УДК 550.41/.46/.394(571.52)

ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ТУВА, ОЗ. ДУС-ХОЛЬ)

Рычкова К.М., Кальная О.И., Аюнова О.Д.

ФГБУН «Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов» СО РАН (ТувИКОПР СО РАН), Кызыл, e-mail: tikopr@mail.ru

Территория Тувы характеризуется высокой сейсмической активностью. Сейсмические проявления отличаются неравномерностью распределения, упорядочиваясь в линейно вытянутые и изогнутые зоны в соответствии с разломно-блоковой структурой региона. Одной из наиболее актуальных проблем является поиск показателей сейсмической активности и прогноз. С этой целью в 2013–2014 гг. проведены исследования на выявление газогеохимических показателей процессов деформирования геологической среды в районе оз. Дус-Холь, расположенного в Тувинской котловине (Центральная Тува). Анализировалось содержание пятнадцати компонентов химического состава воды и содержание в воде гелия Западного источника озера Дус-Холь. Результаты мониторинговых наблюдений подтверждают взаимодействие геодинамических процессов земной коры и подземной гидросферы. Выявлены пред- и постсейсмические индикаторы на сейсмическое событие от 26.04.14 г. Наиболее информативными явились вариации макрокомпонентного состава. Значимыми предсейсмическими отклонениями отмечены хлор, натрий и минерализация. Установлено также значительное повышение содержания гелия, связанное с дегазацией по глубинному разлому, активизированному сильными землетрясениями 2011–2012 гг., произошедшими в Туве. Происходящие процессы вызывали вариацию водорастворенного гелия на всем протяжении периода наблюдений. Полученные результаты мониторинга подтверждают, что подземные компоненты минеральных источников оз. Дус-Холь являются высокочувствительными элементами, отражающими динамику напряженно-деформированного состояния земной коры, принимают активное участие в геодинамических процессах. О неустойчивом состоянии глубинных недр свидетельствуют возросшая аномальная вариативность водорастворенного гелия. Таким образом, установлено, что Центрально-Тувинская котловина является сейсмически активной, неустойчивой зоной. Возрастающая сейсмоактивность требует обоснования выбора современного комплекса методов наблюдения сейсмической активности, дальнейшего проведения мониторинга подземных флюидов.

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

STUDY OF GAS-GEOCHEMICAL INDICATORS OF SEISMIC ACTIVITY (CENTRAL TUVA, LAKE DUS-HOL)

Rychkova K.M., Kalnaya O.I., Ayunova O.D.

Tuva Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (TuvIENR SB RAS), Kyzyl, e-mail: tikopr@mail.ru

Tuva is characterized by high seismic activity. Seismic expression differs by uneven distribution in linearly elongated and curved area in accordance with the fault-block structure of the region. The search of seismic activity indicators of seismic events and their prediction is one of the most pressing problems. With this goal in 2013–2014 studies have been conducted on the identification of gas-geochemical indicators of deformation processes of the geological environment, seismic activity indicators in the area of the lake Dus-Khol, located in the Tuva basin (Central Tuva). The contents of the fifteen components of the chemical composition of water and helium content in the water the Western source of the lake Dus-Khol were analyzed. The results of monitoring observations confirm the interaction of geodynamic processes of the earth's crust and the relationship of the underground hydrosphere and the stress-strain state of the crust. Pre – and postseismic indicators on the seismic event on 26.04.14 are revealed. Variations macrocomponent composition was most informative. Chlorine, sodium and mineralization are marked as significant deviations. A significant increase of helium content is also found to be associated with degassing at depth the fault, activated strong earthquakes 2011–2012 occurred in Tuva. The processes caused variation of water solubility helium throughout the observation. The results of the monitoring confirm that the underground components of mineral springs of lake Dus-Khol are highly sensitive elements; reflecting the dynamics of the stress-strain state of the crust, take an active part in geodynamic processes. The unstable state of the deep interior indicate increased abnormal variability of water solubility helium. Thus, it is established that the Central Tuva basin is seismically active and unstable area. Increasing seismic activity requires to substantiate of the choice of the modern complex of methods of monitoring seismic activity, further monitoring of underground fluids.

