

ХИМИЯ

УДК 550.42:546.027; 551.89.

А. В. Масленникова, В. Н. Удачин, В. В. Дерягин

ИЗОТОПНАЯ ГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА СЫРЫТКУЛЬ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Изучен изотопный состав углерода и кислорода донных отложений оз. Сырыткуль, накопленных в течение интервала 11000–5000 ^{14}C лет. Отмечено совпадение границ палинозон и климатических стадий, выделенных по изотопным кривым углерода и кислорода. С помощью спорово-пыльцевого анализа подтверждено предположение о связи изменения изотопного состава кислорода и углерода с количеством атмосферных осадков и интенсивностью испарения.

Ключевые слова: голоцен, озерные отложения, стабильные изотопы углерода, отношение изотопов кислорода, спорово-пыльцевой анализ.

Введение

Стабильные изотопы в озерных отложениях позволяют выявить изменения палеогеографических условий в относительно короткие интервалы времени [1]. Изотопный состав кислорода озерной воды ($\delta^{18}\text{O}$) зависит от изотопного состава притоков, атмосферных осадков, грунтовых вод и испарения [2]. На основе данных о составе стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) можно судить о величине испарения, количестве и изотопном составе атмосферных осадков [3–6], интенсивности фотосинтеза в водоеме, его продуктивности [7, 8]. Целью данной работы является оценка возможности использования анализа состава стабильных изотопов кислорода и углерода для индикации изменения условий голоцена.

Методы исследования

Колонка донных осадков оз. Сырыткуль (керн донных отложений длиной 572 см) отобрана в июле 2010 г. с платформы катамарана в центральной части озера. Изотопному анализу подвергалась карбонатная часть разреза (интервал 572–140 см).

Анализ изотопов углерода и кислорода выполнен в лаборатории изотопно-аналитической геохимии Аналитического центра Института геологии и минералогии СО РАН.

Радиоуглеродные датировки получены по трем пробам навесками 15 мг (интервалы отбора проб 533–535 см, 513–515 см, 170–172 см) с помощью ускорительной масс-спектрометрии AMS ^{14}C в университете г. Лунд (Швеция). Определение и подсчет спор, пыльцы (200–500 зерен в препарате) выполнено соответственно при увеличении 600 крат на оптическом микроскопе Микмед-5.

Возрастная модель колонки донных отложений оз. Сырыткуль получена корреляцией со спорово-пыльцевой диаграммой донных отложений оз. Уфимское [9]. В качестве эталона периодизации го-

лоцена использовалась схема Блитта-Сернандера, хронологически уточненная Н. А. Хотинским [10].

Результаты

Спорово-пыльцевой анализ. В составе спорово-пыльцевых спектров (СПС) аллереда (AL, интервал 570–555 см) преобладала пыльца древесных растений (в основном *Larix sibirica Ledeb.*), что свидетельствует о сравнительно теплом климате (рис. 1.).

СПС донных отложений позднего дриаса (Dr_3 , интервал 555–531 см) характеризовались преобладанием пыльцы анемофильных трав (*Artemisia sp.*, *Poaceae*), что указывает на похолодание и аридизацию климата.

Пребореал является одним из этапов резкого потепления климата, на который пришелся один из катастрофических подъемов уровня мирового океана [11].

Для спорово-пыльцевых спектров пребореала (PB, интервал 531–470 см) отмечалось значительное увеличение количества пыльцы древесных растений (до 60 %). Во второй половине пребореала (PB2, интервал 504–470 см) появилась пыльца *Ephedra distachia L.*, увеличилось содержание пыльцы трав и *Betula sect. Nanae*, что свидетельствует о похолодании и аридизации климата (переславское похолодание или пребореальная осцилляция).

В спорово-пыльцевых спектрах донных отложений начала бореала (BO1, интервал 470–395 см) возросло содержание пыльцы древесных пород и ели. Донные осадки второй половины бореала (BO2, интервал 395–327 см) характеризовались уменьшением содержания пыльцы *Picea sp.*, повышением количества пыльцы трав, что указывает на аридизацию климата.

