

УДК 551.8

ЛИПИДНЫЕ БИОМАРКЕРЫ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ГУСИНОЕ (БАССЕЙН ОЗ. БАЙКАЛ) КАК ИНДИКАТОРЫ В ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИИ ОЗЕРНОГО СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА

© 2020 г. Е. Ц. Пинтаева^{1,*}, Л. Д. Раднаева¹, Е. П. Никитина¹,
В. Г. Ширеторова¹, академик РАН А. К. Тулохонов¹

Поступило 10.11.2019 г.
После доработки 15.01.2020 г.
Принято к публикации 20.01.2020 г.

Малые озера в отличие от крупных озер являются менее устойчивыми системами и более чутко реагируют на колебания климата. Распределение липидных биомаркеров в донных отложениях дает важную информацию об условиях окружающей среды в озерах и вокруг них, и может быть использовано в качестве дополнительных косвенных признаков в палеорекострукции озерного седиментогенеза. Впервые методом газо-хромато-масс-спектрометрии исследовано распределение липидных компонентов в донных отложениях оз. Гусиное. Выявлены основные липидные биомаркеры – индикаторы терригенного (длинноцепные жирные кислоты, спирты, дикарбоновые кислоты, β -ситостерол) и водного (короткоцепные жирные кислоты, гидроксикислоты и др.) происхождения органического вещества. Распределение индекса четности углерода (CPI) в керне донных отложений оз. Гусиное свидетельствует о переходе от холодного и сухого климата (нижние слои керна) к теплым и влажным условиям.

Ключевые слова: Гусиное озеро, донные отложения, липидные биомаркеры, жирные кислоты, палеорекострукция, климат

DOI: 10.31857/S2686739720030147

В последнее время все большее внимание уделяется проблеме палеоклиматических реконструкций, а также изучению факторов, приводящих к сменам ледниковых и межледниковых эпох. Установлено, что переход от холодного и сухого климата позднего плейстоцена к теплым и влажным условиям голоцена привел к изменению природной обстановки как на водосборах озер, так и в водной экосистеме. Следствием этого стала трансформация процессов озерного седиментогенеза. Несмотря на рост количества и уровня палеоклиматических исследований, по-прежнему ощущается недостаток достоверных данных по изменениям внутриконтинентального климата. Малые озера в отличие от крупных озер являются менее устойчивыми системами и более чутко реагируют на колебания климата [1]. Большое количество работ посвящено палеорекострукциям по донным отложениям озер северо-

запада России [2], Южной и Восточной Сибири [1, 3, 4].

Исследования малых озер с целью проведения палеоклиматических реконструкций немногочисленны и основываются главным образом на данных палинологического, диатомового анализов, распределении макро- и микроэлементов, а также минеральных ассоциаций, тогда как использование липидных биомаркеров практически не освещено. Особенности структуры и биосинтеза жирных кислот и липидов послужили базой для их широкого применения в качестве биомаркеров для оценки происхождения и трансформации органического вещества (ОВ) [5], а распределение липидов в отложениях позволяет использовать их в качестве показателей палеоклиматических реконструкций [6]. Изучение особенностей осадконакопления с использованием липидных биомаркеров направлено на решение проблем устойчивости и динамики развития озерных экосистем в условиях климатических изменений, а также даст фундаментальную основу для дальнейших палеоклиматических исследований по истории происхождения озер Забайкалья, среди которых научный и практический интерес представляет оз. Гусиное (крупнейшее пресно-

¹ Байкальский институт природопользования
Сибирского отделения Российской академии наук,
Улан-Удэ, Россия