Keywords: lake Dus-Khol, source Western, the stress-strain state, earthquakes, gas-geochemical indicators, tectonic disturbance

Тува находится на юго-востоке Алтае-Саянской складчатой области и характеризуется миграцией и нарастанием сейсмической активности по частоте и силе землетрясений. Обширные проявления позднекайнозойского вулканизма, установленная связь изотопно-гелиевой аномалии и высокого теплового потока свидетельствует о процессе активизации современного тепломассопотока из мантии, на напряженно-деформированное состояние земных недр [1, 2]. Концентрация флюидных ком-

понентов, поступающих из сейсмогенерирующих областей происходит в подземных водах. Связь флюидного режима с проявлениями сейсмических процессов и изучение подземных флюидов является весьма актуальной задачей на современном этапе.

Цель исследования

Целью данных исследований было установление газогеохимических индикатовров сейсмоактивности в районе оз. Дус-Холь (Центральная Тува). Выбор пункта наблюдений (источник Западный, оз. Дус-Холь) был обусловлен высоким содержанием изотопного отношения гелия в подземных флюидах источников, на порядок превышающем фоновое для вмещающих пород, его геолого-структурной позицией и расположением в относительной близости (50 км) от г. Кызыла, что позволило проводить отбор проб в зимний период.

Материалы и методы исследования

Современная тектоническая активность территории Тувы обусловлена нахождением региона в зоне сочленения Сибирской, Амурской и Монгольской плит. Напряженно-деформированное состояние земной коры приводит к разрушению устойчивости верхней части литосферы, к генерированию очагов землетрясений. Активность сейсмических процессов наблюдается в Каа-Хемской зоне, связанной с сильными землетрясениями 2011–2012 гг. Главной особенностью проявления здесь сейсмичности является многочисленность землетрясений энергетического класса К > 10 и линейно-узловое размещение эпицентров [3, 4].

Озеро Дус-Холь в тектоническом отношении расположено в Улуг-Хемской зоне, относящейся к Тувинскому межгорному прогибу, отличающемуся невысокой сейсмичностью. Структурные формы Улуг-Хемской зоны связаны с блоковыми движениями фундамента прогиба. Преобладают коробчатые и угловатые складки. Разломы имеют северо-западное и северо-восточное направление, круто-наклонные и вертикальные, идущие на значительную глубину.

С географической точки зрения озеро Дус-Холь располагается в бессточной впадине Улуг-Хемской котловины. Берега озера имеют пологие склоны, песчаные, лишенные древесной растительности. Озера овальной формы, длина – 1,6 км, ширина – 0,3–0,7 км, площадь акватории – 0,55 км^2. Максимальная глубина озера в северо-западной части составляет 3,4 м, а минимальная глубина в юго-восточной его половине (не более 2 м). В геологическом строении площади расположения озера принимают участие породы юрского, неогенового и четвертичного возрастов. Геологическое строение Улуг-Хемской котловины и прилегающих территорий, наиболее крупные разломы и эпицентры сейсмических событий отображены на рис. 1.

