

Научная статья  
УДК 579.26(571.55)  
DOI: 10.18101/2542-0623-2023-3-40-48

**ИЗОТОПНЫЕ ВАРИАЦИИ УГЛЕРОДА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА  
И КАРБОНАТОВ ДОННЫХ ОСАДКОВ И МИКРОБНЫХ МАТОВ  
МИНЕРАЛЬНЫХ ОЗЕР ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ**

**В. Б. Дамбаев, Т. В. Давыдова**

© **Дамбаев Вячеслав Борисович**  
кандидат биологических наук  
astra78plus@mail.ru

© **Давыдова Туяна Владимировна**  
кандидат географических наук  
maust678@mail.ru

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН  
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

**Аннотация.** Исследованы изотопные вариации углерода органического вещества и карбонатов донных осадков и микробных матов минеральных озер Забайкальского края. Углерод органического вещества ( $d^{13}C_{\text{орг}}$ ) в донных отложениях изученных минеральных озер колеблется в пределах  $-22,28...-30,12\text{‰}$ , карбонатов ( $d^{13}C_{\text{карб}}$ ) — в пределах  $-5,60...-12,15\text{‰}$ . Широкий диапазон варьирования  $d^{13}C_{\text{орг}}$  указывает на то, что донные осадки минеральных озер наследуют изотопный состав первичных продуцентов органического вещества. В продукционных процессах микроорганизмы матов минеральных озер используют углекислоту, различающуюся по изотопному составу углерода. Цианобактерии в составе микробных матов минеральных озер для синтеза органического вещества используют углекислоту биогенного происхождения.

Минеральные озера, в которых высокие значения pH в сочетании с большими концентрациями солей вплоть до насыщающих, являются уникальными экосистемами. Засушливый климат, высокая солнечная активность благоприятствуют испарению воды и образованию высокоминерализованных озер. Характерной особенностью этих озер являются щелочные условия и высокая концентрация солей [Сыренжапова, Абидуева, Дагурова и др., 2023]. Только в Забайкальском крае насчитывается более 100 крупных и мелких озер, среди которых нередко встречаются минеральные озера. В основном они расположены в плоских котловинах, имеют преимущественно округлую или овальную формы, уровень воды зависит от количества выпадающих осадков. Некоторые из них в засушливое время пересыхают.

Цель исследования — изучение изотопных вариаций углерода органического вещества и карбонатов в донных осадках и микробных матах минеральных озер Забайкальского края.

**Ключевые слова:** Забайкальский край, изотопный состав углерода  $\delta^{13}C$ , органическое вещество, донные осадки, микробные маты, микробная деструкция, минеральные озера, отбор проб.

**Благодарности**

Работа выполнена за счет средств государственного задания (№ 121030100229-1)

#### Для цитирования

Дамбаев В. Б., Давыдова Т. В. Изотопные вариации углерода органического вещества и карбонатов донных осадков и микробных матов минеральных озер Забайкальского края // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2023. № 3(25). С. 40–48.  
DOI: 10.18101/2542-0623-2023-3-40-48

#### Объекты и методы

Исследования проводились на минеральных озерах Хилганта, Зун-Торей и Доронинское, которые находятся на территории Забайкальского края. Суточные перепады температуры и сезонные изменения, характерные для данного региона, вызывают изменения физико-химических и гидрохимических условий обитания микробных сообществ в этих озерах [Сыренжапова, Намсараев, Абидуева, 2010].

В моменты отбора проб проводили измерение температуры озерных вод, pH и степени минерализации вод (табл. 1). Для измерения температуры воды и pH применяли портативный pH-метр со встроенным термометром (HANNA), минерализации воды — портативный тестер-кондуктометр TDS-4 (Сингапур).