Высокое содержание пыльцы ели, присутствие пыльцы широколиственных пород в спорово-пыльцевых спектрах атлантического периода (AT, ин-

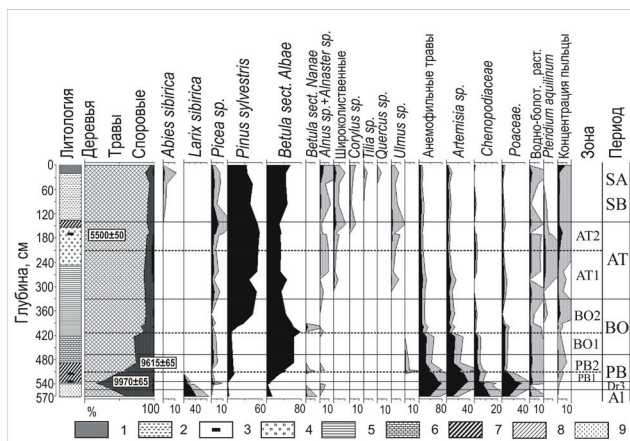


Рис. 1. Спорово-пыльцевая диаграмма донных отложений оз. Сырыткуль. 1 – жидкий темно-бурый сапропель; 2 – темно-бурый сапропель с растительными остатками; 3 – места отбора проб на радиоуглеродные датировки (AMS ^{14}C); 4 – серый сапропель с ракушняком; 5 – слоистый сапропель неоднородной окраски; 6 – розоватый сапропель с коричневыми прослоями; 7 – оранжевый сапропель с бурыми прослоями; 8 – буровато-серая глина; 9 – сизая глина

тервал 330–140 см) указывают на повышение увлажнения и потепление климата.

Изотопный анализ. По данным изотопного анализа донных отложений оз. Сырыткуль значения $\delta^{18}\text{O}$ изменялись от 21.1 до 24.7 ‰, а $\delta^{13}\text{C}$ – от –2.4 до 5.1 ‰. Максимальная величина отношения изотопов кислорода (24.7 ‰) отмечалась для донных осадков, накопленных в сухих условиях позднего дриаса (рис. 2). В то же время для донных отложений аллерада–позднего дриаса выявлялись относительно невысокие значения отношений стабильных изотопов углерода. Озерная известь пребореала-атлантика (PB-AT, интервал 504–156 см) характеризовалась корреляцией значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$.

В донных отложениях начала пребореала (PB1) величина $\delta^{13}\text{C}$ резко возросла (2.7 ‰), а $\delta^{18}\text{O}$ – снизилась (21.1 ‰). В донных осадках второй половины пребореала значения $\delta^{18}\text{O}$ (21.5–23.0 ‰) и $\delta^{13}\text{C}$ (2.8–4.6 ‰) повышались. Донные отложения первой половины бореала (BO1) характеризовались понижением величин $\delta^{18}\text{O}$ (21–22 ‰) и $\delta^{13}\text{C}$ (0.8–2 ‰). Для донных осадков второй половины бореала (BO2) отмечалось повышение значений $\delta^{18}\text{O}$ (21.5–23.7 ‰) и $\delta^{13}\text{C}$ (3–5 ‰). В озерных отложениях атлантического периода (AT) содержание тяжелых изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}$ (2.2–3.3 ‰) и кислорода $\delta^{18}\text{O}$ (21.7–22 ‰) уменьшалось.

