

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
ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД УДАЛЯНЬЧИ И СЯОГУЛИХЕ
(СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ КИТАЙ) В СОПОСТАВЛЕНИИ С ГЛУБИННОЙ
ВОДОЙ БАЙКАЛА**

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

Методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) исследовано содержание 72 химических элементов, а также изотопный состав урана в 38 образцах поверхностных и подземных вод, отобранных в июле 2018 г. на территории Удаляньчи («Пять озёр») и Сяогулихе в Северо-Восточном Китае. Наиболее минерализованными являются углекислые источники Северный (1.5 г/л; Ca>Mg>K>Na>Si>Cl) и Южный (1.0 г/л; Ca>K>Mg>Na>Si>Cl) в геопарке Удаляньчи. В этих же источниках обнаружены высокие концентрации Mn (4.9, 7.5 мг/л), Fe (29, 28 мг/л) и повышенные аномалии следовых элементов: Li, Be, Sc, Co, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Sr, Zr, Nb, Ag, Cd, I, Ba и U. Частично эта аномалия сохраняется и в купажированной воде Sparking Natural Mineral Water (st. 40, bottled, 350 ml, «Miraculous Water», China, Wudalianchi Volcanic Cold Mineral Spring).

Среди других подземных самоизливающихся источников выделяются следующие положительные аномалии:

1) в лавовом поле северо-восточнее вулкана Молабушан (st. 9–11): Be, Al (1–2 мг/л!), Ti (27–43 мкг/л), Cu, Ga (0.3–0.5 мкг/л), Ge, Y, Zr, Nb, Ag, Sn, Cs, REE, Hf, Ta, Tl, Pb, Bi, Th. Данная аномалия сохраняется, но менее выражена и для некоторых других источников восточнее системы пяти озёр: st. 12 (вблизи влк. Вэйшан), st. 28 (вблизи влк. Сяогошан) и южнее озёр, в течении р. Шилонг ниже окончания лавового потока (st. 32, 33), а также в одном из восточных притоков озера № 3 (st. 35). Такая же аномалия, но с добавлением Sr, Ba и P характерна для подземного источника вблизи вулкана Гули (Coulee) (st. 20), расположенного в 250 км к ССЗ от Удаляньчи;

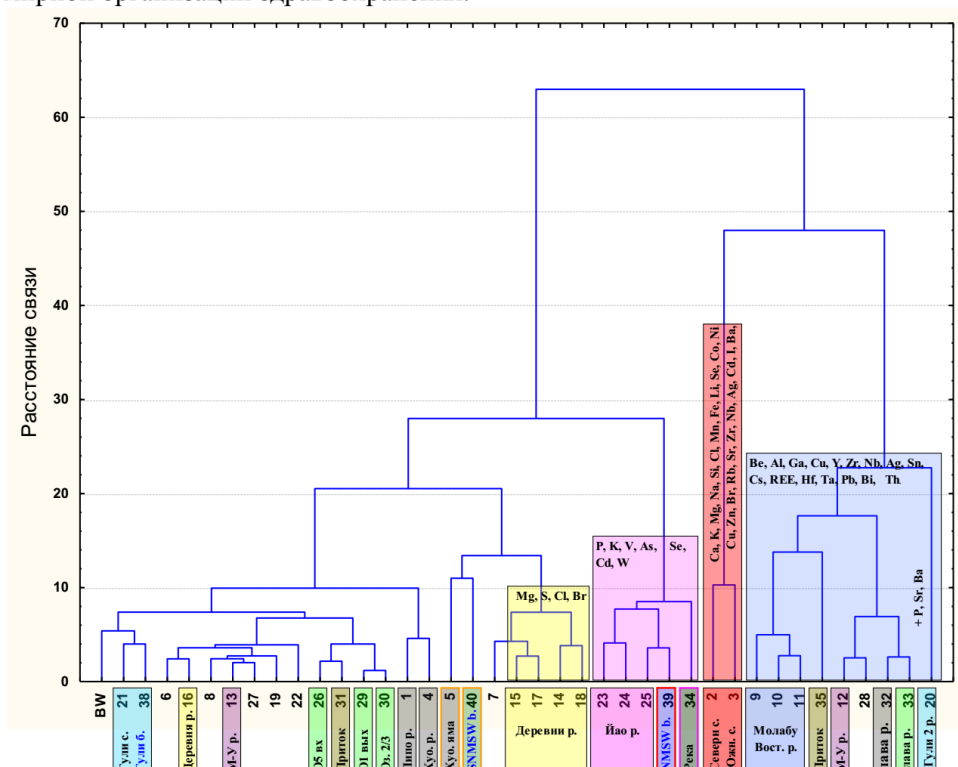
2) вблизи вулкана Йаоцюаншан (st. 23–25) повышенные концентрации P, K, V, As, Se, Mo, Cd, W. Эта же аномалия наследуется в разливаемой бутилированной воде Natural Mineral Spring Water (st. 39, bottled, 350 ml, «Miraculous Water») и реке (st. 34), которая берет начало из водоема, формируемого за счет этих подземных вод;