Содержание органического вещества и карбонатов ( $d^{13}C$ ) определяли на масс-спектрометре BreathMAT plus (Finnigan (ИБФМ РАН, г. Пущино). Характеристики изотопного состава углерода анализируемых образцов представляли в виде величин  $\delta^{13}C$  (‰), которые рассчитывали согласно выражению:

$$\delta^{13}C_{\text{обр}} = ((R_{\text{обр}}/R_{\text{ст}}) - 1) \times 1000 (\text{‰}),$$

где  $R_{\text{обр}}$  и  $R_{\text{ст}}$  — отношения распространенностей изотопов углерода [ $^{13}C$ ]/[ $^{12}C$ ] в образце и стандарте PDB (белемнит из формации PD), соответственно [Slater, Preston, Weaver, 2001]. Знак «+» означает, что образец более обогащен тяжелым изотопом, чем стандарт, знак «-» — обеднен. Стандартная ошибка измерений изотопных характеристик  $\pm 0,2$  ‰.

Таблица 1

Физико-химическая характеристика исследованных минеральных озер

Название озера	Местоположение	pH	Минерализация, г/л	T°, C воды
Хилганта	50°42'53" с. ш. 115°06'086" в. д.	8,43–9,47	43–170	+7,4 – +28,5
Зун-Торей	50°9'48.04" с. ш. 115°48'43.26" в. д.	9,46–9,53	7	+21,4
Доронинское	51°25' с. ш. 112°28' в. д.	9,89	24-26	+12,6

#### Результаты

*Изотопный состав углерода ( $d^{13}C$ ) донных осадков минеральных озер и прибрежных солончаков*

В центре озера Хилганта донные осадки имеют пониженное значение  $d^{13}C_{\text{орг}}$  от -30,63 до -24,30 ‰ (рис. 1). Поверхностные осадки озера характеризуют

изотопный состав углерода, присущий для водной и прибрежной растительности. Углерод карбонатов  $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$  составляет от -8,65 до -12,28 ‰. Органическое вещество подвергается глубокой анаэробной деструкции. Содержание органического вещества по слоям донных осадков варьирует от 60,16 до 2,26 %. Максимальное и минимальное значение карбонатов было 34,55 и 0,36 % (рис. 2).

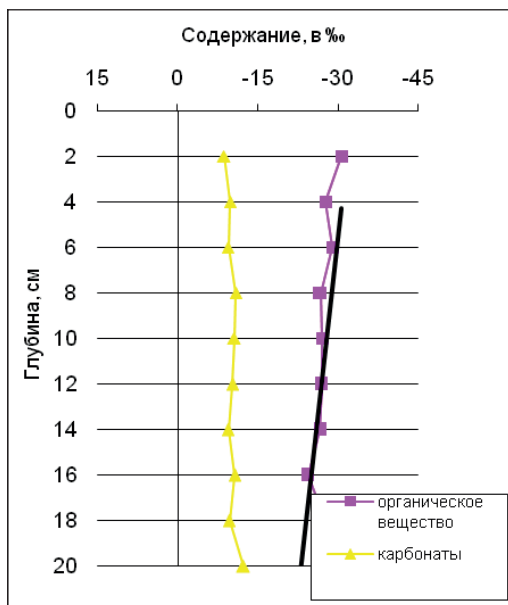


Рис. 1. Изотопный состав углерода, карбонатов и органического вещества в донных осадках озера Хилганта

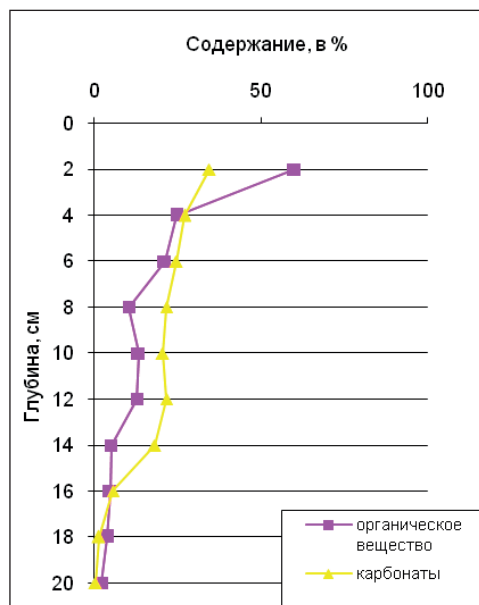


Рис. 2. Содержание карбонатов и органического вещества в донных осадках оз. Хилганта

