

эмиссии метана. Поведение калия, также демонстрирует схожую тенденцию. Концентрации калия в придонных водах сиповой станции выше, чем на фоновой, 297 мг/л и 163 мг/л, соответственно.

Эмиссия метана в море Лаптевых оказывает значительное влияние на геохимическую обстановку, и как следствие, на химический состав придонной воды, которая представляется специфической средой с определенным химическим составом и высокой миграционной способностью некоторых компонентов, поведение которых определяется биогеохимическими процессами, происходящими в придонных морских водах в местах выхода метана (сульфатредукция, анаэробное окисление метана, аутигенное минералообразование). Увеличение щёлочности воды, снижение концентрации сульфат-иона, катионов ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ) способствуют осаждению аутигенных минералов. Таким образом, при исследовании химического состава придонной воды, были выявлены закономерности в поведении основных компонентов воды, реагирующие на смену окислительно-восстановительных условий, и их последующим влиянием на состав донных отложений моря Лаптевых.

*Работа выполнена при поддержке государственной программы РФ «Наука» Проект FSWW-0022-2020*

#### Литература

1. Розанов А. Г. Обмен химическими компонентами на границе вода – дно // Химия морей и океанов. М.: Наука, 1995. С. 307–328.
2. Шахова, Н.; Семилетов, И.; Leifer, I.; Салюк, А.; Рекант, П.; Космач Д. Геохимические и геофизические свидетельства выделения метана над Восточно-Сибирским арктическим шельфом. J. Geophys. Res. Океан. 2010, 115.
3. Betts, J. N. & Holland, H. D. The oxygen content of ocean bottom waters, the burial efficiency of organic carbon, and the regulation of atmospheric oxygen. Paleogeogr. Paleoclim. Paleoecol. 97, 5–18 (1991).
4. Jorgensen B.B., Weber A., Zopf J. (2001) Sulfate reduction and anaerobic methane oxidation in Black Sea sediments. Deep-Sea Res. 48(PI), 2097–2120.
5. Semiletov I., Shakhova N., Romanovsky V., Pipko I.I. Methane Climate Forcing and Methane Observations in the Siberian Arctic Land-Shelf System // World Resource Review. 2004. V. 16. P. 503–542.
6. Schulz H.D. Quantification of early diagenesis: dissolved constituents in marine pore waters // Marine Geochemistry. Springer, Berlin, Heidelberg, 2000. S. 87–128.
7. Wang, X.J., Hutchinson, D.R., Wu, S.G., Yang, S.X., Guo, Y.Q., 2011a. Elevated gashydrate saturation within silt and silty clay sediments in the Shenhu area, South China Sea. J. Geophys. Res. 116 (B05102).

### МИКРОАССОЦИАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ ПО ДАННЫМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Дребот В.В.<sup>1,2</sup>

Научный руководитель - профессор О.Е. Лепокурова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

Территория юго-восточного Забайкалья известна, прежде всего, широким распространением разнообразных по своему составу и солёности озёр, однако, предыдущие исследования [1–8] показали, что, и локально имеющие гидравлическую связь с поверхностными подземные воды, отличаются подобным разнообразием. Так, было установлено, что здесь в пределах сравнительно небольшой площади (около 3000 км<sup>2</sup>) благодаря засушливому климату, существующим геолого-геоморфологическим условиям, наличию трещиноватых вулканогенных структур, обеспечивающих смешение вод, а также степени взаимодействия в системе-вода порода сформировались три геохимических типа вод: содовый, кремнистый и солесодержащий (рис. 1).

