

Институт земной коры Сибирского отделения
Российской академии наук

Иркутский государственный университет

Китайско-Российский исследовательский центр Удаляньчи-
Байкал по новейшему вулканизму и окружающей среде

РИФТОГЕНЕЗ, ОРОГЕНЕЗ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ

Материалы IV Всероссийского симпозиума с участием иностранных
ученых, посвященного 90-летию со дня рождения академика Н.А. Логачева
Иркутск, 14–15 октября 2019 г.

RIFTING, OROGENESIS, AND ACCOMPANIED PROCESSES

Proceedings of the IVth All-Russian symposium with participation of foreign
scientists, dedicated to the 90th anniversary of Academician Nikolay Logatchev
Irkutsk, 2019, October 14–15

Иркутск
2019

ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТНЫЙ И U-ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ТУНКИНСКОЙ ДОЛИНЫ (БУРЯТИЯ, РОССИЯ)

Е.П. Чебыкин^{1,2}, Йи-минь Сунь³, С.В. Рассказов^{1,4}, Женхуа Сюе³,
Чень Янг³, А.М. Ильясова¹

¹Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

²Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия, cheb@lin.irk.ru

³Институт вулканов и минеральных источников Хэйлунцзянской академии наук, Удаляньчи, Хэйлунцзян, Китай

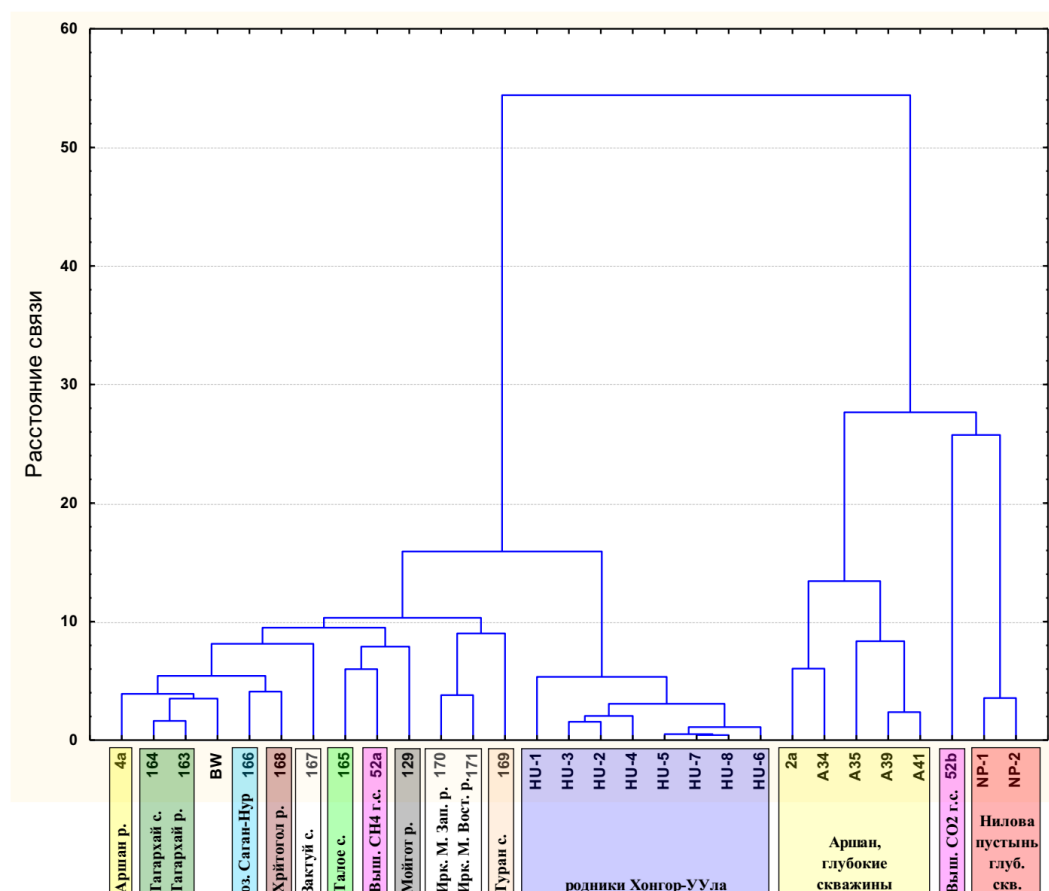
⁴Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