Характерной чертой сухостепных территорий является распространение солончаков, приуроченных к бессточным понижениям, занятым минеральными озерами. Проведенные исследования в приозерном солончаке (Khil), расположенном в при-террасной части озера Хилганта, выявили высокое содержание органического вещества в верхних почвенных горизонтах (8–20 см). Максимальное значение органического вещества в поверхностных горизонтах составляло 11,3 %, вниз по профилю почвы происходило уменьшение до 5,2 % (рис. 3). Это связано с тем, что подземная часть растений имеет более мощную корневую систему.

Углерод органического вещества  $\delta^{13}\text{C}$  в корнеобитаемом горизонте равен -29,0 ‰, что схоже с типом  $\text{C}_3$ -растительности. Вниз по почвенному горизонту происходит обогащение  $^{13}\text{C}$  на 1–2 ‰ как результат минерализации органического вещества гетеротрофными микроорганизмами. От верхних к нижним слоям почвенного профиля замечено облегчение содержания углерода карбонатов  $\delta^{13}\text{C}$  почв от -12,40 до -13,31 ‰, соответственно (рис. 4).

В почвах органическое вещество незначительно обогащено в  $^{13}\text{C}$  (1–3 ‰) вниз по почвенному профилю. Радиоуглеродный возраст почвенного органического вещества с глубиной по профилю почвы определен деятельностью микроорганизмов в течение деструкции органического вещества, и они являются ответственными за увеличение значения  $^{13}\text{C}$  с глубиной.

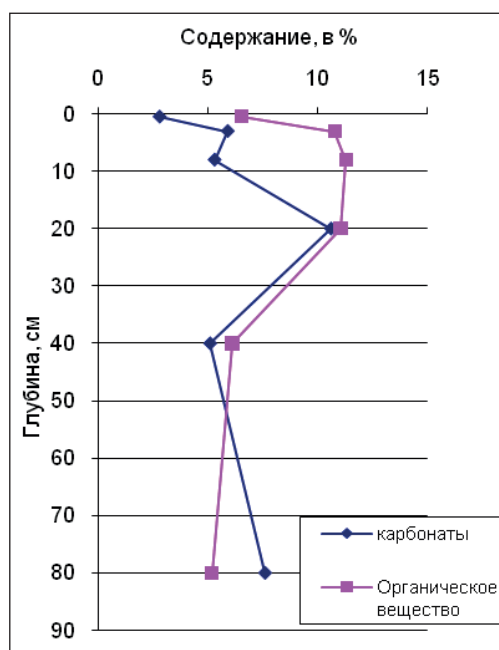


Рис. 3. Содержание карбонатов и органического вещества в почвах солончака Khill

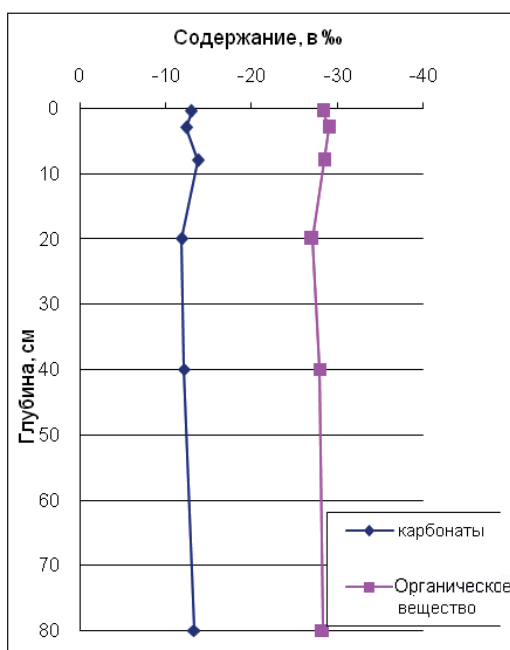


Рис. 4. Изотопный состав углерода карбонатов и органического вещества в почвах солончака Khill