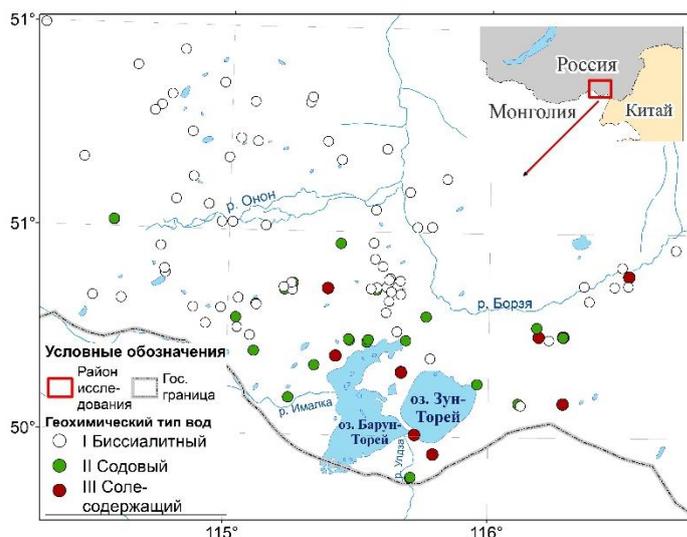


Рис. 1 Обзорная карта района исследований

Все они отличаются по химическому составу, pH и солёности, а также степени удаленности от озёр. Кроме того, район исследования является частью Государственного природного биосферного заповедника «Даурский», входящего с 2017 г. в список всемирного наследия ЮНЕСКО, служит местом обитания многих редких видов животных, а также является развитым сельскохозяйственным регионом, а существующая проблема содового засоления вод может оказывать негативное воздействие на устойчивость этой уникальной экосистемы. Все это делает район уникальным в отношении

## СЕКЦИЯ 6. ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ

изучения особенностей формирования химического состава подземных вод верхней гидродинамической зоны аридных территорий.

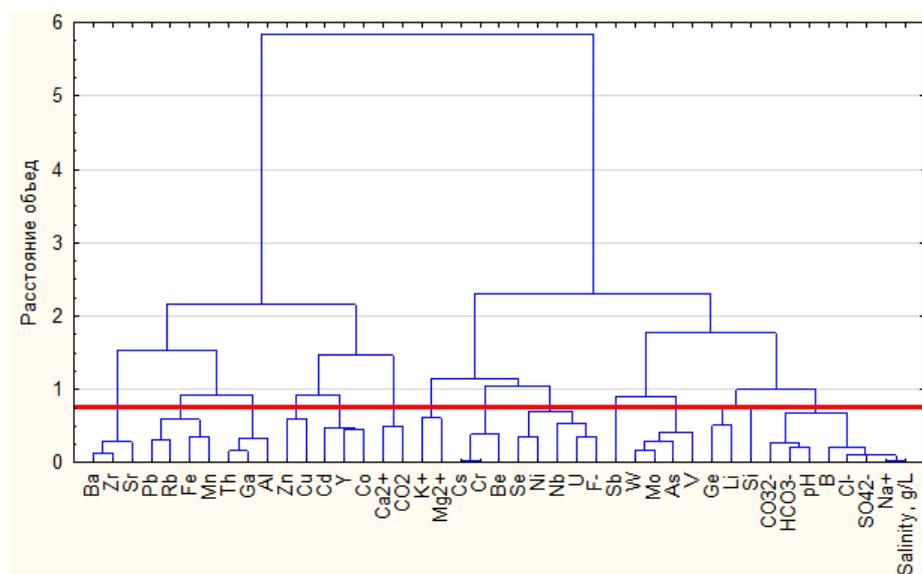
Целью настоящей работы является выявление значимых корреляционных связей, скрытых в большом объеме данных по химическому составу подземных вод Забайкалья для уточнения полученных знаний об основных параметрах, контролирующих формирование химического состава подземных вод юго-восточного Забайкалья. Химический состав вод представлен в таблице ниже.