Центральная часть Тункинской долины характеризуется распространением минеральных вод различного состава (Павлов и др., 2018). Методом ИСП-МС в водах этой территории исследовано содержание 72 химических элементов, а также изотопный состав урана в 28 образцах из скважин и родников (отбор в сентябре 2018 г.). По элементному составу высокоминерализованные воды глубоких (>90 м) скважин группируются в отдельный кластер (рисунок): Аршан (углекислые воды скважин: st. 2а «Мальчик», смешение вод отводной трубы от st. А35 и самоизливающейся скважины в русле Кынгарги – 3.3, st. А34 – 1.5, st. А35 – 4.5, st. А39 – 4.4., st. А41 – 4.4 г/л), Вышка (st. 52b – скважина углекислой воды, 5.5 г/л), Нилова Пустынь (st. NP-1 и NP-2 – скважины радоновых вод на территории санатория, 1.1 и 1.3 г/л). Метановая вода скважины Вышка имеет также достаточно высокую минерализацию (st. 52а, 1.4 г/л), однако попадает в другую ветвь кластера, наряду с остальными пробами (рисунок). Эта вода обладает аномально низкой концентрацией Mg (3.8 мг/л) и S (2.8 мг/л), сопоставимой с концентрациями этих элементов в байкальской воде (3.0 мг/л, и 1.78 мг/л), и низкой концентрацией К (3.1 мг/л), относительно высокими концентрациями Na, Cl и некоторых следовых элементов: P, Ti, V, Cr, Se, Br, I, Hf, Hg. Углекислая вода Вышки (st. 52b) имеет также сравнительно низкую концентрацию S (16.2 мг/л).

Каждый тип вод первого кластера обогащен специфическими элементами (жирным шрифтом – максимальные концентрации среди всех исследованных проб): Аршанские скважины – Li, **Be**, B, Na, Mg, **Al**, Si, **S** (0.06–0.25 г/л), Cl, K, **Ca** (0.24–0.73 г/л), Sc, Ti, Mn, Fe, **Co** (0.4–1.06 мкг/л), **Ni** (3.3–6.5 мкг/л), Cu, **Zn** (5.6–42 мкг/л), Ge, **As** (2.6–8.7 мкг/л), Se, Br, Rb (30–100 мкг/л), **Sr** (3.7–12.9 мг/л), **Y** (0.24–1.07 мкг/л), **Zr** (0.13–0.63 мкг/л), Nb, **Cd** (0.01–0.026 мкг/л), Te, Cs, Ba, **REE** (0.2–0.9 мкг/л), Hf, Ta, Re, **Tl** (0.1–0.37 мкг/л), **U** (1.03–8.7 мкг/л); скважины Вышки (st. 52b, углекислая вода) – **Li** (2.8 мг/л), Be, **B** (5.2 мг/л), **Na** (1.06 г/л), **Mg** (0.21 г/л), **Si** (0.13 г/л), **Cl** (1.25 г/л), **K** (39 мг/л) **Sc** (8.4 мкг/л), Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, **Ge** (16 мкг/л), As, **Se** (10 мкг/л), **Br** (3.2 мг/л), Rb (108 мкг/л), Sr, Zr, **Nb** (0.03 мкг/л), **Ag** (0.006 мкг/л), **Te** (0.13 мкг/л), **I** (73 мкг/л), Cs, **Ba** (260 мкг/л), Hf, Ta, Hg, **Bi** (0.005 мкг/л); Нилова пустынь – Li, B, Na, Si, S, Cl, K, Ti, V, Cr, **Ga** (0.32–0.54 мкг/л!), Ge, **Rb** (93–110 мкг/л), Sr, **Mo** (17–19 мкг/л), Cd, I, **Cs** (33–41 мкг/л!), **Hf** (0.006 мкг/л), Ta, **W** (54–77 мкг/л!), **Hg** (0.2–0.25 мкг/л), **U** (1.17–2.0 мкг/л). Особенность радоновых вод Ниловой Пустыни – очень низкая концентрация Mg (1.9–3.9 мг/л) и Ba (~7 мкг/л), на уровне байкальской воды (3.0 мг/л и 10.1 мкг/л, соответственно).