Обсуждение

Исходя из сопоставления данных спорово-пыльцевого и изотопного анализа сделан вывод относительно связи высоких значения $\delta^{18}\text{O}$ в донных отложениях позднего дриаса с обогащением озерной воды тяжелым изотопом кислорода при увели-

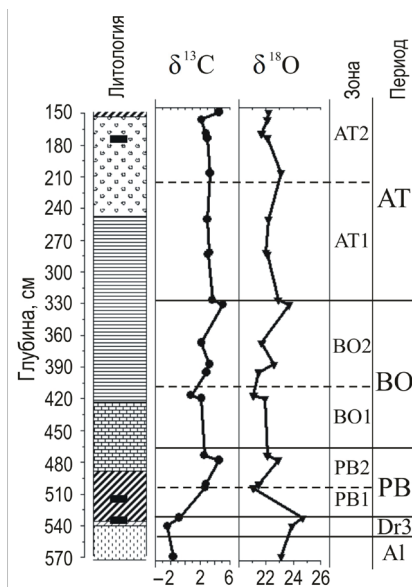


Рис. 2. Изменения изотопных отношений углерода и кислорода в донных отложениях оз. Сырыткуль. $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в ‰; условные обозначения (см. рис. 1)

чении интенсивности испарения [2]. Причиной пониженного содержания тяжелого изотопа углерода (от –2.4 до –0.8 ‰), возможно, являлась низкая продуктивность водоема (рис. 1).

Согласно модели McKenzie [8] возрастание первичной продукции водоема приводит к интенсивному употреблению ^{12}C в процессе фотосинтеза. В результате увеличивается содержание растворенного неорганического углерода, обогащенного ^{13}C , что приводит к накоплению кальцита с высоким содержанием тяжелого изотопа углерода. Таким образом, повышение величины $\delta^{13}\text{C}$ до 2.7 ‰ в донных осадках пребореала можно объяснить возрастанием продуктивности водоема. Понижение содержания тяжелых изотопов кислорода в донных отложениях начала пребореального периода, судя по всему, было связано с увлажнением климата и разбавлением озерных вод атмосферными осадками.

Корреляция значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в озерной извести пребореала-атлантика позволила сделать вывод относительно наличия единой причины изменений содержаний тяжелых изотопов. В результате сопоставления подразделений, полученных с помощью изотопии углерода и кислорода и палинозон, выделенных на основе спорово-пыльцевого анализа, было выявлено совпадение их границ. Исходя из данных спорово-пыльцевого и изотопного анализов очевидным является заключение о решающей роли колебаний влажности климата для изменения состава стабильных изотопов углерода и кислорода в донных осадках оз. Сырыткуль. На основе изучения части колонки донных осадков с коррелирующими значениями $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ (PB-AT)

выделено три периода гумидизации (PB1, BO1, AT) и два периода аридизации климата (PB2, BO2), что соответствует данным спорово-пыльцевого анализа.

Заключение

Таким образом, в результате сопоставления данных изотопного и спорово-пыльцевого анализа отмечено совпадение границ палинозон и климатических стадий, выделенных по изотопным кривым углерода и кислорода. С помощью спорово-пыльцевого анализа подтверждено предположение о связи изменения изотопного состава кислорода и

углерода с влажностью климата. Выявлено, что высокие значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ характерны для периодов пониженной влажности, а снижение содержания тяжелых изотопов отмечается при уменьшении влагообеспеченности территории.

Исследования выполнены при финансовом содействии Интеграционного проекта ДВО-СО-УрО РАН (№ 09-С-5-1001), проектов поддержки фундаментальных исследований УрО РАН (№ 12-И-5-2018 и № 12-М-45-2051), гранта поддержки аспирантов и молодых ученых УрО РАН, гранта РФФИ № 10-05-96012-р-урал_а), тематического плана ЮУрГУ № 1.908.