*E-mail: e-pintaeva@yandex.ru

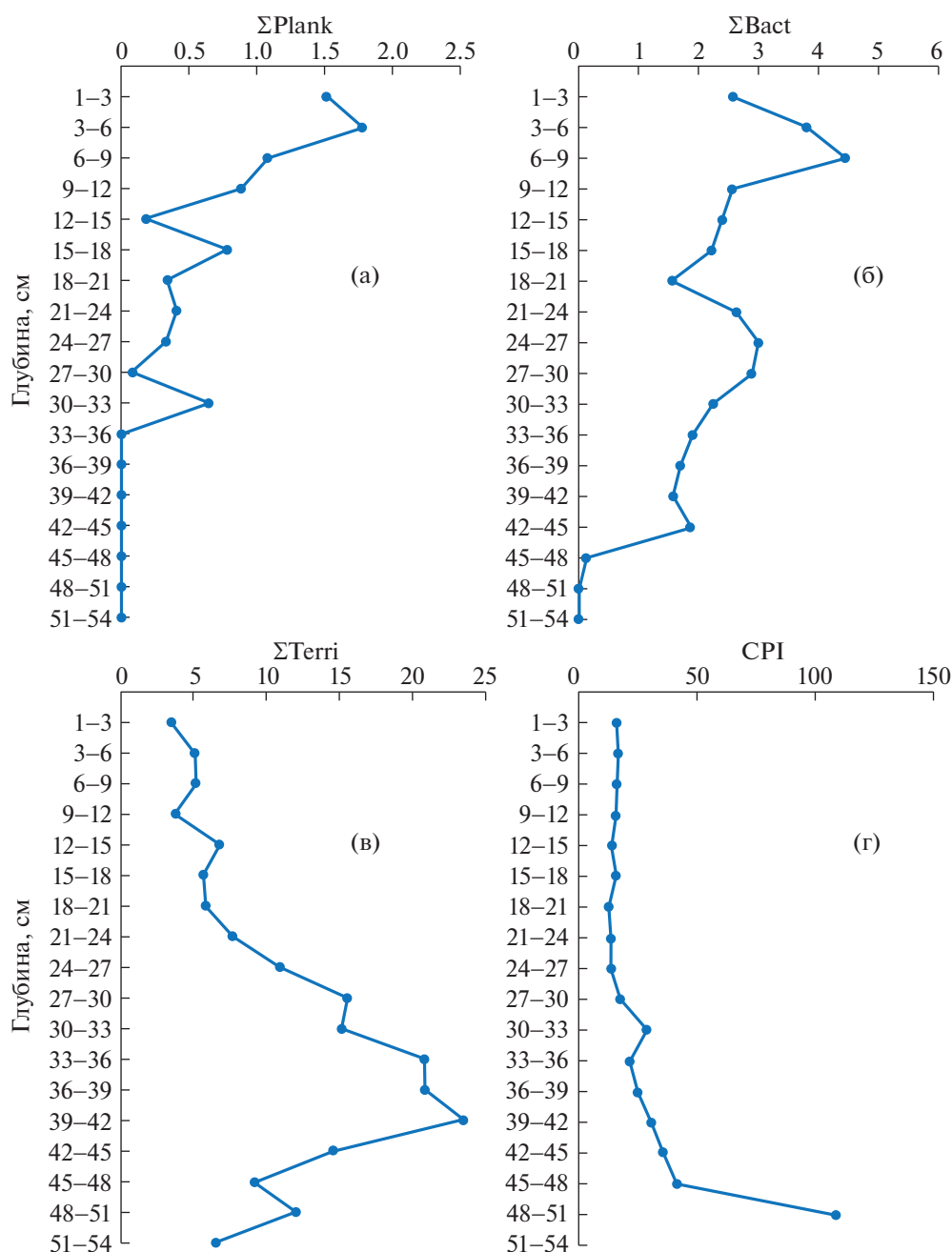


Рис. 1. Профили липидных маркеров в керне донных отложений оз. Гусиное (а, б и в – маркеры для оценки вклада планктона (фитопланктон и зоопланктон), бактерий и наземных высших растений соответственно; г – индекс четности углерода (CPI)).

водное озеро на территории Забайкалья). В отличие от всех других крупных водоемов в бассейне оз. Байкал, история происхождения оз. Гусиное сопровождалась частыми колебаниями уровня озера, фиксируемых в письменных источниках. Как указывает В.Б. Шостакович со ссылкой на работы И.Д. Черского, М. Лисовского, в 1720 г. на месте Гусиного озера существовали два небольших озера. С 1730 г. началось наводнение и постепенное повышение уровня озер, завершивше-

ся в 1740 г. соединением этих озер. Наполнение озерной котловины продолжалось вплоть до 1783 г., когда образовалась р. Баин–Гол – исток озера в Селенгу. С 1810 г. вода начала убывать и в 1820 г. показались из воды острова Большой и Малый Осередыши. С 1851 г. опять начался подъем воды, в 1862 г. вода затопила все острова [7]. Эти колебания отразились на условиях осадконакопления.