*Таблица*

**Химический состав подземных вод в районе Торейских озёр, мг/л**

Компонент	Мин. <sup>1</sup>	Макс. <sup>2</sup>	Средн. <sup>3</sup>	Компонент	Мин.	Макс.	Средн.	Компонент	Мин.	Макс.	Средн.
Минерализация, г/л	0.27	3.89	0.84	Be	0.0003	0.58	0.029	Se	0.03	6.84	1.18
pH	7.41	9.24	8.12	B	11.4	1305	152	Rb	0.0004	18.4	1.13
CO <sub>2</sub>	0.20	16.2	3.16	Al	0.20	338	22.6	Sr	78.5	5126	900
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.15	136	15.5	V	0.01	45.9	3.45	Y	0.004	1.22	0.11
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	181.2	1165	439	Cr	0.02	76.0	3.19	Zr	0.01	95.0	2.52
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3.00	890	97.3	Mn	0.20	1500	111	Nb	0.001	0.08	0.009
Cl <sup>-</sup>	2.55	730	71.8	Fe	2.00	4214	335	Mo	0.28	58.8	5.64
F <sup>-</sup>	0.01	7.23	1.67	Co	0.01	2.59	0.41	Cd	0.006	19.0	1.10
Ca <sup>2+</sup>	11.1	122	43.8	Ni	0.12	26.4	3.20	Sb	0.02	13.0	1.10
Mg <sup>2+</sup>	5.96	128	38.0	Cu	0.26	39.4	4.00	Cs	0.0002	79.5	2.29
Na <sup>+</sup>	6.89	905	129	Zn	0.80	554	31.9	Ba	1.25	439	44.5
K <sup>+</sup>	0.30	28.5	3.76	Ga	0.001	0.17	0.02	W	0.001	2.71	0.17
Si	2.13	15.6	7.98	Ge	0.003	0.39	0.06	Pb	0.02	6.09	0.53
Li	5.20	132	32.8	As	0.32	58.8	7.51	Th	0.0001	0.08	0.01
Концентрация: Мин – минимальная, Макс – максимальная, Средн – средняя.								U	0.02	155	14.6

Поскольку в рамках настоящей работы был использован значительный массив данных по химическому составу для 73-х точек опробования подземных вод, проведенного в период с 2013 по 2018 гг., а значимые связи будут определяться для 43-х компонентов, к которым относятся: pH, Минерализация, CO<sub>2</sub>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Si, Li, Be, B, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, W, Pb, Th, U, отсутствует возможность непосредственного выявления, наблюдения и измерения закономерностей распределения химических компонентов в составе вод. В этой связи для выделения микроассоциаций химических элементов был применен стандартный метод математической статистики - кластерный анализ. Кластерный анализ и построение дендрограммы выполнялось в программе STATISTICA. При проведении кластеризации элементов в качестве меры близости элементов использовано корреляционное расстояние, так как корреляционный анализ данной ассоциации микроэлементов показал значимые корреляционные связи [9]. Графические результаты кластерного анализа представлены на дендрограмме (рис.2) и демонстрируют устойчивое разбиение 43-х элементов на 12



**Рис. 2. Дендрограмма корреляционной матрицы ассоциации элементов в подземных водах района Торейских озер**

Таким образом, геохимические спектры элементов в водах образуют следующие значимые микроассоциации химических элементов: Zr – Ba – Sr, Fe – Mn – Rb – Pb, Ga – Th – Al, Cu – Zn, Co – Y – Cd, CO<sub>2</sub> – Ca, Mg – K, Cr – Cs – Be, F – U – Nb – Ni – Se, W – Mo – As – V, Li – Ge и pH – HCO<sub>3</sub> – CO<sub>3</sub> – Минерализация – Na – SO<sub>4</sub> – Cl – B. Результаты свидетельствуют о необходимости корректировки представленной ранее геохимической типизации подземных вод района Торейских озер и будут положены в основу будущих исследований.

Автор благодарит д.г.-м.н. С.В. Борзенко за помощь в проведении исследований и организацию полевых работ. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ 20-35-90040.