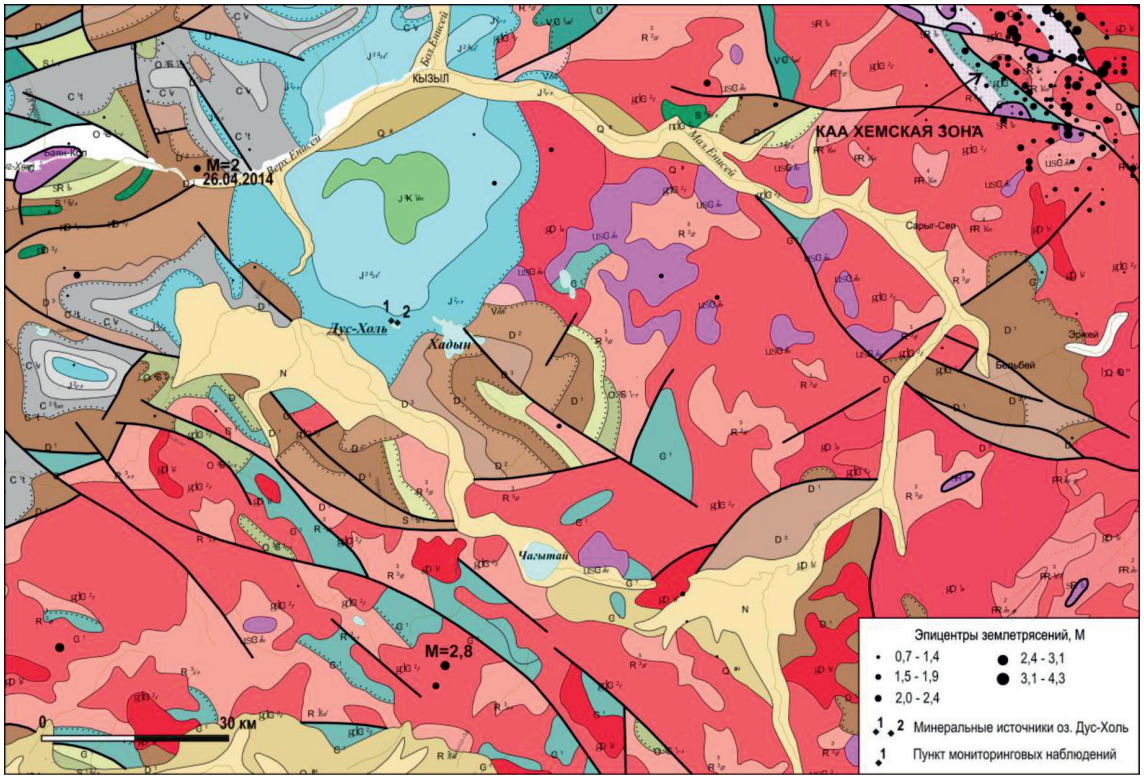

Рис. 1. Геологическая карта района работ

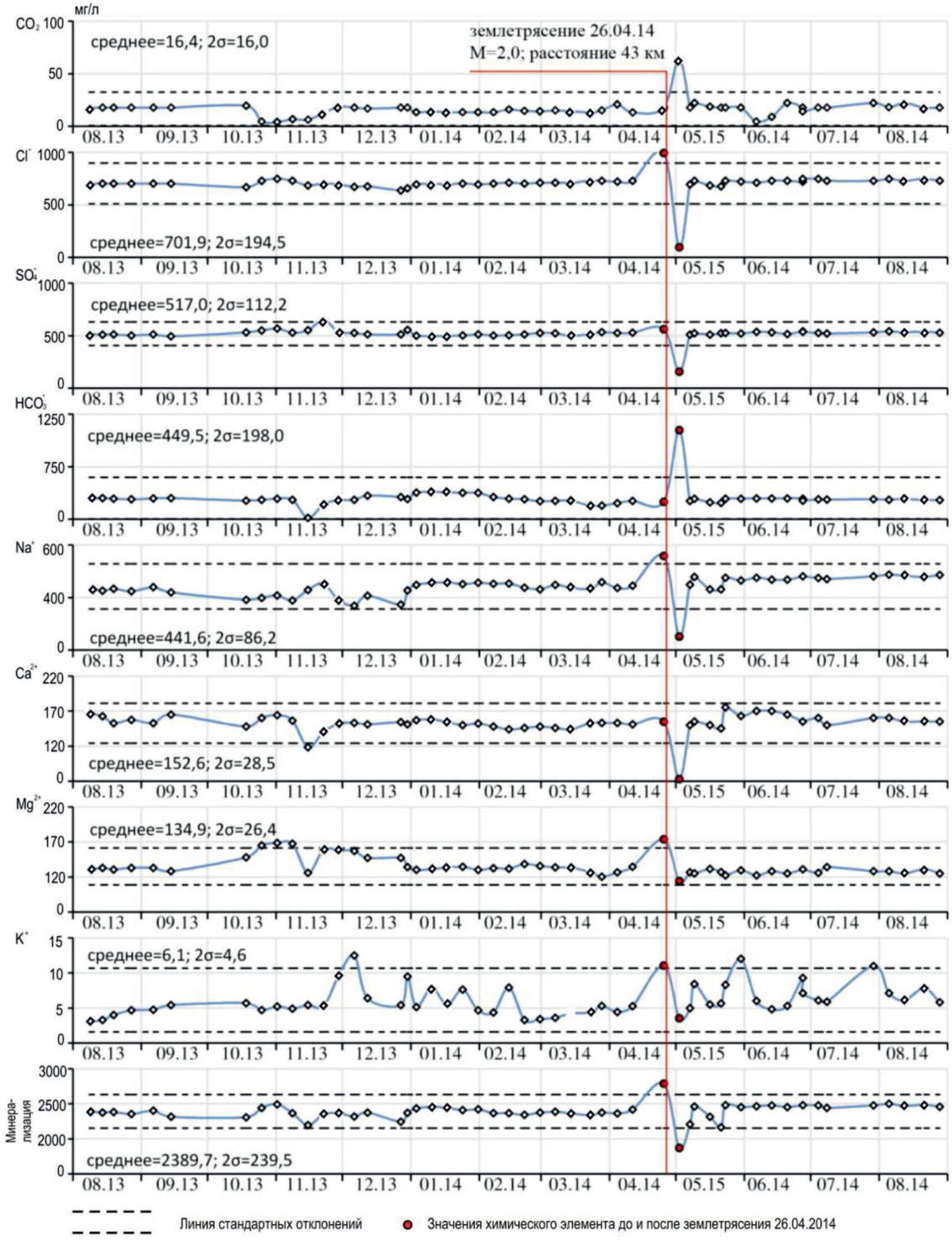

Рис. 2. Динамика вариаций минерализации и макроэлементного состава проб воды Западного источника до и после землетрясения 26.04.2014 г.

Питание озера происходит за счет атмосферных осадков и подземных вод юрского водоносного угленосно-терригенного комплекса. Разгрузка подземных вод совершается подземным путем и в виде двух минеральных источников с солоноватой минеральной водой. Источники расположены на юго-западном и восточном берегах озера (рис. 1). Анализы химического состава воды источников [5] показали, что по минерализации и химическому составу воды родников имеют близкий состав: в роднике Запад-

ном – вода сульфатно-хлоридная магниево-натриевая с минерализацией 2,3–2,6 г/л, в роднике Восточном – гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридная магниево-натриевая с минерализацией 2,0–2,9 г/л. Кроме этого, в водах источников отмечается содержание фтора 1,1 мг/л, брома – 9 мг/л, ортоборной кислоты – 9,7 мг/л, свободной углекислоты – до 70,4 мг/л.

Для выявления газогеохимических индикаторов сейсмодинамической активности был выбран источник Западный (1). Пробы воды из источника отбирались на макро- и микроэлементный состав с декадным интервалом. Было отобрано 85 проб в период с 08.08.2013 г. по 29.09.2014 г. Химический, газовый и микроэлементный составы определялись в научно-исследовательской лаборатории гидрохимии «Вода» Томского политехнического университета. Пробы воды на содержание общего гелия отбирались с интервалом в 20 дней. Пробы анализировались в Новосибирске и Иркутске на приборе ИНГЕМ–1 (индикатор гелия магниторазрядный). Получено 15 данных по определению водорастворенного гелия.