Для отбора проб донных осадков использовали 1.5-метровую трубку ГОИНа (ТГ-1.5). Колонка длиной 54 см была отобрана в марте 2018 г. в середине оз. Гусиное (перешеек между котловинами). Липидные компоненты были проэкстрагированы методом кислого метанолиза в растворе HCl/метанол в течение 1 ч при 80°C. Анализ хроматограмм продуктов кислого метанолиза донных отложений, полученных в режиме непрерывного сканирования, проводился с помощью штатной программы NIST11.L ГХМС системы АТ-6890/5973N [8]. При исследовании липидной фракции донных отложений озер обнаружено и идентифицировано до 91 соединений, среди которых доминировали насыщенные и ненасыщенные прямоцепные и разветвленные жирные кислоты (ЖК), жирные спирты и гидроксикислоты.

Для оценки происхождения органического вещества донных осадков используются различные маркеры, показывающие соотношения групп жирных кислот. Известно, что короткоцепные жирные кислоты, в частности C₁₆ и C₁₈, являются биологическими маркерами фитопланктона, тогда как длинноцепные (C₂₄–C₂₈) ассоциируются с терригенным происхождением органического вещества [9, 10]. Обнаружены разветвленные изо- и антеизо-ЖК, причем антеизо-изомеры представлены только для ЖК с нечетным количеством атомов углерода. Принято считать, что подобные кислоты имеют бактериальное происхождение [11].

Так, Samacho-Ibar и др. [12] в своей работе используют следующие маркеры для оценки вклада планктона (фитопланктон и зоопланктон), бактерий и наземных высших растений (Σ Plank, Σ Bact, и Σ Terri соответственно). Маркер планктона Σ Plank снижался с глубиной и не обнаруживался ниже 33 см (рис. 1а). Маркер, оценивающий вклад бактериального сообщества в донные осадки Σ Bact, также уменьшался с глубиной (рис. 1б), а маркер наземных высших растений Σ Terri, наоборот, имел тенденцию к возрастанию с максимумом, приходящимся на глубине 39–42 см (рис. 1в).

Еще одним биомаркером служит индекс четности углерода (CPI). Реконструкция палеоклиматических данных с помощью индекса четности углерода обусловлена изменением темпов диагенеза и деградации ОВ в зависимости от климатических условий. В условиях сухого и холодного климата микробный диагенез и деградация ОВ снижаются, что соответствует высокому значению этого индекса, в то время как во влажном и теплом климате ускоренный микробный диагенез и деградация ОВ приводят к низкому значению индекса четности углерода [13]. Так, в исследуемом керне отмечается увеличение индекса CPI с увеличением глубины (рис. 1г), что свидетельствует о переходе от холодного и сухого кли-

мата (нижние слои керна) к теплым и влажным условиям. Возможно, что нижние слои исследуемой колонки относятся к периоду до 1862 г., когда место отбора колонки было еще не затоплено. Однозначный ответ на это дадут результаты датирования, а на данный момент полученные результаты можно соотнести с историей развития Гусиного озера, описанной выше.

Таким образом, впервые изучены липидные компоненты донных отложений оз. Гусиное, выявлены основные липидные биомаркеры — индикаторы планктонного, бактериального и терригенного источника органического вещества, влияющие на экологическое состояние малых водоемов. Липидные маркеры донных отложений предоставляют важную информацию об условиях окружающей среды в озерах и вокруг них и могут использоваться в качестве дополнительных косвенных показателей в палеореконструкции озерного седиментогенеза. Выявление этапов развития и корреляция голоценовых разрезов донных отложений озер, находящихся в различных ландшафтно-климатических обстановках, на основе комплексного анализа донных отложений озер, включая использование липидных маркеров, позволяя более точно судить о синхронности климатических событий голоцена Восточной Сибири, роли локального фактора в формировании состава озерных осадков.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках Государственного задания БИП СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даниленко И.В., Солотчин П.А., Солотчина Э.П. Минералогия голоценовых осадков малых озер Байкальского региона: связь с палеоклиматом // Известия РАН. Серия географическая. 2018. № 4. С. 107–112.
2. Субетто Д.А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. Спб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009.
3. Kalugin I., Darin A., Rogozin D., et al. Seasonal and Centennial Cycles of Carbonate Mineralisation during the past 2500 Years from Varved Sediment in Lake Shira, South Siberia // Quaternary International. 2013. V. 290–291. P. 245–252.
4. Базарова В.Б., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М. и др. Особенности озерного осадконакопления в степной зоне Юго-Восточного Забайкалья в голоцене (на примере отложений оз. Зун-Соктуй) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 3. С. 426–438.
5. Holtvoeth J., Vogel H., Wagner B., et al. Lipid Biomarkers in Holocene and Glacial Sediments from Ancient Lake Ohrid (Macedonia, Albania) // Biogeosciences. 2010. V. 7. P. 3473–3489.

