

## ГЕОХИМИЯ ОЗЕРА ЯКТЫ-КУЛЬ

Юсупова А.Р., Нурғалиева Н.Г., Кузина Д.М.

Казанский федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий, г. Казань,  
yusupovaanast095@gmail.com

Накопление осадков в озёрах осуществляется за счёт сноса с континента механически разрушенного (терригенного) материала, хемогенных и биохемогенных процессов в озерном бассейне. В данной работе представлены результаты исследования донных отложений озера Якты-Куль (55°35'48" с.ш. 58°37'47" в.д.) с помощью рентгенофлуоресцентного и рентгенографического фазового анализа. Полученные данные используются для выяснения климатических изменений в голоцене на территории Южного Урала.

Для проведения исследований вещественного состава озера Якты-Куль, выявления литохимических прокси для реконструкции озерных обстановок осадконакопления был проведен детальный геохимический анализ образцов озера Якты-Куль, при этом использовался рентгенофлуоресцентный спектрометр Bruker S8 Tiger. Исследуемые донные отложения были проанализированы на наличие основных оксидов, таких как SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO и MgO, и микроэлементов, таких как Sr, Rb, Cu, Cr, Co, Zn, Ni, V и Zr. Выходные значения были скорректированы с учетом потери при прокаливании образцов, проводившемся при температуре 1100°C в течение ~ 2 часов.

Данные химического анализа затем использовались для расчета интенсивностей химического выветривания. Мера степени выветривания может быть получена путем расчета химического индекса изменения (CIA) с использованием молекулярных пропорций [Nesbitt and Young, 1982]:

$$CIA = \{Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)\} \times 100 \quad (1),$$

где CaO\* – количество CaO, включенного в силикатную фракцию породы.

Метод датирования органических материалов путем измерения содержания радиоактивного изотопа углерода <sup>14</sup>C был применен для 9 образцов озера Якты-Куль керновой колонки №3. Подготовленные пробы были направлены в Тайвань на Факультет Наук о Земле Национального университета Тайваня (NTUAMS Lab), где были проведены измерения на ускорительном масс-спектрометре 1.0 MV HVE. Для калибровки возраста образцов использовался программный продукт OxCal v4.2.4 и калибровочная кривая IntCal 13 [Bronk Ramsey, Lee, 2013].

Минералогический состав осадков озера Якты-Куль выполнялся с использованием дифрактометра Bruker D2 Phaser. Шаг исследования составил 10 см.

Значения CIA между 50-60 указывают на низкое химическое выветривание (относительно холодный и/или сухой климат). Значения CIA в интервале 60-80 отражают умеренное химическое выветривание, а значения в диапазоне 80-100 указывают на интенсивное химическое выветривание и, соответственно, на жаркий и влажный климат [Nesbitt and Young, 1982; McLennan et al., 1993; Goldberg and Humayun, 2010]. Значения CIA для исследуемых образцов находятся в диапазоне 66-76, что соответствует умеренному химическому выветриванию (рис. 1).

Кальций, магний и натрий – растворимые и подвижные в воде элементы, в отличие от нерастворимых алюминия, кремния и титана [Mackereth, 1966; Engstrom and Wright, 1984]. Поэтому молярные соотношения (CaO+MgO+Na<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> отражают CWI в водосборном бассейне [Wang et al., 1990]. Более высокие величины данного показателя указывают на относительное преобладание растворимых и подвижных элементов в озере из-за более сильного химического выветривания.

Соотношение CaO/MgO используется в качестве показателя водного баланса при осаждении. Более высокое содержание CaO/MgO, как правило, свидетельствует о большем количестве карбонатов аутигенного происхождения в условиях теплого и сухого климата [Wang et al., 1990].

Элементы были нормализованы по Al для оценки химического раствора, гидролиза и миграции по отношению к Al, который является нерастворимым (как в кислородных, так и в бескислородных условиях) и распространенным на Земле элементом [Brown et al., 2000]. Элементы Fe и Mn чувствительны к окислительно-восстановительным условиям, их высокие концентрации обычно обозначают кислородные условия во время осаждения. Следовательно, высокие значения Fe/Al и Mn/Al указывают на мелководье, богатое кислородом.