Углерод фитомассы с  $C_3$ -типом фотосинтеза и соответственно  $C_{org}$  почв имеют  $\delta^{13}C$  в пределах  $-22...-30\text{‰}$ ,  $C_4$ -растений и почв — в пределах  $-10...-14\text{‰}$ . Углерод педогенных карбонатов обогащен  $\delta^{13}C$  на  $14...17\text{‰}$ . Поэтому под «чистой»  $C_3$ - и  $C_4$ -растительностью  $\delta^{13}C_{carb}$  близка к  $-8$  и  $+4$  промилей соответственно [Рысков, Цыбжитов, Цыбикдоржиев и др., 2001]. В регионах с засушливым холодным климатом доля  $C_4$ -растений, которые фиксируют  $CO_2$  по 4-углеродному циклу, возрастает [Nordt, Wilding, Drees, 2000]. Рысков и др. (2001) показали, что в Забайкалье педогенные (от  $-10$  до  $0\text{‰}$ ) составляющие почвенных карбонатов преобладают над литогенными ( $-2...+2\text{‰}$ ).  $\delta^{13}C_{org}$  каштановых и черноземных почв составляет  $-28...-29\text{‰}$ ,  $\delta^{13}C_{carb}$   $-8...-9\text{‰}$ . Растительность солончаков представлена сведорожконосным сообществом. Травостой сравнительно равномерный, красноватый. Ветоши немного, высота травостоя в основном составляет  $17-20$  см, высота редких побегов *Achnatherum splendens* может достигать  $90$  см. Проективное покрытие составляет  $70-80\%$ . Количество видов на  $1\text{ м}^2$  —  $5-7$ . Галофиты (*Knorringia sibirica*, *Suaeda corniculata*, *Artemisia anethifolia*, *Achnatherum splendens*) представлены в сведорожконосном сообществе.

#### Изотопный состав углерода ( $d^{13}C$ ) микробных матов минеральных озер

Основной вклад в образование органического вещества микробных матов вносят цианобактерии [Цыренова, Брянская, Козырева и др., 2011]. Углекислота потребляется цианобактериями из растворенного состояния в виде гидрокарбоната или самой углекислоты. Внешним фактором, оказывающим влияние на фракционирование изотопов углерода, является концентрация углекислоты в воде.

Значение pH среды, концентрация солей и температура выступают как факторы, от которых зависит растворимость  $\text{CO}_2$  в воде [Зякун и др., 1994].

Изотопный состав  $d^{13}\text{C}_{\text{орг}}$  микробных матов минеральных озер Зун-Торей и Доронинское равен  $-27,89\dots-34,04\text{‰}$ ,  $d^{13}\text{C}_{\text{карб}}$  — в пределах  $-5,77\dots-11,70\text{‰}$  (табл. 2).

Таблица 2

Содержание и изотопный состав углерода микробных матов Забайкальского края

Название	Содержание карбонатов, в % на воздушно-сухую навеску	Содержание углерода карбонатов, в % на воздушно-сухую навеску	$d^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ в ‰	Содержание ОВ, в % на минеральную часть навески	Содержание углерода ОВ, в % на минеральную часть навески	$d^{13}\text{C}$ ОВ, в ‰
Озеро Хилганта						
Мат	51,4	3,130	-8,21	53,06	3,232	-27,75
Озеро Зун-Торей						
Песчаный мат	2,4	0,146	-9,20	0,36	0,021	-27,90
Песчаный мат 0,2–0,5 см	1,05	0,063	-11,70	0,60	0,036	-29,47
Песчаный мат 0,5–1 см	1,1	0,067	-7,43	0,54	0,032	-29,75
Песчаный мат 1–1,5 см	1,2	0,073	-7,34	0,24	0,014	-29,23
Песчаный мат 3–5 см	1,15	0,070	-5,77	0,66	0,040	-27,89
Озеро Доронинское						
Песчаный мат 0–0,2 см	3,2	0,198	-7,17	5,01	0,305	-26,18
Песчаный мат 0,2–0,5 см	1,6	0,097	-6,98	2,47	0,150	-25,84
Песчаный мат 0,5–1 см	1,5	0,091	-8,47	1,30	0,079	-32,03
Песчаный мат 1–1,5 см	1,2	0,073	-8,79	0,73	0,044	-15,46
Песчаный мат 2–2,5 см	2,0	0,128	-7,69	2,7	0,167	-34,04
Песчаный мат 3–3,5 см	1,45	0,088	-8,69	0,92	0,056	-27,19
Маты + корка	0,375	0,022	-6,76	49,61	3,021	-27,58

