

**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 сейсмотектоническое 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],

на напряженно-деформированное состояние земных недр. В настоящее время наблюдается нарастание сейсмических процессов по частоте и силе землетрясений.

Воздействие землетрясения на подземные воды было зарегистрировано как научное открытие в 1973 г [2]. Основным резервуаром накопления глубинных флюидных компонентов, поступающих из сейсмогенерирующих областей являются подземные воды. Связь флюидного режима с проявлениями сейсмических процессов и изучение подземных флюидов в удаленном и труднодоступном регионе АССО является весьма актуальной задачей на современном этапе.

### **Цель исследования**

В предлагаемой статье приводятся первые данные по поиску и выявлению газогеохимических индикаторов, отражающих изменения сейсродинамической активности, необходимых для создания мониторинговой политики на прогностических геодинамических полигонах, для создания комплексного подхода в прогнозировании землетрясений. Выбор пункта наблюдений (источник оз. Дус-Холь) был обусловлен его геолого-структурной позицией и расположением источника в относительной близости (50 км) от г. Кызыла, что позволило отбирать пробы как в летний, так и зимний период.

### **Методы исследований**

Пробы на макро– и микроэлементный состав отбирались из Западного грифона источника с интервалом в 10 дней. 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. Был проведен отбор проб на общий гелий с интервалом в 20 дней. Пробы анализировались в Иркутске и Новосибирске на приборе ИНГЕМ–1 (индикатор гелия магниторазрядный). Получено 15 результатов по определению водорастворенного гелия.

Полученные временные ряды газогеохимических показателей сопоставлялись с данными мониторинга сейсмического режима Центра мониторинга эндогенных источников чрезвычайных событий (ЦМЭИ ЧС) при ФГБУН Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук (ТувИКОПР СО РАН), созданном в 1995 году.

Озеро Дус-Холь расположено в Улуг-Хемской складчато-блоковой зоне Тувинского межгорного прогиба. В геологическом строении Улуг-Хемской зоны принимают участие слагающие фундамент вулканогенные образования раннего палеозоя, а также отложения чехла, представленные терригенными отложениями среднего-позднего девона и угленосной толщей юрского возраста. Складчато-покровные структуры чехла осложнены в результате блоковых перемещений, в результате которых возникли. коробчатые и угловатые складки. Разломы имеют преимущественно северо-западное и северо-восточное направления, круто-наклонные и вертикальные, идущие на значительную глубину [3]. Озеро бессточное, находится на высоте 760 м над уровнем моря и выше 100 м над срезом реки Верхний Енисей. В бортах озера выходят верхнеюрские отложения. В него впадают два минеральных источника на восточном и юго-западном берегу. Вода из Западного грифона источника оз. Дус-Холь преимущественно слабощелочная сульфатно-хлоридная магниевонариевая.

### **Результаты и обсуждение**

Наблюдаемый период с 08.08.2013 по 28.08.2014 гг. характеризуется сейсмическим затишьем. Установлены отклики на землетрясение с эпицентром на глубине 15 км (26.04.14 г.) с магнитудой 2,0. Он расположен на расстоянии 43 км от пункта наблюдения. Определялись следующие величины:  $S_{\text{ф}}$ —фоновая величина параметра;  $S_{\text{ф}}$  – среднеквадратичное отклонение в период фоновых вариации;  $S_{\text{ф}} \pm 2S_{\text{ф}}$  – диапазон фонового изменения параметра. По результатам детального изучения элементного состава проб воды за период исследований выделяются (рис. 1) скачкообразные изменения (более двух стандартных отклонений).

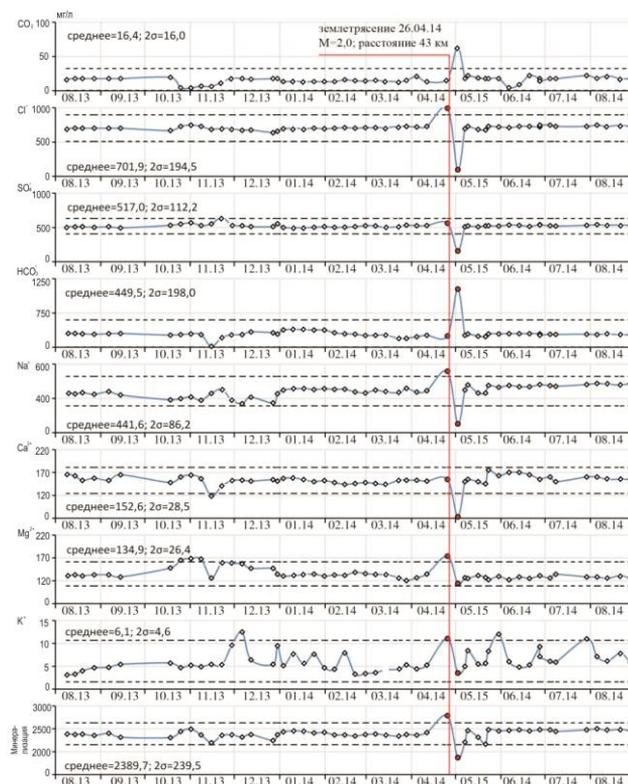


Рис.1. Динамика изменения макроэлементного состава и минерализации проб воды Западного гривона источника оз. Дус-Холь. Пунктирной линией отмечены два стандартных отклонения. Кружками значками – до и после землетрясений магнитудой равной 2

