, наиболее определён – 9 баллов. На удалении от сейсморазрывов в первые сотни метров (300–400) и более, в ряде случаев хорошо устанавливается направление выброса камней. Как правило, оно оказалось направлено в противоположную сторону от сейсморазрывов. 9-ти баллам также соответствуют размеры вибрационных трещин, но, с учетом того, что они образовались в мерзлых грунтах, т.е. в прочном субстрате. В области максимальных сотрясений не соответствуют 9-ти баллам размеры обвалов и оползней (7–8 баллов).

В распределении вторичных эффектов в районе очага второго землетрясения можно отметить одну закономерность. Подавляющее большинство из них возникло юго-западнее тектонического уступа, трассируемого вдоль подножия хр. Час-Тайга. Многие из нарушений возникли в непосредственной близости от уступа, что отчасти связано с очень контрастными геоморфологическими условиями. К северо-востоку от уступа, несмотря на резкое увеличение крутизны склонов, отмечены лишь единичные эффекты. По всей видимости, в данном случае можно говорить о зоне затухания сейсмических волн, связанной с активным тектоническим разломом.

Общая площадь систематического проявления вторичных нарушений составила около 900 км<sup>2</sup>. В соответствии с рекомендациями ESI-2007 сюда не включены отдельно отстоящие изолированные эффекты в дальней зоне, например: трещины и обвалы в долине р. Мал. Енисей у устья р. Сизим; небольшие оползни в районе устья р. Дерзиг, а также обвалы в верховьях р. Улуг-О. Площадь распространения вторичных эффектов в общих чертах отвечает интенсивности сотрясений в 9 баллов (порядка 1000 км<sup>2</sup>).

### Заключение

Землетрясения произошли в зоне Каа-Хемского глубинного разлома, представляющего собой одну из крупнейших сейсмогенерирующих структур Алтае-Саянского сейсмоактивного региона. Следы землетрясений чётко делятся на две группы: вторичные, представляющие собой результат сейсмических сотрясений, и первичные, непосредственно отражающие выход очага

землетрясения на поверхность в виде сейсморазрыва. Отличительная черта сейсморазрывов обоих землетрясений – небольшая длина относительно магнитуды событий. К вторичным относятся: 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. Вдоль сейсморазрывов прослеживается полоса шириной примерно 600–800 м, в которой почти отсутствуют следы сильных сейсмических сотрясений.

В заключение можно отметить, что Тувинские землетрясения позволили получить большой объем новых материалов об эффектах сильных сейсмических событий. Такие данные представляют собой основу для оценки сейсмической опасности Алтае-Саянского региона.

#### **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 грант \_р\_сибирь\_а, 15-35-50401.*

#### **Библиографический список**

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Подкорытова 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.
2. 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.
3. Овсюченко 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. [http://ipc-publisher.ru/collections\\_1.aspx?id\\_sb=11](http://ipc-publisher.ru/collections_1.aspx?id_sb=11)
4. Рогожин Е.А. О проекте новой макросейсмической шкалы ЕЕЕ // Землетрясения Северной Евразии в 2003 г. Обнинск: ГС РАН, 2009. С. 396–402.
5. Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Мараханов А.В., Ларьков А.С., Новиков С.С. Тектоническая позиция и предварительные данные о геологических проявлениях Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. // Вопр. инж. сейсмологии. – 2012. – Т.39, – №2 –С. 69–78.
6. Татевосян Р.Э., Рогожин Е.А., Арефьев С.С. Оценка интенсивности землетрясений на основании сейсмических эффектов в природной среде: общие принципы и примеры применения // Вопр. инж. сейсмологии. – 2008. – Т. 35. – №1. – С. 7–27.
7. Guerrieri L., Tatevossian R., Vittori E., Commerci V., Esposito E., Michetti A.M., Porfido S., Serva L. Earthquake environmental effects (EEE) and intensity assessment: the INQUA scale project. // Boll. Soc. Geol. It. – 2007. – V. 126. – №2. – pp. 375–386.
8. Michetti A.M., Esposito E., Gürpinar A., Mohammadioun B., Porfido S., Rogozhin E., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Commerci V., Marco S., McCalpin J., Morner N.A. The INQUA scale. An innovative approach for assessing earthquake intensities based on seismically induced ground effects in natural environment. // Special paper APAT, Memorie descrittive della carta geologica d'Italia. 2004. Vol. 67. 118 p.
9. Michetti A.M., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Azuma T., Clague J., Commerci V., Gürpinar 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. Vol. 74. 41 p.