При исследовании песчаного мата оз. Зун-Торей в поверхностном слое 0,2–0,5 см наблюдается зона микробной деструкции органического вещества (рис. 5) и происходит облегчение изотопного состава углерода карбонатов до  $-11,70\text{‰}$ . В слоях от 0,5 до 5 см происходит синтез органического вещества фототрофными организмами, которые используют изотопно-тяжелую углекислоту со значением до  $-5,77\text{‰}$

В песчаном мате озера Доронинское выявлена противоположная картина. В поверхностном слое 0–0,5 см происходит продукция органического вещества. Фотосинтезирующие организмы для синтеза органического вещества используют изотопно-тяжелую углекислоту  $d^{13}C$   $-6,98\text{‰}$ . В нижних слоях песчаного мата 0,5–3,5 см идет процесс минерализации органического вещества и происходит облегчение изотопного состава углерода карбонатов до  $-8,79\text{‰}$  (рис. 6).

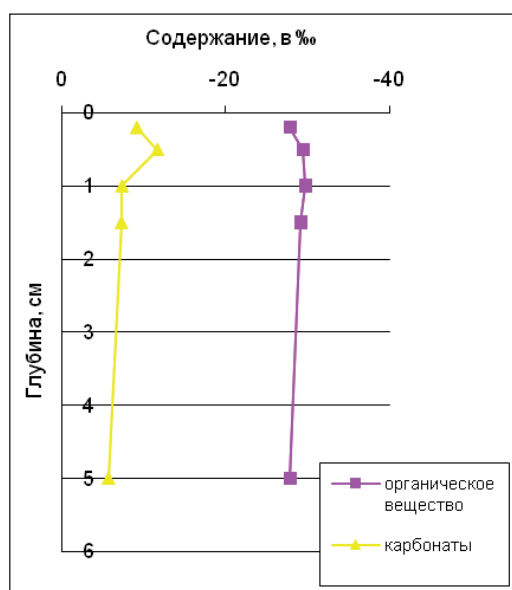


Рис. 5. Изотопный состав углерода карбонатов и органического вещества песчаного мата оз. Зун-Торей

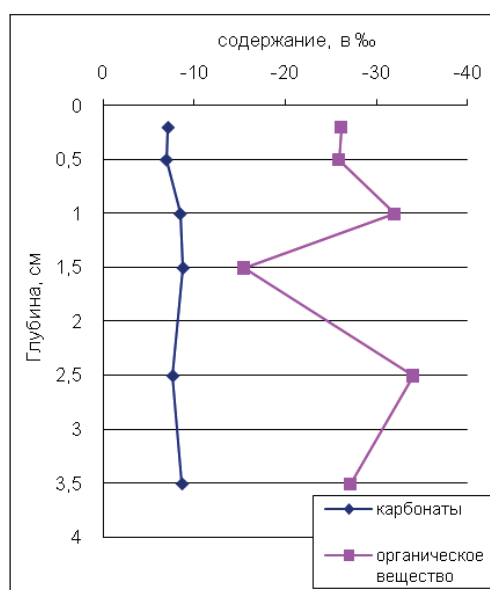


Рис. 6. Изотопный состав углерода карбонатов и органического вещества песчаного мата оз. Доронинское

Культуры цианобактерий *Phormidium. sp.*, *Nodularia sp.*, *Oscillatota sp.*, выделенные из минеральных озер, имеют изотопный состав биомассы клеток от  $-33,76$  до  $-28,6\text{‰}$ . Цианобактериальный мат сформированный при участии *Phormidium sp.*, содержит карбонаты  $-10,11\text{‰}$ .