Остальные исследованные воды относятся к пресным (общая минерализация TDS < 1 г/л) и характеризуются повышенными концентрациями следующих элементов: Аршан (st. 4а, родник у водопада по правому борту р. Кынгырга, TDS=0.29 г/л); Тагархай (st. 163, 164, родник и скважина, TDS=0.6, 0.34 г/л), V (st. 163), Cr, Ba, U.

Воды родника у р. Кынгарги и Тагархая наиболее близки по составу глубинной воде оз. Байкал и образуют вместе с ней единый подкластер (рисунок). Талое (st. 165, TDS = 0.28 г/л) – **V** (3.4 мкг/л), Cr, P, U; оз. Саган-Нур (st. 166, TDS = 0.84 г/л) – Mg, P, Mo, Ba, Ta; родники у старого моста через р. Иркут по дороге в п. Аршан (st. 170, 171, TDS = 0.54, 0.55 г/л) – **P** (168–185 мкг/л), Mn, **Ta** (st. 171 – 0.043 мкг/л); скважина 90 м в старом овчарнике с. Зактуй (st. 167, TDS = 0.37 г/л) – **Fe**, Co, Cu, Ba, **Re** (0.009 мкг/л); источники Хонгор-Уула (st. HU1-HU8, TDS = 0.16-0.33 г/л) – **Mn** (st. HU1, 390 мкг/л), Y, REE; родник у р. Хаюрта вблизи д. Хойтогол (st. 168, TDS = 0.35 г/л) – Co, **Cu** (3.8 мкг/л), Ba, U; п. Туран, скважина в автомойке (st. 169, TDS = 0.63 г/л) – P (143 мкг/л), Cl, Mn, Fe, Co, Zn, Zr, Nb, Ba, REE, Hf, **Th** (0.005 мкг/л), U; родник Мойгот, 46-й км дороги Монды-Култук (st. 129, TDS = 0.29 г/л) – V, **Cr** (1.75 мкг/л), Ba, **Pb** (6.2 мкг/л), U.



Кластерная диаграмма элементных составов байкальской воды (BW), озера Саган-Нур и подземных вод центральной части Тункинской долины (Бурятия, Россия). В расчет включены 48 надежно измеренных элементов (Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Te, I, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Re, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U), а также сумма REE и общая минерализации (TDS). Кластерный анализ выполнен в программе Statistica 8.0 методом Варда с евклидовыми расстояниями между кластерами. В подписях внизу: р. – самоизливающийся источник (родник), с. – скважина, г.с. – глубокая скважина. Расшифровка номеров станций – в тексте.

Изотопное отношение активностей урана $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (ОА4/8) варьируется в пределах ОА4/8=1.02–2.94. Высокие избытки ^{234}U (ОА4/8>2) обнаружены в большинстве родников Хонгор-Уула (st. НУ3–НУ8, 2.05–2.94), а также в скважинах Ниловой Пустыни (st. NP-1 – 2.43, st. NP-2 – 2.21). Необычный результат получен в воде st. 167 (с. Зактуй) – существенно обедненный нуклидом ^{234}U состав урана ОА4/8=0.77. Повышенное значение ОА4/8=1.75 получено для углекислой воды скважины Вышка (st. 52b). В метановой воде скважины Вышка (st. 52a) измерить изотопный состав урана не удалось из-за его крайне низкого содержания (0.0006 мкг/л). В аршанских глубоких скважинах изотопный состав урана варьируется от равновесных значений ОА4/8=1.02–1.05 (st. А35 – 140 м; st. А34 – 314 м, t = 18–22 °С; st. 2a – «Мальчик») до умеренно высоких ОА4/8=1.33 (st. А39 – 650 м, t =43 °С) и ОА4/8=1.83 (st. А41 – 657 м, t =45 °С). За исключением воды, законсервированной st. А34, эти значения ложатся на одну прямую на диаграмме смешения ОА4/8 – 1/U.

