

# ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДКОВ ОЗЕРА ЭЛЬГЫГЫТГЫН (ЧУКОТКА) – ИНДИКАТОРЫ ИСТОЧНИКОВ СНОСА И ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ

Минюк<sup>1</sup> П.С., Борходоев<sup>1</sup> В.Я., Горячев<sup>1</sup> Н.А., Венрих<sup>2</sup> Ф.

<sup>1</sup>Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,  
e-mail: minyuk@neisri.ru

<sup>2</sup>Институт геологии и минералогии Кельнского университета,  
e-mail: vwennric@uni-koeln.de

Озеро Эльгыгытгын расположено на Анадырском плоскогорье Чукотки (67°30' с.ш., 172°05' в.д.) в кратерной воронке, происхождение которой связывается с падением метеорита около 3.6 млн лет назад. В окрестностях озера распространены вулканические породы верхнемелового возраста, представленные игнимбритами, витроигнимбритами, туфами, туфопесчаниками, андезитобазальтами, продукты выветривания и размыва которых являются главным источником материала, поступающего в озеро. По геохимическим характеристикам вулканические породы попадают в риолитовую, андезитовую и базальто-андезитовые области на диаграмме (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) – SiO<sub>2</sub>. Доминируют породы риолитового состава.

В 2009 г. со льда озера проведено глубокое бурение осадочного чехла озера и подстилающих вулканогенных брекчий [Melles et al., 2011]. Пробурены три скважины – 1А, 1В и 1С до глубин 146.6, 111.9 и 517.3 м соответственно. Для геохимического анализа проведен сплошной отбор керн. Один образец представляет 2 см мощности осадка. В данной работе приведены результаты исследований верхней части разреза (глубина 5.6-34 м), охватывающей интервал от нижней части изотопно-кислородной стадии (ИКС) 5.5 до стадии 19 (хрон Брюнес). Исследовано 1215 образцов. Химический состав осадков изучен методом рентгенофлуоресцентного анализа. Содержания породообразующих элементов определены на многоканальном рентгенофлуоресцентном спектрометре СРМ-25 и спектрометре S4 Pioneer, концентрации редких элементов – на рентгенофлуоресцентном спектрометре VRA-30.

По всему опробованному интервалу наблюдаются значительные вариации содержания породообразующих и редких элементов, отвечающие осадкам разных типов. Отложения, сформировавшиеся во время теплых стадий климата, представлены, как правило, массивными, неслоистыми илами. Им свойственны повышенные концентрации SiO<sub>2</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Sr и пониженные – TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рис. 1). Для отложений «холодных» стадий отмечается обратная зависимость. Оптимальными стадиями являются 9.3, 11.3 и 17. Осадки, накопившиеся в это время, характеризуются самыми высокими содержаниями кремнезема в исследуемом интервале за счет биогенной компоненты. Концентрации SiO<sub>2</sub> для отложений этих стадий составляют 76.3, 80.5 и 75.8 % соответственно. Из-за высоких содержаний кремнезема (разбавления) концентрации других компонентов – TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Rb, Sr, Zr, Ba, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> понижены.

Наблюдается прямая корреляция содержаний P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и MnO ( $K = 0.6$ ). Высокие концентрации этих элементов связаны с вивианитом, конкреции которого отмечаются по всему разрезу. Среднее содержание Mn в вивианите составляет 2%, P 25%, Fe 35%. Пикам кривых распределения P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и MnO соответствуют повышенные концентрации Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на некоторых стратиграфических уровнях. Приуроченности высоких концентраций P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и MnO к осадкам определенных климатических стадий не наблюдается, однако в большинстве случаев эти оксиды найдены в отложениях, накопившихся в восстановительных средах на границах потеплений. Потеря при прокаливании (ППП), как функция относительного количества органического материала, выше в осадках холодных стадий. Часто Ni и Cr имеют повышенные содержания в осадках холодного климата, что связывается с сорбированием этих элементов органикой. Отложения только самой оптимальной стадии 11.3 имеют повышенные значения PPP и также обогащены Ni и Cr.