Повышенные значения CaO/MgO, Fe/Al, Mn/Al зафиксированы в 3х интервалах: 138-182 см (3998-4750 тыс лет.), 320-340 см (7343-7908 тыс лет.), 468-508 см (9963-12691 тыс лет). Вероятно, в этих интервалах

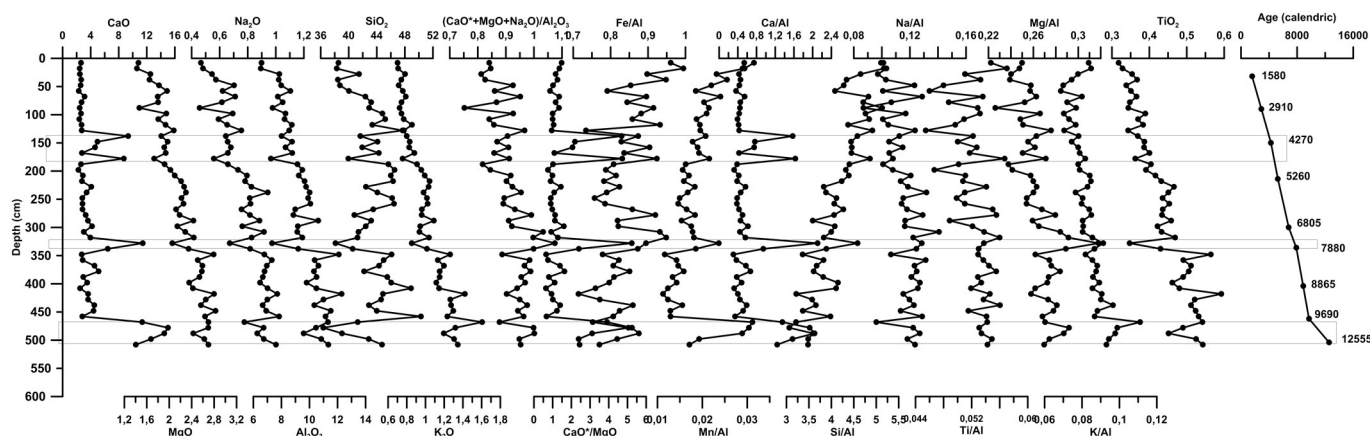


Рис. 1. Вариации индексов химического выветривания с глубиной. Интервалы 138–182 см (3998–4750 тыс. лет.), 320–340 см (7343–7908 тыс. лет.), 468–508 см (9963–12691 тыс. лет) характеризуются аномальным повышением значений индексов химического выветривания, указывающим на существенное изменение климата в указанном интервале

скорость испарения в водосборном бассейне была высока в условиях жаркого/сухого климата.

Выделенные интервалы соответствуют интервалам низких значений выпадения атмосферных осадков по данным реки Палар и ее палеоканалов [Resmi, Achyuthan, 2017]; озера Калувели [Pattnalk, 2007]; лагун Оканда, Панама, Киринда (Шри-Ланка) [Ranasinghe et al., 2013].

*Данная работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной КФУ для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности № 5.2192.2017/4.6, часть работ Кузиной Д.М. выполнена за счет средств РНФ 18-17-00251.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bronk Ramsey C., & Lee S. Recent and Planned Developments of the Program OxCal // Radiocarbon. 2013. V. 55(2-3). P. 720–730.
2. Brown E.T., Le Callonnec L., German C.R. Geochemical cycling of redox sensitive metals in sediments from Lake Malawi: a diagnostic paleotracer for episodic changes in mixing depth // Geochim Cosmochim Acta. 2000. V. 64. P. 3515–3523.
3. Engstrom D.R., Wright H.E. Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change / In: Sediments Lake, History Environmental, Haworth E.Y., Lund J.W.G. (eds) Univ. Minnesota Press, Minneapolis, 1984. P. 11–67.
4. Goldberg K., Humayun M. The applicability of the Chemical Index of Alteration as a paleoclimatic indicator: an example from the permian of the parrana Basin, Brazil // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2010. V. 93. P. 175–183.
5. Mackereth F.J.H. Some chemical observations on post-glacial lake sediments // Philos Trans R Soc Biol Sci. 1966. V. 250. P. 165–213.
6. McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.M. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics / In: Johnsson M.J., Basu A. (Eds.). Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Geological Society of America. Special Papers. 1993. V. 284. P. 21–40.
7. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.
8. Pattanaik J. Sr isotope and geochemical studies on Kaveri, Palar and Ponnaiyar rivers, southern India and  $^{10}\text{Be}$  isotope studies on Quaternary sediments of Kaluveli Lake, near Pondicherry, India. PhD Thesis, Pondicherry University, 2009.
9. Ranasinghe P.N., Ortiz J.D., Smith A.J. Mid- to late-Holocene Indian winter monsoon variability from a terrestrial record in eastern and southeastern coastal environments of Sri Lanka // The Holocene. 2013. V. 23. P. 945–960.
10. Resmi M.R., Achyuthan H. Northeast monsoon variations during the Holocene inferred from palaeochannels and active channels of the Palar River basin, Southern Peninsular India // The Holocene. 2018. V. 28(6). P. 895–913.
11. Wang S.M., Yu Y.S., Wu R.J., Feng M. The Daihai Lake: environment evolution and climate change. University of Science and Technology of China Press, Hefei, 1990b. P. 1–191 (in Chinese).