Временные ряды газогеохимических показателей соотносились с данными мониторинга сейсмического режима Центра мониторинга эндогенных источников чрезвычайных событий (ЦМЭИ ЧС) (ТИКОПР СО РАН, г. Кызыл). Для оценки параметров аномалий определялись величины: $C_ф$ – фоновая величина параметра; $S_ф$ – среднеквадратичное отклонение в период фоновых вариаций; $Cф \pm 2S_ф$ – диапазон фонового изменения параметра.

Результаты исследования и их обсуждение

Наблюдения за химическим составом подземных флюидов происходили в период с 08.08.2013 г. по 28.08.2014 г. В этот период произошло два незначительных сейсмособытия; 21.01.2014 (M = 2,8) и 26.04.2014 г. (M = 2,0) на глубине 15 км; территория в данный период характеризуется сейсмическим затишьем. Землетрясение с незначительной амплитудой, произошедшее 26.04.2014 г. на расстоянии 43 км от пункта наблюдения вызвало вариации в составе подземных вод. Выделены скачкообразные изменения (более двух стандартных отклонений) (рис. 3) содержания практически всех элементов за пределы диапазона фонового изменения параметра до и после землетрясения (M = 2). Было установлено предсейсмическое увеличение концентраций хлора (Cl^-), натрия (Na^+), магния (Mg^{2+}) и вследствие этого увеличение минерализации. Постсейсмические изменения наблюдались у CO_2, хлора (Cl^-), сульфат-иона (SO_4^{2-}), HCO_3, кальция (Ca^{2+}) и минерализации. Все постсейсмические изменения были выражены в уменьшении содержания элементов, за исключением HCO_3, величина которого возросла от среднего 449,5 до 1100 мг/л.

Среди микроэлементов наиболее аномальным постсейсмическим изменением выделяется железо общее ($Fe_{общ}$), содержание которого при средней величине 0,08 мг/л увеличилось более чем в 6 раз. Такие микроэлементы как бром (Br), фтор (F), кремний (Si), бор (B), стронций (Sr), характеризуются незначительными постсейсмическими выходами за пределы диапазона фонового изменения параметра как положительного, так и отрицательного знака.

Землетрясение с M-2,8 произошло на расстоянии около 60 км к югу от пункта наблюдения. Оно не отразилось в вариациях состава подземных вод источников, несмотря на несколько большую величину магнитуд. Между пунктом наблюдений и эпицентром землетрясения проходит глубинный широтный разлом, отделяющий горную систему Танну-Ола, на хребте которого было зафиксировано сейсмособытие, от Улуг-Хемской котловины (рис. 1). Мы полагаем, что разлом явился своеобразным барьером для сейсмических волн.

Динамика газового потока подземных флюидов меняется под влиянием тектонических, геодинамических нагрузок, активных сейсмических процессов (рис. 3). Изменение содержания водорастворенного гелия и его вариативность по сравнению с 2007 и 2010 гг. несомненно связаны с парными землетрясениями, имеющими малое удаление друг от друга, произошедшими 27.12.2011 г. и 26.02.2012 г. [6] с магнитудой 6,2 и 6,7, находящихся на расстоянии 110 км от пункта наблюдений. Глубина очага землетрясений находилась на глубине 10 км. Афтершоки тувинских землетрясений продолжаются и в настоящее время, хотя интенсивность их значительно снизилась по сравнению с 2013–2016 гг. Летом 2014 г. были отмечены свежие деформации взбросового характера в эпицентральной зоне. Происходящие процессы вызывали вариацию водорастворенного гелия на всем протяжении периода наблюдений.

Заключение

1. Несмотря на малый период наблюдения и низкую сейсмичность, удалось выделить пред- и постсейсмические индикаторы на небольшое сейсмотектоническое событие от 26.04.14 г. с M = 2,0 в 43 км от источника Западный. Наиболее показательными явились вариации макрокомпонентного состава, из них предсейсмическими изменениями выделяются хлор, натрий и минерализация.