Количественные характеристики практически всех определяемых элементов вышли за пределы диапазона фонового изменения параметра. Аномалии имеют скачкообразный вид как положительного, так и отрицательного знака преимущественно постсейсмического характера. Исключение составляют катион  $Cl^-$ , анионы  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $PH$ ,  $Br$ , имеющие пред- и постсейсмические флуктуации при этом предсейсмические имеют положительный знак, по амплитуде уступающие постсейсмическим. Наиболее чувствительными предсейсмическими изменениями характеризуются хлор, натрий и минерализация у  $Cl$  наблюдается предсейсмическое увеличение концентрации до 1100 мг/л; постсейсмическое уменьшение до 100 мг/л при среднем 701,9 мг/л.  $Na^+$  характеризуется предсейсмическим увеличением концентрации до 540 мг/л и постсейсмическим уменьшением до 230 мг/л при среднем в 441 мг/л. Минерализация увеличилась до 2700 мг/л, а затем уменьшилась до 1800 мг/л при среднем 2389 мг/л. Предсейсмическое содержание  $Mg^{2+}$  незначительно увеличивается до 180 мг/л при среднем 135 мг/л мг/л.

Постсейсмические изменения характерны для катионов и анионов.  $SO_4^{2-}$  откликается постсейсмическим уменьшением концентрации до 200 мг/л при среднем 517 мг/л. Для  $HCO_3^-$  постсейсмическая концентрация достигает 1150 при среднем 449 мг/л.. Концентрация  $Ca^{2+}$  уменьшается после землетрясения до 70 мг/л при среднем 152 мг/л. Постсейсмическое содержание водорастворенного газа  $CO_2$  увеличилось до 65 мг/л при среднем в 16 мг/л.

Среди микроэлементов выделяется аномальное постсейсмическое содержание железа общего до 0,49 мг/л при среднем 0,08 мг/л. Такие микроэлементы как  $Br$ ,  $F$ ,  $Si$ ,  $B$ ,  $Sr$  характеризуются незначительными выходами как положительного, так и отрицательного знака за

пределы диапазона фонового изменения параметра. Скачкообразный вид аномалий обусловлен, по-видимому, первоначальным сжатием трещин, в результате чего на выходе увеличилась концентрация наиболее преобладающих в составе элементов, а затем расширением трещин и уменьшением их концентраций. Близость очага землетрясения и незначительная сила толчка, по-видимому, также вызывают скачкообразность характера изменений. Причиной реакции состава подземных вод на событие с  $M = 2$  является наличие скрытого глубинного разлома север-северо-западного простирания, ограничивающая овалыные блоки ранних каледонид [3].

В радиусе  $\approx 50$  км к югу были зарегистрированы землетрясения с  $M=2,8$  и  $M=2,2$ , с эпицентрами на хребте Танну-Ола, но они не оказали влияния на изменения режима подземных вод. Отсутствие реакции на эти землетрясения обусловлено наличием глубинного разлома широтного простирания, отделяющего хребет Танну-Ола от Улуг-Хемской зоны.

Анализы общего гелия в воде и газовом составе в 2007 и 2010 гг. [5] показали повышенные значения (около  $150 \times 10^{-5}$ ) при атмосферном фоне  $5,20 \times 10^{-5}$  мл/л (Рис. 2).



Рис.2. Динамика изменения содержания водорастворенного гелия в пробах воды западного источника оз. Дус-Холь за период 02.2013 – 08.2014

Наблюдения за содержанием водорастворенного гелия в 2013-2014 гг. показали его аномальное увеличение, которое продолжается и в настоящее время, от  $517$  до  $950 \times 10^{-3}$  со средним в  $700 \times 10^{-3}$  мл/л по сравнению с данными 2007 и 2010 гг. (рис.2). Это увеличение содержания гелия авторы связывают с землетрясениями, произошедшими в декабре 2010 г. и в феврале 2011 г. с магнитудой 6,2 и 6,7 в отрогах хребта Обручева на расстоянии 100 км от пункта наблюдений. В результате этих землетрясений произошла активизация и подновление глубинных разломов, по которым происходит дегазация земных недр. Вариативность гелия на протяжении всего срока наблюдений указывает на неустойчивое состояние геологической среды, на возможное изменение НДС земной коры.