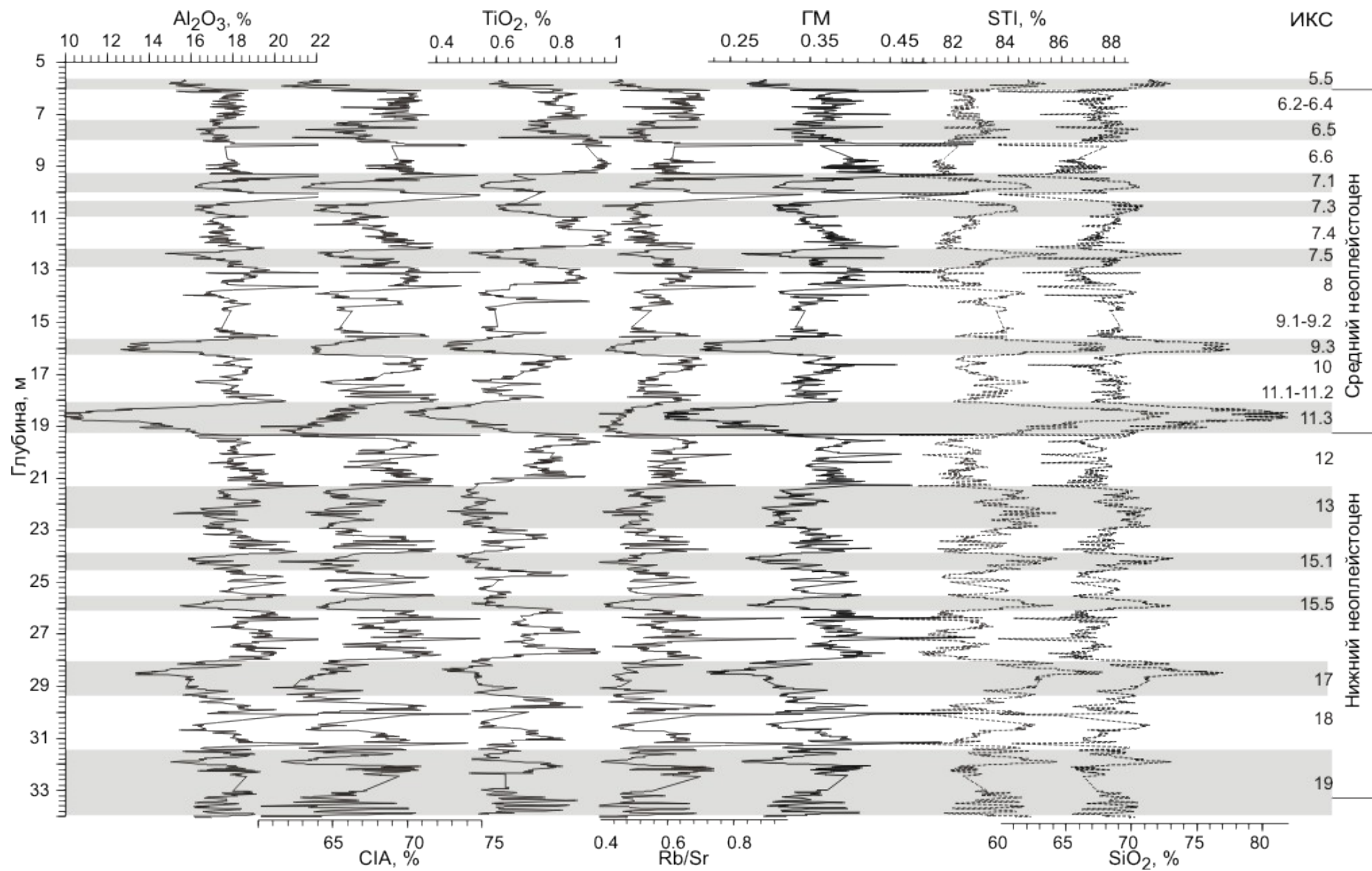


Рис. 1. Геохимические характеристики осадков озера Эльгыгытгын.