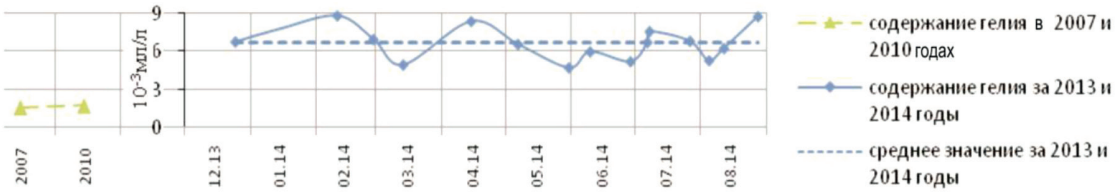

Рис. 3. Динамика изменения содержания водорастворенного гелия в пробах воды источника Западный, оз. Дус-Холь за период с 02.2013 г. по 08.2014 г.

2. Выявленные вариации гелия на протяжении 2013–2014 гг. однозначно являются откликом на изменения глубинного состояния литосферы в этом регионе после землетрясений 2011–2012 гг.

3. Полученные результаты мониторинга свидетельствуют о высокой чувствительсти химических показателей подземных флюидов оз. Дус-Холь на процессы деформирования геологической среды, об активном участии вод в геодинамических процессах и указывают, что район Центральной Тувы (Центрально-Тувинская котловина) является сейсмически активной и неустойчивой зоной, что приводит к необходимости продолжения и расширения мониторинговых наблюдений за режимом подземных вод Тувы.

Список литературы

1. Дучков А.Д. Оценки теплового потока Тувы по данным об изотопах гелия в термоминеральных источниках / А.Д. Дучков, К.М. Рычкова, В.И. Лебедев, И.Л. Каменский, Л.С. Соколова // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 2. – С. 264–276.

2. Рычкова К.М. Тепловой поток Тувы по изотопно-гелиевым и геотермическим данным: автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. – Новосибирск, 2009. – 25 с.

3. Лебедев В.И и др. О необходимости создания геодинамического полигона в Туве // Тувинские землетрясения 2011–2012 гг.: Материалы науч. совещ. по Базовому проекту ТувИКОПР СО РАН VIII.78.1.4 «Напряжённое состояние сейсмоопасных зон Тувы: оценка сейсмической безопасности на основе сейсмологических исследований и данных сети сейсмических станций» (15–17.04.2014, Кызыл, Россия) [Электронный ресурс]. - Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2014. - С. 34–36. – Режим доступа: http://ipc-publisher.ru/admin/files/collections/Seismika-2014(1-92.pdf.

4. Овсюченко А.Н. Результаты полевых сейсмогеологических исследований Тувинских землетрясений 2011–2012 г. / А.Н. Овсюченко, Е.А. Рогожин, А.В. Мараханов, К.С. Кужугет, Ю.В. Бутанаев, А.С. Ларьков, С.С. Новиков // Тувинские землетрясения 2011–2012 гг.: Материалы науч. совещ. по Базовому проекту ТувИКОПР СО РАН VIII.78.1.4 «Напряжённое состояние сейсмоопасных зон Тувы: оценка сейсмической безопасности на основе сейсмологических исследований и данных сети сейсмических станций» (15–17.04.2014, Кызыл, Россия) [Электронный ресурс]. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2014. – С. 57–78. – Режим доступа: http://ipc-publisher.ru/admin/files/collections/Seismika-2014(1-92.pdf.

5. Высотина Л.Н. Оценка запасов лечебных грязей в районе озер Хадын и Дус-Холь Республики Тыва: Отч. гидрогеологической партии по работам за 2007–2008 гг. с подсч. запасов лечебных грязей Хадынского и Дус-Хольского месторождений по состоянию на 01.01.2009 г. – Кызыл, 2008. – 157 с. – Тыв. фил. ФБУ «ТФГИ по СФО», Инв. № 2520.