3) в источниках, обнесённых бетонными конструкциями, расположенных в деревнях или вблизи них (st. 14, 15, 17, 18), наблюдается повышенное содержание Mg, S, Cl, Br, Sr, вероятно, вследствие антропогенного влияния и фона от бетонных стенок.

Пробы воды, взятой на входе в систему пяти озёр (st. 26, река Шилонг, выше озера № 5), между озёрами № 2/№ 3 (st. 30) и на выходе из системы пяти озёр (st. 29, ниже озера № 1), свидетельствуют об изменении гидрологического статуса вод (река/озеро) и о возможном влиянии подземных источников / речных притоков на формирование элементного состава р. Шилонг на данном участке: концентрации Si, P, Mn, Fe и Co падают, а Li, S, Cl, K, V, Cu, Br, Rb, Mo, W и U, наоборот, возрастают. В наибольшей степени увеличивается концентрация урана (от 0.0066 до 0.3300 мкг/л – в 50 раз!) при уменьшении доли нуклида ²³⁴U: отношение активностей (²³⁴U/²³⁸U) (ОА4/8)

снижается от 1.46 до 1.32. Не исключено, что часть элементов (S, Cl, K) поступает за счёт смыва удобрений с сельскохозяйственных полей.

Кластерный анализ элементных составов вод (по методу Варда) в целом хорошо отражает найденные закономерности (рисунок). Из исследованных наиболее близкой к составу глубинной воды оз. Байкала является вода, добываемая из 180-метровой скважины вблизи вулкана Гули (st. 21) и разливаемая в бутылки (st. 38, bottled, 390 ml, «Coulee Volcano», China, www.gulihuoshan.com). Эта вода с низкой минерализацией (220–260 мг/л) отличается от байкальской воды повышенным содержанием основных элементов (в скобках в разы): Na (6.4), Mg (3.4), S (1.7), Cl (2.3), K (10.7), Ca (1.8) и некоторых следовых элементов: Li (8), P (34), Si (11.4), V (4.7), Mn (4.6), Ga (12.8), Ge (8), As (6), Sr (5.3), Mo (4), Cs (24). По остальным элементам различия незначительны. Концентрации элементов соответствуют нормативам качества питьевой воды России и Всемирной организации здравоохранения.



Кластерная диаграмма элементных составов байкальской воды (BW) и поверхностных и подземных вод Северо-Восточного Китая (Удаляньчи, Сяогулихе). В расчет включены 64 элемента: 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, Ag, Cd, Sn, Sb, Y, Cs, Ba, REE, Hf, Ta, W, Re, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U. Кластерный анализ выполнен в программе Statistica 8.0 для 39 переменных методом Варда с евклидовыми расстояниями между кластерами. Синим шрифтом в цветных заливках помечена бутилированная вода, зелеными заливками – поверхностные воды (реки, озера), *О* – озеро, *р.* – подземный источник (желтой заливкой – в деревнях). *Молабу Вост.* – источники в восточном лавовом потоке влк. Молабушан, *Хуо* – в потоке влк. Хуошаошан (яма – яма с водой, в которую выделяются газы), *Иао* – в потоке влк. Яоцюаншан, *М-В* – в потоке между вулканами Молабушан и Вэйшан, *Гули* – в потоке вблизи влк. Сяогулихе (лава – в потоках лавы), *Липо* – в лавовом потоке вблизи озера Липо.

Изотопный состав урана варьируется в пределах $OA4/8=1.11-4.74$. Значительный избыток ^{234}U обнаружен в подземных водах st. 22 ($OA4/8=4.74$, у дороги на плантациях ~ в 120 км северо-западнее Удаляньчи) и st. 21 ($OA4/8=2.41-2.56$, скважина 180 м возле вулкана Гули). В объектах Удаляньчи значения $OA4/8$ невелики (1.11–1.71). Значение $OA4/8$ st. 21 приближается к значению в глубинной воде Южного Байкала (1.96).