#### **Bibliographicheskiy spisok**

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Подкорытова 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.
2. 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.
3. Овсюченко 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. [http://ipc-publisher.ru/collections\\_1.aspx?id\\_sb=11](http://ipc-publisher.ru/collections_1.aspx?id_sb=11)
4. Рогожин Е.А. О проекте новой макросейсмической шкалы ЕЕЕ // Землетрясения Северной Евразии в 2003 г. Обнинск: ГС РАН, 2009. С. 396–402.
5. Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Мараханов А.В., Ларьков А.С., Новиков С.С. Тектоническая позиция и предварительные данные о геологических проявлениях Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. // Вопр. инж. сейсмологии. – 2012. – Т.39 – №2 –С. 69–78.



6. Tatevosyan R.E., Rogojin E.A., Arefev S.S. Ocenka intensivnosti zemletryasenii na osnovanii seismicheskikh effektov v prirodnoi srede\_ obshchie principii i primeri primeneniya // Vopr. inj. seismologii. – 2008. – Т. 35. – №1. – С. 7–27.
7. Guerrieri L., Tatevossian R., Vittori E., Comerci V., Esposito E., Michetti A.M., Porfido S., Serva L. Earthquake environmental effects (EEE) and intensity assessment: the INQUA scale project. // Boll. Soc. Geol. It. – 2007. – V. 126. – №2. – pp. 375–386.
8. Michetti A.M., Esposito E., Gürpinar A., Mohammadioun B., Porfido S., Rogozhin E., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Comerci V., Marco S., McCalpin J., Morner N.A.. The INQUA scale. An innovative approach for assessing earthquake intensities based on seismically induced ground effects in natural environment. // Special paper APAT, Memorie descrittive della carta geologica d'Italia. 2004. Vol. 67. 118 p.
9. Michetti A.M., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Azuma T., Clague J., Comerci V., Gürpinar 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. Vol. 74. 41 p.

**Овсюченко Александр Николаевич** – кандидат геолого минералогических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук РАН. E-mail: ovs@ifz.ru

**Ovsuchenko Aleksandr** – candidate of geological and mineralogical sciences, leading researcher of the Federal State budget institution Science The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS. E-mail: ovs@ifz.ru

**Рогожин Евгений Александрович** – доктор геолого минералогических наук, зам. директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук РАН. E-mail: eurog@ifz.ru

**Rogozhin Evgeniy** – doctor of geological and mineralogical sciences, deputy director of the Federal State budget institution Science The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS. E-mail: eurog@ifz.ru

**Мараханов Александр Владимирович** – старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук РАН (ФГБУН ИФЗ РАН, E-mail: marahanov@ifz.ru

**Marachanov Aleksandr** – senior researcher of the Federal State budget institution Science The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS (FGBUN IPE RAS), E-mail: marahanov@ifz.ru

**Ларьков Александр Сергеевич** – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук РАН (ФГБУН ИФЗ РАН), E-mail: LaS119@yandex.ru

**Lar'kov Aleksandr** – researcher of the Federal State budget institution Science The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS (FGBUN IPE RAS, E-mail: LaS119@yandex.ru

**Новиков Сергей Сергеевич** – старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук РАН (ФГБУН ИФЗ РАН), E-mail: sergeich@ifz.ru

**Novikov Sergey** – senior researcher of the Federal State budget institution Science The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS (FGBUN IPE RAS) (123242, Moscow 10 B. Gruzinskaya st., p.1). E-mail: sergeich@ifz.ru