6. *Ishiwatari R., Yamamoto S., Uemura H.* Lipid and Lignin/cutin Compounds in Lake Baikal Sediments over the Last 130 Kyr: Implications for Glacial–interglacial Palaeoenvironmental Change // *Organic geochemistry*. 2005. V. 36. P. 327–347.
7. *Тулохонов А.К.* Колебания уровня озер как индикатор активности современных тектонических движений Забайкалья // *Геоморфология*. 1990. № 1. С. 91–97.
8. *Pintaeva E.Ts.* Lipid Biomarkers in Paleoreconstruction of Lake Sedimentogenesis // *IOP Conf. Series: Earth and Environ. Science*. 2019. V. 320. № 1 URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/320/1/012016>
9. *Meyers P.A., Ishiwatari R.* Lacustrine Organic Geochemistry – an Overview of Indicators of Organic Matter Sources and Diagenesis in Lake Sediments // *Organic geochemistry*. 2003. V. 20. P. 867–900.
10. *Ficken K.J., Wooller M.J., Swain D.L., et al.* Reconstruction of a Subalpine Grass-dominated Ecosystem, Lake Rutundu, Mount Kenya: A Novel Multi-proxy Approach // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol.* 2002. V. 177. P. 137–149.
11. *Goosens H., Düren R.R., de Leeuw J.W., et al.* Lipids and their Mode of Occurrence in Bacteria and Sediments – II. Lipids in the Sediment of a Stratified Freshwater Lake // *Organic geochemistry*. 1989. V. 14. P. 27–41.
12. *Camacho-Ibar V.F., Aveytua-Alcázar L., Carriquiry J.D.* Fatty Acid Reactivities in Sediment Cores from the Northern Gulf of California // *Organic geochemistry*. 2003. V. 34(3). P. 425–439.
13. *Ouyang X., Guo F., Bu H.* Lipid Biomarkers and Pertinent Indices from Aquatic Environment Record Paleoclimate and Palaeoenvironment Changes // *Quaternary Science Reviews*. 2015. V. 123. P. 180–192.

LIPID BIOMARKERS OF GOOSINOYE LAKE SEDIMENTS (LAKE BAIKAL BASIN) AS INDICATORS OF LAKE SEDIMENTOGENESIS PALEORECONSTRUCTION

**E. Ts. Pintaeva^{a,#}, L. D. Radnaeva^a, E. P. Nikitina^a, V. G. Shiretorova^a,
and Academician of the RAS A. K. Tulokhonov^a**

^a *Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russian Federation*

[#] *E-mail: e-pintaeva@yandex.ru*

Small lakes are important paleoenvironmental archives retaining abundant information due to their typical high sedimentation rates and susceptibility to environmental changes. Lipid biomarkers in sediments provide an important information regarding the environmental condition in and around lakes and can be applied as additional indirect features in paleoreconstruction of lake sedimentogenesis. Lipid biomarkers distributions in sediments of lake Goosinoeye were determined using gas chromatography (GC) and GC-mass-spectrometry. Lipid biomarkers of terrestrial origin (i.e. high-molecular weight n-alkanoic acids, n-alkanols, dicarboxylic acids, β -sitosterol) and aquatic source (i.e. short chain fatty acids, hydroxy fatty acids, etc.) were detected in all examples of sediments. The distribution of the carbon preference index (CPI) in the core of the bottom sediments of lake Gusinoeye indicates the transition from cold and dry climate (lower core layers) to warm and humid conditions.

Keywords: Goosinoeye lake, sediments, lipid biomarkers, fatty acids, paleoreconstruction, climate