6. Платонова С.Г. Геологические процессы в пределах эпицентральной зоны Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. (краткие предварительные результаты полевых исследований) // Сейсмическая безопасность региона и воздействие сейсмогеологических и социально-экономических факторов на его развитие: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (17–18.11.2015, Кызыл). – Кызыл: ТувГУ, 2015. – С. 59–61. – Режим доступа: http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/СЕЙСМИКА-ТувИКОПР-2015(59-61.pdf.

References

1. Duchkov A.D. Ocenki teplovogo potoka Tuvy po dannym ob izotopah gelija v termomineralnyh istochnikah / A.D. Duchkov, K.M. Rychkova, V.I. Lebedev, I.L. Kamenskij, L.S. Sokolova // Geologija i geofizika. 2010. T. 51, no. 2. pp. 264–276.

2. Rychkova K.M. Teplovoj potok Tuvy po izotopno-gelievym i geotermicheskim dannym: avtoref. dis. … kand. geol.-mineral. nauk. Novosibirsk, 2009. 25 p.

3. Lebedev V.I i dr. O neobhodimosti sozdanija geodinamicheskogo poligona v Tuve // Tuvinskie zemletrjasenija 2011–2012 gg.: Materialy nauch. soveshh. po Bazovomu proektu TuvIKOPR SO RAN VIII.78.1.4 «Naprjazhjonnoe sostojanie sejsmoopasnyh zon Tuvy: ocenka sejsmicheskoj bezopasnosti na osnove sejsmologicheskih issledovanij i dannyh seti sejsmicheskih stancij» (15–17.04.2014, Kyzyl, Rossija) [Jelektronnyj resurs]. Kyzyl: TuvIKOPR SO RAN, 2014. pp. 34–36. Rezhim dostupa: http://ipc-publisher.ru/admin/files/collections/Seismika-2014(1-92.pdf.

4. Ovsjuchenko A.N. Rezultaty polevyh sejsmogeologicheskih issledovanij Tuvinskih zemletrjasenij 2011–2012 g. / A.N. Ovsjuchenko, E.A. Rogozhin, A.V. Marahanov, K.S. Kuzhuget, Ju.V. Butanaev, A.S. Larkov, S.S. Novikov // Tuvinskie zemletrjasenija 2011–2012 gg.: Materialy nauch. soveshh. po Bazovomu proektu TuvIKOPR SO RAN VIII.78.1.4 «Naprjazhjonnoe sostojanie sejsmoopasnyh zon Tuvy: ocenka sejsmicheskoj bezopasnosti na osnove sejsmologicheskih issledovanij i dannyh seti sejsmicheskih stancij» (15–17.04.2014, Kyzyl, Rossija) [Jelektronnyj resurs]. Kyzyl: TuvIKOPR SO RAN, 2014. pp. 57–78. Rezhim dostupa: http://ipc-publisher.ru/admin/files/collections/Seismika-2014(1-92.pdf.

5. Vysotina L.N. Ocenka zapasov lechebnyh grjazej v rajone ozer Hadyn i Dus-Hol Respubliki Tyva: Otch. Gidrogeologicheskoj partii po rabotam za 2007–2008 gg. s podsch. zapasov lechebnyh grjazej Hadynskogo i Dus-Holskogo mestorozhdenij po sostojaniju na 01.01.2009 g. Kyzyl, 2008. 157 p. Tyv. fil. FBU «TFGI po SFO», Inv. no. 2520.

6. Platonova S.G. Geologicheskie processy v predelah jepicentralnoj zony Tuvinskih zemletrjasenij 2011–2012 gg. (kratkie predvaritelnye rezultaty polevyh issledovanij) // Sejsmicheskaja bezopasnost regiona i vozdejstvie sejsmogeologicheskih i socialno-jekonomicheskih faktorov na ego razvitie: Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. (17–18.11.2015, Kyzyl). Kyzyl: TuvGU, 2015. pp. 59–61. Rezhim dostupa: http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/SEJSMIKA-TuvIKOPR-2015(59-61.pdf.