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

CHEMICAL ELEMENTAL AND U-ISOTOPIC COMPOSITIONS OF SURFACE AND GROUND WATER FROM WUDALIANCHI AND XIAOGULIHE, NE CHINA, AS COMPARED TO DEEP WATER FROM LAKE BAIKAL

*E.P. Chebykin^{1,2}, Yimin Sun³, S.V. Rasskazov^{1,4}, Zhenhua Xie³, Chen Yang³,
A.M. Ilyasova¹*

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

²Limnological 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

Concentrations of 72 chemical elements, as well as isotopic compositions of uranium were determined in 38 samples of surface and ground water (sampling in July 2018) in the Wudalianchi ("Five Lakes") area and Xiaogulihe of North-East China using the inductively coupled mass-spectrometry (ICP-MS). The most mineralized are the carbon North Spring (1.5 g/l; $Ca>Mg>K>Na>Si>Cl$) and South Spring (1.0 g/l; $Ca>K>Mg>Na>Si>Cl$) in Wudalianchi Geopark. In the same springs, there are high concentrations of Mn (4.9, 7.5 mg/l), Fe (29, 28 mg/l) and elevated anomalies of trace elements: Li, Be, Sc, Co, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Sr, Zr, Nb, Ag, Cd, I, Ba and U. Partially, this anomaly is displayed in blended water – Sparking Natural Mineral Water (st. 40, bottled, 350 ml, "Miraculous Water", China, Wudalianchi Volcanic Cold Mineral Spring).

Among other groundwater self-flowing springs, following positive anomalies are found:

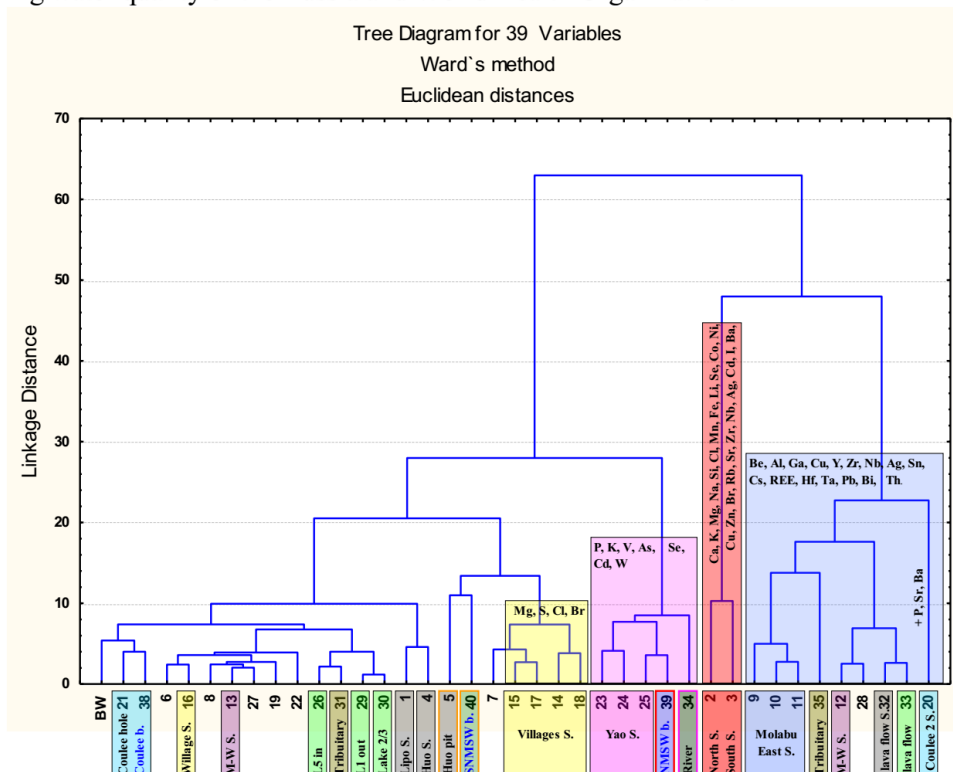
1) on a lava field northeast of Molobushan volcano (st. 9–11): Be, Al (1–2 mg/l!), Ti (27–43 $\mu g/l$), Cu, Ga (0.3–0.5 $\mu g/l$), Ge, Y, Zr, Nb, Ag, Sn, Cs, REE, Hf, Ta, Tl, Pb, Bi, Th. This anomaly persists, but is less pronounced for some other springs east of the five lakes system: st. 12 (near volcano Weishan), st. 28 (near volcano Xiaogushan) and south of the lakes, in the course of the Shilong River at the end of the lava flow (st. 32, 33), as well as in one of the eastern tributaries of lake No. 3 (st. 35). The same anomaly, but with the addition of Sr, Ba and P, is characteristic of a spring sampled near the Xiaogulihe (Coulee) volcano (st. 20), located 250 km NNW of Wudalianchi;