Анализ изотопного состава углерода органического вещества и карбонатов микробных матов минеральных озер показал, что фотосинтезирующие бактерии использовали в продукционных процессах субстраты, содержащие преимущественно изотопно-легкий углерод ( $^{12}C$ ). Вариации изотопного состава углерода органического вещества микробных матов схожи со значениями  $d^{13}C$  органического вещества цианобактерий ( $d^{13}C$  сред. =  $-20 \dots -16\text{‰}$ ), представленных в ранее опубликованных работах [Галимов, 1981; Zhang, Fouke, Bonheyo et al., 2004].

Содержание  $d^{13}C$  органического вещества микробных матов озера Хилганта близко к изотопному составу бикарбоната озерных вод  $d^{13}C$  от -17,6 до -12,9‰ [Оана, Deevey, 1960; Ивлев, 1976]. Значения  $d^{13}C$  карбонатов микробных матов минеральных озер характеризовались низкими значениями. Связанный с цианобактериями минеральный углерод микробных матов исследованных водных экосистем имеет близкое к составу изотопов осадочных карбонатов ( $d^{13}C$  от -5 до +5‰) значение.

В продукционных процессах фотосинтезирующие бактерии микробных матов минеральных озер используют углекислоту, различающуюся по изотопному составу углерода. Цианобактерии матов минеральных озер для синтеза органического вещества потребляют углекислоту биогенного происхождения.

### Заключение

Изотопный состав углерода органического вещества ( $d^{13}C_{\text{орг}}$ ) в донных отложениях изученных минеральных озер колеблется в пределах -22,28...-30,12‰, карбонатов  $d^{13}C_{\text{карб}}$  — в пределах -5,60...-12,15‰. Широкий диапазон варьирования  $d^{13}C_{\text{орг}}$  указывает на то, что донные осадки наследуют изотопный состав первичных продуцентов органического вещества. Минеральные озера Забайкальского края являются благоприятной средой для развития микробных матов. Анализ изотопного состава органического вещества и карбонатов микробных матов минеральных озер показал, что фототрофные бактерии использовали в продукционных процессах субстраты, содержащие изотопно-легкий  $^{12}C$ .

### Литература

1. Галимов Э. М. Природа биологического фракционирования изотопов. Москва : Наука, 1981. 247 с. Текст : непосредственный.
2. Зякун А. М. Разделение стабильных изотопов углерода микроорганизмами и возможности его практического использования : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Пушкино, 1994. 300 с. Текст : непосредственный.
3. Ивлев А. А. Вопросы теории фракционирования изотопов углерода в фотосинтезирующих организмах // Успехи микробиологии. 1976. Т. 81, вып. 1. С. 84–105. Текст : непосредственный.
4. Почвы России: источник или сток для  $CO_2$  / Я. Г. Рысков, Ц. Х. Цыбжитов, Ц. Ц. Цыбикдоржиев [и др.] // Геохимия. 2001. № 6. С. 636–644. Текст : непосредственный.
5. Таксономическое разнообразие микробных сообществ в содово-соленом озере Зун-Торей (Забайкальский край) / А. С. Сыренжапова, Е. Ю. Абидуева, О. П. Дагурова, Д. Д. Бархутова // Биота, генезис и продуктивность почв : материалы XIX Всероссийского совещания по почвенной зоологии / под редакцией А. В. Тиунова, К. Б. Гонгальского, А. В. Уварова. Улан-Удэ, 2023. С. 107–110. Текст : непосредственный.
6. Сыренжапова А. С., Намсараев Б. Б., Абидуева Е. Ю. Сезонные и межгодовые изменения активности микроорганизмов содово-соленых озер Онон-Керуленской группы : монография / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Департамент научно-технологической политики и образования, ФГОУ ВПО «Бурятская гос. с.-х. акад. им. В. Р. Филиппова», Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН. Улан-Удэ, 2010. Текст : непосредственный.
7. Структура и особенности формирования галоалкалофильного сообщества озера Хилганта / Д. Д. Цыренова, А. В. Брянская, Л. П. Козырева [и др.] // Микробиология. 2011. Т. 80, № 2. С. 251–257. Текст : непосредственный.