Кроме распределения элементов, анализировались различные геохимические индексы и отношения элементов:

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100 \text{ [Nesbitt, Young, 1982];}$$

$$CIA_{molar} = Al_2O_{3(molar)} / (CaO_{molar} + Na_2O_{molar} + K_2O_{molar}) \text{ [Goldberg, Humayun, 2010];}$$

$$PIA = [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)] \times 100 \text{ [Fedo et al., 1995];}$$

$$CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)] \times 100, \text{ [Harnois 1988];}$$

$$CPA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O)] \times 100 \text{ [Buggle et al., 2010];}$$

$$\text{Индекс В} = (CaO + Na_2O + K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O) \text{ [Kronberg, Nesbitt, 1981];}$$

$$STI = [(SiO_2 / TiO_2) / ((SiO_2 / TiO_2) + (SiO_2 / Al_2O_3) + (Al_2O_3 / TiO_2))] \times 100 \text{ [de Jayawardena, Izawa, 1994];}$$

$$GM = (Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + MnO) / SiO_2 \text{ [Юдович, Кетрис, 2011];}$$

$$(CaO + Na_2O + MgO) / TiO_2 \text{ [Yang et al., 2006];}$$

$$TiO_2 / Al_2O_3 \text{ [Мигдисов, 1960]; } Al_2O_3 / SiO_2; \text{ Rb/Sr.}$$

Индексы и отношения, главным образом, представляют соотношения мобильных и немобильных элементов. Приведенные индексы и отношения закономерно изменяются по вертикали в отложениях скважин. В большинстве случаев между индексами отмечается значимая положительная или отрицательная корреляция, кроме отношения  $TiO_2 / Al_2O_3$ .

Анализ распределения индексов по разрезу показывает, что более измененными являются осадки холодных стадий (см. рис. 1). Они обогащены такими элементами, как Al и Ti, и имеют низкие концентрации мобильных элементов (Ca, Na, K, Sr). Известно, что химическое выветривание интенсивней развивается при теплом влажном климате, однако для осадков озера Эльгыгытгын эта закономерность не наблюдается. Одним из объяснений этого может быть допущение, что осадки теплых и холодных стадий имеют разные источники сноса. Например, в холодные этапы могло доминировать эоловое накопление, материал которого поступал из отдаленных районов. Для проверки этого предположения проанализированы геохимические данные [Белый, Белая, 1998; Фельдман и др., 1980], полученные по коренным породам из окрестностей озера и гальке пород, собранной на берегу озера. Данные вынесены на соответствующие диаграммы (рис. 2). Тренд выветривания силикатов показан на диаграмме  $Al_2O_3 - (CaO + Na_2O) - K_2O$  [Nesbitt, Young, 1984]. Линия тренда параллельна оси  $Al_2O_3 - (CaO + Na_2O)$ , что свидетельствует о потере Ca и

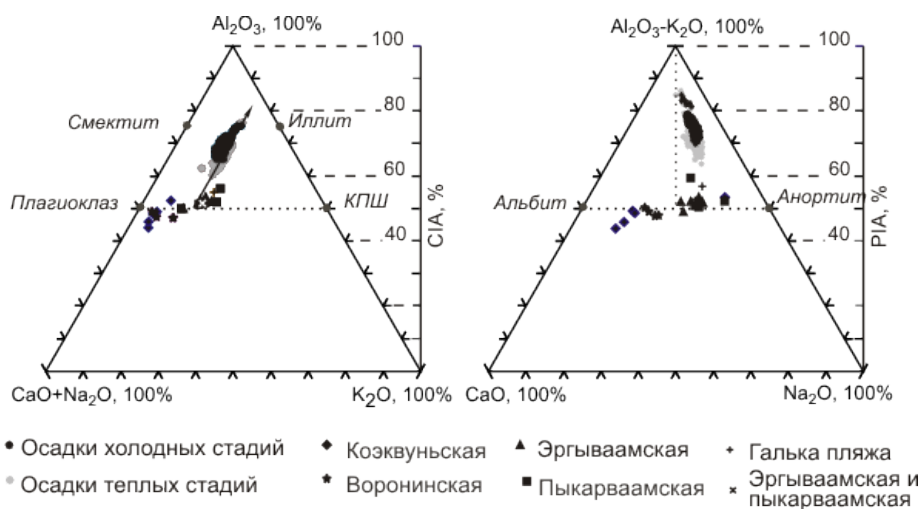


Рис.2.  $Al_2O_3 - (CaO + Na_2O) - K_2O$  и  $CaO - (Al_2O_3 - K_2O) - Na_2O$  диаграммы осадков озера и вулканов.