Исследования выполнены при совместных работах в Китайско-Российском исследовательском центре Удаляньчи–Байкал по новейшему вулканизму и окружающей среде.

Список литературы

Павлов С.Х., Чудненко К.В., Голубев В.А., Оргильянов А.И., Бадминов П.С., Крюкова И.Г. Геологические факторы и физико-химические процессы формирования подземных вод Тункинской впадины // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9, № 1. С. 221–248.

CHEMICAL ELEMENTAL AND U-ISOTOPIC COMPOSITIONS OF GROUND WATER IN THE CENTRAL PART OF THE TUNKA VALLEY (BURYATIA, RUSSIA)

E.P. Chebykin^{1,2}, *Yimin Sun*³, *S.V. Rasskazov*^{1,4}, *Zhenhua Xie*³, *Chen Yang*³,
*A.M. Ilyasova*¹

¹Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia

²Limological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia, *cheb@lin.irk.ru*

³Institute of Volcano and Mineral Springs, Heilongjiang Academy of Sciences, Wudalianchi, Heilongjiang, China

⁴Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

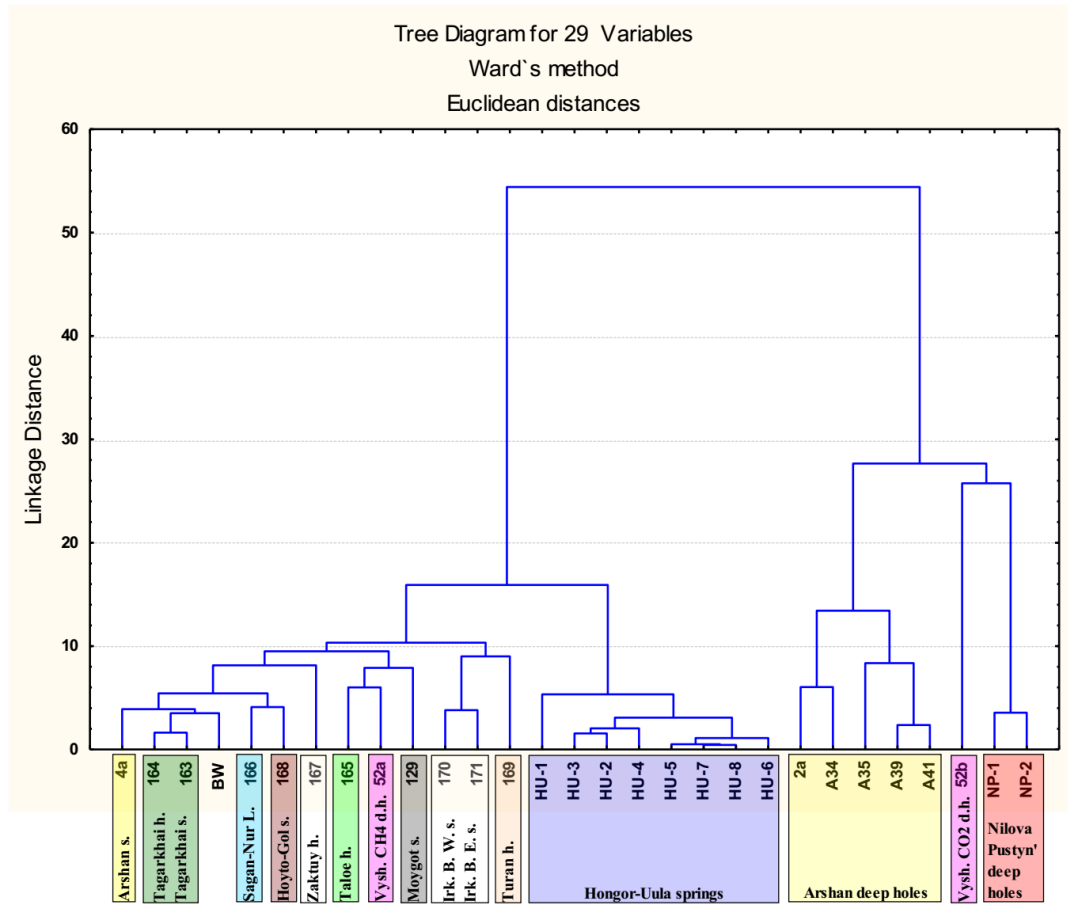
The central part of the Tunka valley is characterized by mineral waters of various compositions (Pavlov et al., 2018). Contents of 72 chemical elements, as well as the U-isotopic compositions were measured by ICP-MS in 28 water samples from wells and springs in this territory (sampling in September 2018). In terms of elemental compositions, highly mineralized water from deep wells (> 90 m) are grouped into a separate cluster (Fig.): Arshan (carbon dioxide water (g/l): st. 2a “Boy”, mixing of water from an outlet pipe from st. А35 and a self-inflating well in the Kyngarga River bed – 3.3, st. А34 – 1.5, st. А35 – 4.5, st. А39 – 4.4., St. А41 – 4.4), Vyshka (st. 52b – carbon dioxide water from a well, 5.5), Nilova Pustyn’ (NP-1 and NP-2 – radon water from wells in a spar, 1.1 and 1.3). The well’s methane water from Vyshka also has an elevated salinity (st. 52a, 1.4 g/l), but it falls into another branch of the cluster, along with other samples (Fig.). This water has low concentrations of Mg (3.8 mg/l) and S (2.8 mg/l), as compared to those in deep water from Lake Baikal (3.0 mg/l and 1.78 mg/l, respectively), low concentration of K (3.1 mg/l),