### Заключение

Впервые полученные результаты по оценке зависимости состава минеральных вод от сейсmodинамической активности в Туве подтверждают установленную взаимосвязь подземной гидросферы и напряженно-деформированного состояния. Несмотря на малый период наблюдения и низкую сейсмичность, удалось выделить пред- и постсейсмические индикаторы на небольшое сейсмотектоническое событие 26.04.14 г. с  $M = 2,0$  в 43 км от пункта наблюдений. Наиболее информативными по этому землетрясению явились вариации макрокомпонентного состава и общего гелия. Вариативность гелия на протяжении всего срока наблюдений указывает на неустойчивое состояние геологической среды, на возможное изменение НДС земной коры. Вариации подземных флюидов позволили выявить и уточнить тектоническую обстановку в закрытом районе оз. Дус-Холь.

Результаты свидетельствуют о необходимости продолжения и расширения наблюдения режима минеральных вод грифонов источников Западный и Восточный в районе оз. Дус-Холь. Поиск и выявление газогеохимических показателей сейсmodинамической активности земных недр, изучение гелионосности подземных вод горно-складчатых районов и переходных зон орогена Тувы имеет большое научное и практическое значение.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13–05–98058р\_Сибирь\_а).*

**Библиографический список**

1. Дучков А.Д., Рычкова К.М. и др., Оценки теплового потока Тувы по данным об изотопах гелия в термоминеральных источниках // Геология и геофизика, - 2010. - Т. 51, №2, -С. 264-276.
2. Мавлжанов Г.А, Султанходжаев А.Н. и др. Явление изменения химического состава подземных вод при землетрясении. - Диплом на открытие № 129 по заявке № 01-7928 от 14 апреля 1971 г. Бюл. № 42, 1973
3. Схема разломной тектоники Тувинской АССР // Геологическая карта Тувинской АССР. – Ленинград, ВСЕГЕИ, 1983.
4. Рычкова К.М. Тепловой поток Тувы по изотопно-гелиевым и геотермическим данным: Автореф. дис. канд .геол.-мин.наук. – Новосибирск, 2009. – 25 с.
5. Рычкова К.М., Лебедев В.И. Изотопные исследования минеральных источников Тувы // Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов: Мат-лы I Междунар. науч.-практ. конф. (Кызыл, 17–20.06.2013.) – Кызыл: 2013. – С.162–166.

**Bibliograficheskiy spisok**

1. Duchkov A.D., Rychkova K.M. i dr., Ocenki teplovogo potoka Tuvy po dannym ob izotopah geliya v termomineral'nyh istochnikah // Geologija i geofizika, - 2010. - T. 51, №2, -S. 264-276.
2. Mavljanov G.A, Sultanhodzhaev A.N. i dr. Javlenie izmenenija himicheskogo sostava podzemnyh vod pri zemletrjasenii. - Diplom na otkrytie № 129 po zajavke № 01-7928 ot 14 aprelya 1971 g. Byul. № 42, 1973
3. Shema razlomnoi tektoniki Tuvinskoj ASSR // Geologicheskaja karta Tuvinskoj ASSR. – Leningrad, VSEGEI, 1983.
4. Rychkova K.M. Teplovoi potok Tuvy po izotopno-gelievym i geotermicheskim dannym: Avtoref. dis. kand .geol.-min.nauk. – Novosibirsk, 2009. – 25 s.
5. Rychkova K.M., Lebedev V.I. Izotopnye issledovanija mineral'nyh istochnikov Tuvy // Kurortnaja baza i prirodnye lecebno-ozdorovitel'nye mestnosti Tuvy i sopredel'nyh regionov: Mat-ly I Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kyzyl, 17–20.06.2013.) – Kyzyl: 2013. – S.162–166.

**Рычкова Клара Монгушевна** – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, E-mail: klara@inbox.ru

**Rychkova Klara** – candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, the senior scientific employee of the Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, E-mail: klara@inbox.ru

**Кужугет Калин-оол Сереевич** – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель центра мониторинга эндогенных источников Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, E-mail: kyshuget@mail.ru

**Kuzhuget Kalin-ool** – candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, leading research fellow, Head of the Centre for Monitoring of Endogenous Sources, Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, E-mail: kyshuget@mail.ru

**Монгуш Сай-Суу Сергеевна** – аспирантка геологии, поиски и разведки твердых полезных ископаемых, инженер-геофизик Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, E-mail: Saysuu1@mail.ru

**Mongush Say-Suu** – postgraduate student of Geology and Prospection of Solid Commercial Minerals, geophysicist, Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, E-mail: Saysuu1@mail.ru