#### Литература

1. Borzenko S., Drobot V., Fedorov I. Chemical composition and formation conditions of NaHCO<sub>3</sub> type of waters in the eastern Transbaikalia. E3S Web of Conferences, 2019. P. 1–5.
2. Borzenko S. V., Drobot V. V., Fedorov I. A. Main formation conditions of soda-type groundwater: A case study from south-eastern Transbaikal region (Russia) // Applied Geochemistry. 2020. (123). P. 1–16.
3. Borzenko S. V., Shvartsev S. L. Chemical composition of salt lakes in East Transbaikalia (Russia) // Applied Geochemistry. 2019. № March (103). P. 72–84.
4. Drobot V. Geochemistry of groundwater in the area of Zun-Torey and Barun-Torey lakes (Transbaikalia, Russia) Copenhagen., 2018. P. 1–3.
5. Drobot V. Geochemistry of Soda-Type Groundwater in the Torey Lakes Region (Russia): Differences between Catchment Area and Beyond. European Association of Geoscientists & Engineers, 2020. P. 1–4.
6. Борзенко С. В. [и др.]. Содовые воды района Торейских озер Забайкальского края: химический состав подземных и озерных вод Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2018. С. 434–437.
7. Дребот В. В., Лепокурова О. Е. Оценка подвижности химических элементов в системе базальты - природные воды - вторичные отложения территории Торейских озер (Восточное Забайкалье). Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2020. С. 335–338.
8. Лепокурова О. Е. [и др.]. Механизмы взаимодействия, состояние равновесия и направленность эволюции системы природные воды - основные и ультраосновные породы (на примере регионов Восточной Сибири). Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2020. С. 33–40.
9. Михальчук А. А., Язиков Е. Г. Многомерный статистический анализ эколого-геохимических измерений. Часть III. Лабораторный практикум Учебное пособие / А. А. Михальчук, Е. Г. Язиков, Томск: Изд. ТПУ, 2014. 198 с.

## СОДЕРЖАНИЕ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ (РАЙОН Г. СОСНОВЫЙ БОР ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)

Ерзова В.А.

Научный руководитель профессор Судариков С.М.

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Источники радиационного воздействия подразделяются на естественные (природные) и техногенные. Для земной коры характерно наличие природных радиоактивных элементов с нестабильными изотопами. Среди них можно выделить два изотопа урана (<sup>238</sup>U, <sup>234</sup>U) и один – тория (<sup>232</sup>Th). В процессе их радиоактивного распада образуются следующие радионуклиды: радий (<sup>224</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra), радон (<sup>222</sup>Rn), полоний (<sup>210</sup>Po), свинец (<sup>210</sup>Pb) и др. Также значимую радиоактивность вносят долгоживущие радионуклиды со стабильными изотопами: калий (<sup>40</sup>K), рубидий (<sup>87</sup>Rb) и радионуклиды космогенного происхождения: углерод (<sup>14</sup>C), тритий (<sup>3</sup>H) и др. [1]. Техногенными являются источники, созданные в результате человеческой деятельности. К ним относят ядерные взрывы, объекты атомной энергетики, аварийные ситуации.

В данной работе рассматривается территория, где располагаются объекты Северо-западного атомно-промышленного комплекса (СЗАПК), включающего действующую и строящуюся атомные электростанции, а также хранилища радиоактивных отходов различного типа [2]. Несмотря на то, что объекты атомной энергетики являются источниками техногенных радионуклидов, существенный вклад в дозовую нагрузку на население могут вносить и природные радионуклиды. Облучение населения возможно за счет поступления природных радионуклидов с пищевыми продуктами или питьевой водой.

Одним из объектов экосистемы, содержащим и накапливающим природные радионуклиды, являются подземные воды. В рамках данной работы обработаны и проанализированы многолетние данные радиационного мониторинга за период с 2010 по 2014 гг., с целью определения содержания естественных радионуклидов в подземных водах рассматриваемого района.

Геологическое строение рассматриваемого района представлено осадочными породами, несогласно залегающими на кристаллическом фундаменте. В осадочной толще выделяют *четвертичный (Q<sub>IV</sub>)* и *нижнекембрийский (ломоносовский) (C<sub>1</sub>)* водоносные горизонты и подземные воды *вендского водоносного комплекса (котлинский (V<sub>2kt</sub>) и редкинский (V<sub>2rd</sub>) водоносные горизонты)*. Вендский водоносный комплекс залегают под мощной толщей глин (рис. 1).