elevated concentrations of Na, Cl and some trace elements: P, Ti, V, Cr, Se, Br, I, Hf, Hg. The carbon dioxide water of the Vyshka well (st. 52b) also shows relatively low concentration of S (16.2 mg/l).

Each type of water in the first cluster is enriched with specific elements (in bold – the maximum concentrations among all the samples studied): Arshan wells – Li, **Be** (0.3–1.2 µg/l), B, Na, Mg, **Al** (8.6–22 µg/l), Si, **S** (0.06–0.25 g/l), Cl, K, **Ca** (0.24–0.73 g/l), Sc, Ti, Mn, Fe, **Co** (0.4–1.06 µg/l), **Ni** (3.3–6.5 µg/l), Cu, **Zn** (5.6–42 µg/l), Ge, **As** (2.6–8.7 µg/l), Se, Br, Rb (30–100 µg/l), **Sr** (3.7–12.9 mg/l), **Y** (0.24–1.07 µg / l), **Zr** (0.13–0.63 µg/l), Nb, **Cd** (0.01–0.026 µg/l), Te, Cs, Ba, **REE** (0.2–0.9 µg/l), Hf, Ta, Re, **Tl** (0.1–0.37 µg/l), **U** (1.03–8.7 µg/l); Vyshka wells (st. 52b, carbonic acid water) – **Li** (2.8 mg/l), **Be**, **B** (5.2 mg/l), **Na** (1.06 g/l), **Mg** (0.21 g/l), **Si** (0.13 g/l), **Cl** (1.25 g/l), **K** (39 mg/l), **Sc** (8.4 µg/l), Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, **Ge** (16 µg/l), As, **Se** (10 µg/l), **Br** (3.2 mg/l), Rb (108 µg/l), Sr, Zr, **Nb** (0.03 µg/l), Ag (0.006 µg/l), **Te** (0.13 µg/l), **I** (73 µg/l), Cs, **Ba** (260 µg/l), Hf, Ta, Hg, **Bi** (0.005 µg/l); Nilova Pustyn' – Li, B, Na, Si, S, Cl, K, Ti, V, Cr, **Ga** (0.32–0.54 µg/l!), Ge, **Rb** (93–110 µg/l), Sr, **Mo** (17–19 µg/l), Cd, I, Cs (33–41 µg/l!), **Hf** (0.006 µg/l), Ta, **W** (54–77 µg/l!), **Hg** (0.2–0.25 µg/l), U (1.17–2.0 µg/l). The peculiarities of radon water from Nilova Pustyn' are very low concentrations of Mg (1.9–3.9 mg/l) and Ba (~7 µg/l) at levels of the Baikal water concentrations (3.0 mg/l and 10.1 µg/l, respectively).