2) near Yaoquanshan volcano (st. 23–25): elevated concentrations of P, K, V, As, Se, Mo, Cd, W. The same anomaly is preserved in bottled water Natural Mineral Spring Water (st. 39, bottled, 350 ml, "Miraculous Water", China, Wudalianchi) and is found in the river (st. 34), which originates from a reservoir formed by this groundwater;

3) in springs surrounded by concrete constructions located in or near villages (st. 14, 15, 17, 18): elevated contents of Mg, S, Cl, Br, Sr, probably, due to anthropogenic influence and background from concrete walls.

Water samples taken at the entrance to the system of five lakes (st. 26, Shilong river, upper lake No. 5), between lakes No. 2 and No. 3 (st. 30) and at the exit from the system of five lakes (st. 29, lower lake No. 1) indicate a change in the hydrological status of water (river/lake) and possible influence of ground sources / river tributaries on the formation of the elemental composition of Shilong River in this area: concentrations of Si, P, Mn, Fe, and Co fall and those of Li, S, Cl, K, V, Cu, Br, Rb, Mo, W, and U, on the contrary, increase. The uranium concentration increases to the greatest extent (from 0.0066 to 0.33 µg/l – 50 times!) with decreasing the fraction of the nuclide ²³⁴U: the activity ratio (²³⁴U/²³⁸U) (AR4/8) decreases from 1.46 to 1.32. It is possible that some elevated concentrations of elements (S, Cl, K) come due to fertilizer washing from agricultural fields.

The found features of elemental compositions of water are illustrated through comparisons of results obtained with data on deep water from Lake Baikal using cluster analysis (Fig.). The closest composition to the deep Baikal water is defined for a water sample from a 180 m well near Coulee volcano (st. 21) and its bottled portion (st. 38, bottled, 390 ml, “Coulee Volcano”, China, www.gulihuoshan.com). As compared to the low-mineralized Baikal water (mineralization about 100 mg/l), these samples also show relatively low mineralization (220–260 mg/l) with a higher contents of basic elements (in brackets several times): Na (6.4), Mg (3.4), S (1.7), Cl (2.3), K (10.7), Ca (1.8) and some trace elements: Li (8), P (34), Si (11.4), V (4.7), Mn (4.6), Ga (12.8), Ge (8), As (6), Sr (5.3), Mo (4), Cs (24). Other elements reveal minor differences. Concentrations of elements satisfy to standards for drinking water quality of the Russia and World Health Organization.



Cluster diagram of the elemental compositions of surface and ground water in Northeast China (Wudalianchi, Xiaoguli) compared to the Baikal water (BW). The calculation was performed for 64 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, Ag, Cd, Sn, Sb, Y, Cs, Ba, REE, Hf, Ta, W, Re, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U) in the Statistica 8.0 program. Bottled water is marked by blue color text, surface water – in green fillings (in villages – in yellow fillings). L – lake, S – ground source. Molabu East – springs in the eastern lava flow of Molabushan volcano, Huo – in a flow of Huoshaoshan volcano (pit – a pit with water into which gases are emitted), Yao – in a flow of Yaoquanshan volcano, M–W – in a flow between Molabushan and Weishan volcanoes, Coulee – in a flow near Xiaogulihe volcano, Lipo – in a lava flow near small Lipo Lake.

Isotopic compositions of uranium in water samples studied vary ($AR_{4/8}=1.11-4.74$). High excess ^{234}U detected in sample from st. 22 ($AR_{4/8}=4.74$, on agricultural plantation ~120 km north-west of Wudalianchi) and st. 21 ($AR_{4/8}=2.41-2.56$, 180 m bore hole near Coulee volcano). In the Wudalianchi area, $AR_{4/8}$ values are low (1.11–1.71). The $AR_{4/8}$ value of st. 21 is close to the one of deep water from Southern Baikal (1.96).

The work was done in the Chinese-Russian Wudalianchi-Baikal Research Center on recent volcanism and environment.