Список литературы

1. Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения истории озер. Л.: Наука, 1986. 254 с.
2. Anderson L., Abbott M. B. Holocene climate inferred from oxygen isotope ratios in lake Sediments, Central Brooks Range, Alaska // Quaternary Research. 2001. № 5. P. 1–9.
3. Chase B. M., Quick L. J., Meadows M. E., Scott L. et al. Late glacial interhemispheric climate dynamics revealed in South African hyrax middens // Geology. 2011. Vol. 39. № 1. P. 19–22.
4. Fushun W., Guojiang W., Congqiang L., Siqin X. The correlation of inorganic C, O Isotopic values for lake Chenghai sediments and its environmental implications // Chinese Journal of Geochemistry. 2002. Vol. 21. № 2. P. 186–92.
5. Hatté C., Fontugne M., Rousseau D-D. ^{13}C variations of loess organic matter as a record of the vegetation response to climatic changes during the Weichselian // Geology. 1998. Vol. 26. № 7. P. 583–586.
6. Liutkus C. M., Wright J. D., Ashley G. M. Paleoenvironmental interpretation of lake-margin deposits using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ results from early Pleistocene carbonate rhizoliths, Olduvai Gorge, Tanzania // Geol. Soc. of America. 2005. Vol. 33. № 5. P. 377–380.
7. Hollander D. J., Smith M. A. Microbially mediated carbon cycling as a control on the $\delta^{13}\text{C}$ of sedimentary carbon in eutrophic lake Mendota (USA): New models for interpreting isotopic excursions in the sedimentary record // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2001. № 65. P. 4321–4337.
8. McKenzie J. A. Carbon isotopes and productivity in the lacustrine and marine environment // Chemical processes in lakes / Stumm W. ed. New York, John Wiley and Sons, 1985. P. 99–118.
9. Масленникова А. В. Реконструкция условий осадконакопления в оз. Уфимское (Южный Урал) на основе спорово-пыльцевого и диатомового анализа // VII Междунар. науч. конф. «География, геоэкология, геология: опыт научных исследований». 2010. С. 82–83.
10. Хотинский Н. А. Голоцен северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.
11. Рудой А. Н. Гидросферные катастрофы в новейшей истории земли // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (Tomsk State Pedagogical University Bulletin). 2000. Вып. 2. С. 15–21.

Масленникова А. В., мл. научный сотрудник.

Институт минералогии УрО РАН.

Ул. Гуськова, 28, Миасс, Челябинская область, Россия, 456317.

E-mail: adenophora@inbox.ru

Удачин В. Н., кандидат геолого-минералогических наук, доцент.

Институт минералогии УрО РАН.

Ул. Гуськова, 28, Миасс, Челябинская область, Россия, 456317.

E-mail: udachin@ilmeny.ac.ru

Дерягин В. В., кандидат географических наук, доцент.

Челябинский государственный педагогический университет.

Пр. Ленина, 69, Челябинск, Россия, 454080.

E-mail: vderiyagin@mail.ru

Материал поступил в редакцию 13.01.2012.

A. V. Maslennikova, V. N. Udachin, V. V. Deryagin

ISOTOPIC GEOCHEMISTRY OF LAKE SIRITKUL SEDIMENTS (SOUTH URAL)

Oxygen and carbon isotope content of Lake Siritkul sediments, accumulated during 11000–5000 ¹⁴C yr. B.P. was studied. There was revealed coincidence of pollen-zones and climatic stages determined on the basis of isotopic analyses. The assumption of connection between atmospheric precipitation, evaporation and isotopic content of carbon and oxygen was confirmed with the help of pollen analysis.

Key words: *Holocene, lake sediments, stable isotopes of carbon, oxygen isotopes ratio, pollen analysis.*

Maslennikova A. V.

Institute of Mineralogy UB RAS.

Ilmenskii Zapovednik, Miass, Russia, 456317.

E-mail: adenophora@inbox.ru.

Udachin V. N.

Institute of Mineralogy UB RAS.

Ilmenskii Zapovednik, Miass, Russia, 456317.

E-mail: udachin@ilmeny.ac.ru

Deryagin V. V.

Chelyabinsk State Pedagogical University.

Pr. Lenina, 69, Chelyabinsk, Russia, 454080.

E-mail: vderyagin@mail.ru