**Бутанаев Юрий Владимирович** – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ТувИКОПР СО РАН), E-mail: jyra3@mail.ru

**Butanaev Yuriy** – research assistant of the Federal State budget institution Science Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the RAS, E-mail: jyra3@mail.ru

**Кужугет Калин-оол Сереевич** – кандидат геолого минералогических наук, Старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ТувИКОПР СО РАН), E-mail: kushuget@inbox.ru

**Kuzhuget Kalin-ool** – candidate of geological and mineralogical sciences, senior researcher of the Federal State budget institution Science Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the RAS (FGBUN TuvIKOPR SB RAS), E-mail: kuzhuget@inbox.ru.A.

УДК 550.341.5

**МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ И СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НА ЮГО-ВОСТОКЕ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ТУВА, ОЗ. ДУС-ХОЛЬ)**

*Рычкова К.М., Монгуш С-С. С, Кужугет К.С.*

*ФГБУН Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН*

**MINERAL WATERS AND SEISMIC REGIME IN THE SOUTH-EAST OF THE ALTAI-SAYAN SEISMICALLY ACTIVE REGION (CENTRAL TUVA, LAKE DUS-KHOL' )**

*Rychkova K.M., Mongush S-S. S, Kuzhuget K.S.*

*Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (TuvIENR SB RAS)*

Впервые проведены мониторинговые работы по изменчивости газовой насыщенности вод источника Западный оз. Дус-Холь (Центральная Тува) в период 2013-2014 гг. Обсуждаются результаты определений реакции газогеохимического состава источника оз. Дус-Холь на сейсмические события 2013–2014 гг. Результаты подтверждают установленную взаимосвязь подземной гидросферы и напряженно-деформированного состояния земной коры. Выявлены пред и –постсейсмические индикаторы на сеймотектоническое событие от 26.04.14 г. с M=2.0. Установлено значительное повышение содержания гелия, связанное с дегазацией по глубинному разлому, активизированному сильными землетрясениями 2011-2012 гг. Аномальные вариации гелия указывают на неустойчивое состояние земной коры Центральной Тувы.

Неустойчивое состояние литосферы диктует необходимость продолжения и расширения мониторинга подземных флюидов. Возрастающая сейсмоактивность, ввод в эксплуатацию промышленных инженерных сооружений и коммуникаций требуют обоснования выбора современного комплекса методов наблюдения сейсмической активности, проведения мониторинга.

**Ключевые слова:** источник, Дус-Холь, напряженно-деформированное состояние, землетрясения, газогеохимические показатели, тектонические нарушения.

The monitoring works on the variability of the gas saturation of the water from West source of lake Dus-Khol (Central Tuva) for 2013-2014 were carried out for the first time. The results of determining the reaction of the gas-geochemical composition of lake Dus-Khol on seismic events of 2013-2014 were discussed. The results confirm the established relationship of underground hydrosphere and the stress-strain state of the earth's crust. Pred- and postseismic indicators of seismotectonic event of 26.04.2014 with M=2.0 were identified. It has been established a significant increase in the content of helium associated with degassing along deep fault that activated by strong earthquakes 2011-2012. Anomalous variations of helium indicate unstable state of the earth's crust of Central Tuva. The unstable state of the lithosphere requires the continuation and expansion of monitoring of underground fluids. Increasing seismic activity, putting into operation of industrial engineering constructions and communications require substantiation of the choice of modern observation methods of seismic activity, monitoring.

**Key words:** spring, Dus-Khol, the stress-strain state, earthquakes, gas-geochemical indicators, tectonic disturbance.

### **Введение**

Территория Тувы находится на юго-востоке Алтае-Саянской складчатой области (АССО). Обширные проявления позднекайнозойского вулканизма и гидротермальной деятельности, выявленная сопряженность изотопно-гелиевой аномалии и высокого теплового потока указывают на активизацию современного тепломассопотока из мантии на значительной территории Тувы [1,4],