Na в процессе выветривания. Точки вулканитов расположены вблизи линии «плагиоклаз – полевой шпат», указывая, что полевые шпаты доминируют среди Al-содержащих минералов. Осадки теплых и холодных стадий показывают среднюю степень выветривания, причем последние более измененные. В целом точки осадков группируются ниже линии «сметит-иллит», что свидетельствует о присутствии в них полевых шпатов. Плагиоклазовый тренд выветривания демонстрирует диаграмма  $CaO - (Al_2O_3 - K_2O) - Na_2O$ .

Доминирующие вулканиты располагаются в средней части диаграммы ближе к анортитовому составу. Выше на одной линии группируются осадки. В целом, полученные данные свидетельствуют, что весь материал, поступающий в озеро, является продуктами разрушения и выветривания местных коренных пород.

Таким образом, по геохимическим характеристикам исследованный разрез осадков озера расчленяется на ряд интервалов, которые с учетом палеомагнитных, палинологических, диатомовых, седиментологических, радиологических данных сопоставляются с кислородно-изотопными стадиями 5-19. Граница эоплейстоцена и неоплейстоцена (нижнего и среднего плейстоцена в международных шкалах) проводится по геомагнитной инверсии Брюнес-Матуяма. Эта инверсия проходит внутри стадии 19. В геохимическом плане, стадия 19 не выражена и мало чем отличается от стадий 17 и 21.

Более яркими геохимическими рубежами являются границы нижнего и среднего, среднего и верхнего неоплейстоцена. Эти границы совпадают с резкими изменениями геохимических параметров в основании стадий 11 и 5, отражающими смену условий осадконакопления в бассейне озера, которые, в свою очередь, контролировались глобальными климатическими изменениями.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 12-05-00286), CRDF (RUG1-2987-MA-10), ДВО РАН (12-II-CO-08-024).*

### Литература

Белый В.Ф., Белая Б.В. Поздняя стадия развития Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (верхнее течение р. Энмываам). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 108 с.

Мигдисов А.А. О соотношении титана и алюминия в осадочных породах // Геохимия. 1960. № 2. С. 149-163.

Фельдман В.И., Грановский Л.Б., Наумова И.Г., Никишина Н.Н. Некоторые особенности химического состава импактитов метеоритного кратера Эльгыгытгын (Чукотка) // Метеоритика. 1980. Вып. 39. С. 110-113.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). – Сыктывкар: Геопринт, 2011. – 742 с.

Buggle B., Glaser B., Hambach U., Gerasimenko N., Marković S. An evaluation of geochemical weathering indices in loesspaleosol studies // Quaternary International. 2010. doi:10.1016/j.quaint.2010.07.019.

de Jayawardena U.S., Izawa E. A new Chemical Index of Weathering for metamorphic silicate rocks in tropical regions: a study from Sri Lanka // Engineering Geology. 1994. V. 36. P. 303-310.

Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance // Geology. 1995. V. 23. P. 921-924.

Goldberg K., Humayun M. The applicability of the Chemical Index of Alteration as a paleoclimatic indicator: An example from the Permian of the Paraná Basin, Brazil // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2010. V. 293. P. 175-183.

Harnois L. The CIW index: A new chemical index of weathering // Sedimentary Geology. 1988. V. 55. P. 319-322.

Kronberg B.I., Nesbitt H.W. Quantification of weathering, soil geochemistry and soil fertility // Journal of Soil Science. 1981. V. 32. P. 453-459.

Melles M., Brigham-Grette J., Minyuk P., Koeberl C., Andreev A., Cook T., Fedorov G., Gebhardt C., Haltia-Hovi E., Kukkonen M., Nowaczyk N., Schwamborn G., Wennrich V., and the El'gygytgy Scientific Party. The Lake El'gygytgy Scientific Drilling Project – Conquering Arctic Challenges through Continental Drilling // Scientific Drilling. 2011. V. 11. P. 29-40.

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.

Nesbitt H. W., Young G. M. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1984. V. 48. P. 1523-1534.

Yang S., Ding F., Ding Z. Pleistocene chemical weathering history of Asian arid and semi-arid regions recorded in loess deposits of China and Tajikistan // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2006. V. 70. P. 1695-1709.