8. Nordt L. C., Wilding L. P., Drees L. R. Pedogenic Carbonate Formation in Leaching Soil Systems: Implication for the Global C Cycle. In: Lal R., Kimble J. M., Esteran H., Stewart B. A. (Eds.), *Global Climate Change and Pedogenic Carbonates*. CRC Press, USA, 2000, pp. 43–64.

9. Oana S., Deevey E. S. Carbon-13 in Lake Waters and Its Possible Bearing on Paleolimnology. *Amer. J. Sci.* 1960; 258-A: 253–272.

10. Slater C., Preston T., Weaver T. Stable Isotopes and the International System of Units. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2001; 15: 501–519.

11. Zhang C. L., Fouke B. W., Bonheyo G. T. et al. Lipid Biomarkers and Carbon-Isotopes of Modern Travertine Deposits (Yellowstone National Park, USA): Implications for Biogeochemical Dynamics in Hot-Spring Systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2004; 68 Aug: 3157–3169.

*Статья поступила в редакцию 20.08.2023; одобрена после рецензирования 25.08.2023; принята к публикации 13.09.2023.*

ISOTOPIC VARIATIONS OF ORGANIC CARBON AND CARBONATES  
IN BOTTOM SEDIMENTS AND MICROBIAL MATES  
OF MINERAL LAKES IN ZABAIKALSKY KRAI

V. B. Dambayev, T. V. Davydova

*Vyacheslav B. Dambayev*

Cand. Sci. (Biol.)

astra78plus@mail.ru

*Tuyana V. Davydova*

Cand. Sci. (Geogr.)

maust678@mail.ru

Institute for General and Experimental Biology SB RAS

6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia

*Abstract.* We have studied isotope variations of organic carbon and carbonates in bottom sediments and microbial mats of mineral lakes of Zabaikalsky Krai. Organic carbon ( $d^{13}C_{org}$ ) in bottom sediments of the studied mineral lakes ranges from -22.28 to -30.12 ‰, carbonates ( $d^{13}C_{carb}$ ) — from -5.60 to -12.15 ‰. A wide range of variations in  $d^{13}C_{org}$  indicates that bottom sediments of mineral lakes inherit the isotopic composition of the primary producers of organic substance. In production processes, microorganisms of mineral lake mats use carbon dioxide, which differs in the carbon isotopic composition. Cyanobacteria in the microbial mats of mineral lakes use carbon dioxide of biogenic origin to synthesize organic substance. High pH values in combination with high concentrations of salts up to saturating levels make mineral lakes unique ecosystems. The arid climate and high solar activity favor the evaporation of water and formation of highly mineralized lakes.

A specific feature of these lakes is alkaline conditions and high concentration of salts [Syrenzhapova, Abidueva, Dagurova et al., 2023]. There are more than 100 large and small lakes in Zabaikalsky Krai, among which mineral lakes are often found. They are mainly located in flat basins, have a predominantly round or oval shape, the water level depends on



the amount of precipitation. Some of them dry out during dry times.

The article is aimed at studying isotope variations of organic carbon and carbonates in bottom sediments and microbial mats of mineral lakes of Zabaikalsky Krai.

*Keywords:* Zabaikalsky Krai, carbon isotope composition  $\delta^{13}\text{C}$ , organic matter, bottom sediments, microbial mats, microbial destruction, mineral lakes, sampling.

*Acknowledgments*

The work was supported by the state assignment No. 121030100229-1.

*For citation*

Dambayev V. B., Davydova T. V. Isotopic Variations of Organic Carbon and Carbonates in Bottom Sediments and Microbial Mats of Mineral Lakes in Zabaikalsky Krai. *Nature of Inner Asia*. 2023; 3(25): 40–48 (In Russ.).

DOI: 10.18101/2542-0623-2023-3-40-48

*The article was submitted 20.08.2023; approved after reviewing 25.08.2023; accepted for publication 13.09.2023.*