The rest of samples, represented fresh water (TDS <1 g/l), are characterized by elevated concentrations of the following elements: Arshan (st. 4a, spring near the waterfall of the Kyngyrga river, TDS=0.29 g/l) – Mo, Re (0.007 µg/l), Bi, U (4.2 µg/l); Tagarkhay (st. 163, 164, spring and well, TDS=0.6, 0.34 g/l), V (st. 163), Cr, Ba, U. Water of the springs Kyngarga and Tagarkhay are resemble in compositions to the deep water of Lake Baikal and form with it a single subcluster (Fig. 1). Sites of Taloe (st. 165, TDS=0.28 g/l) – V (3.4 µg/l), Cr, P, U; Lake Sagan-Nur (st. 166, TDS=0.84 g/l) – Mg, P, Mo, Ba, Ta; springs near the old bridge of Irkut River on the road to Arshan (st. 170, 171, TDS=0.54, 0.55 g/l) – P (168–185 µg/l), Mn, Ta (st. 171 – 0.043 µg/l); 90 m well in the old shepherd of Zaktui (st. 167, TDS = 0.37 g/l) – Fe (6.5 mg/l), Co, Cu, Ba, Re (0.009 µg/l); Hongor-Uul sources (st. HU1–HU8, TDS=0.16–0.33 g/l) – Mn (st. HU1, 390 µg/l), Y, REE; spring near Hayurta River, Khoytogol village (st. 168, TDS=0.35 g/l) – Co, Cu (3.8 µg/l), Ba, U; Turan, a well in a car-wash station (st. 169, TDS=0.63 g/l) – P (143 µg/l), Cl, Mn, Fe, Co, Zn, Zr, Nb, Ba, REE, Hf, Th (0.005 µg/l), U; Moigot spring, the 46th km of the Mondy–Kultuk road (st. 129, TDS=0.29 g/l) – V, Cr (1.75 µg/l), Ba, Pb (6.2 µg/l), U.

The activity ratio of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (AR4/8) varies within from 1.02 to 2.94. High excess ^{234}U (AR4/8>2) was found in the most of the Khongor-Uul springs (st. HU3–HU8, 2.05–2.94), as well as in the Nilova Pustyn' wells (st. NP-1–2.43, st. NP-2–2.21). An unusual result was obtained for water of st. 167 (Zaktui) – AR4/8=0.77, substantially depleted in the ^{234}U nuclide. The elevated AR4/8 value of 1.75 is measured for carbon dioxide water of the Vyshka well (st. 52b). Measurement of uranium isotopic composition in methane water from another Vyshka well (st. 52a) is failed because of its extremely low U content (0.0006 µg/l). In Arshan deep wells, the isotopic composition of uranium varies from equilibrium values (AR4/8=1.02–1.05, st. A35 [140 m], st. A34 [314 m, t=18–22 °C], st. 2a [“Boy”]) to moderately high (AR4/8=1.33, st. A39 [650 m, t = 43 °C], AR4/8=1.83, st. A41 [657 m, t=45 °C]). With the exception of conserved st. A34, these values fall on one straight line in the AR4/8 versus 1/U mixing diagram.



Cluster diagram of elemental compositions of the Baikal water (BW), Lake Sagan-Nur, and groundwater from the central part of the Tunka valley (Buryatia, Russia). Calculations include 48 reliably measured elements (Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Te, I, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Re, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U), as well as the sum of REE and total mineralization (TDS). Cluster analysis was performed using Statistica 8.0. In the captions below: “s.” – self-inflating source, “h.” – well, “d.h.” – deep well. Stations are described in the text.

This work was done in the Chinese-Russian Research Center Wudalianchi–Baikal on the latest volcanism and environment.

References

Pavlov S.Kh., Chudnenko K.V., Golubev V.A., Orgilyanov A.I., Badminov P.S., Kryukova I.G. Geological factors and physicochemical processes of groundwater formation in the Tunka depression // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2018. V. 9 (1), P. 221–248. doi:10.5800/GT-2018-9-1-0346.