

# БИОЛОГИЯ

Научная статья  
УДК 579.26  
DOI: 10.18101/2542-0623-2024-2-6-12

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ СЕЛЕНГИНСКОГО СРЕДНЕГОРЬЯ

**В. Б. Дамбаев, Т. В. Давыдова**

© **Дамбаев Вячеслав Борисович**  
кандидат биологических наук,  
Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН  
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
astra78plus@mail.ru

© **Давыдова Туяна Владимировна**  
кандидат биологических наук,  
Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН  
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
maust678@mail.ru

**Аннотация.** С использованием методов изотопной масс-спектрометрии изучено влияние глюкозы на микробную деструкцию органического вещества засоленных почв Селенгинского среднегорья. Различия в изотопном составе глюкозы ( $\delta^{13}\text{C}$  -10,57‰) и органического вещества ( $\delta^{13}\text{C}$  -26,55‰) позволили рассчитать потоки диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), образовавшиеся при их микробной деструкции в почве.

Наибольшее количество выделившегося  $\text{CO}_2$  при внесении глюкозы в почву наблюдалось в первые 4 часа опыта, что в 12 раз больше, чем скорость деструкции органического вещества до внесения глюкозы.

Наибольшее количество выделившейся углекислоты было отмечено в первые 4 часа опыта после внесения глюкозы в почву, а скорость минерализации органического вещества увеличилась в 12 раз.

Изотопный состав  $\text{CO}_2$  со значением -11,08‰ был отмечен при 8-часовой инкубации.  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CO}_2$  в проведенном опыте наследует  $\delta^{13}\text{C}$  органических продуктов, используемых микроорганизмами в качестве субстратов. Различия в изотопном составе вносимой  $\delta^{13}\text{C}$  экзогенной глюкозы и органического вещества может быть использовано как изотопная метка для определения происхождения  $\text{CO}_2$ , образующейся при минерализации растительных остатков.

**Ключевые слова:** органическое вещество, карбонаты, микробная деструкция, стабильные изотопы углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ),  $\text{CO}_2$ .

### Благодарности

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 121030100229-1.

### Для цитирования

Дамбаев В. Б., Давыдова Т. В. Исследование изотопного состава углерода  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  засоленных почв Селенгинского среднегорья // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2024. № 2(28). С. 6–12. DOI: 10.18101/2542-0623-2024-2-6-12

## Введение

Почвенное плодородие является неотъемлемой частью цикла углерода, обеспечивающееся трансформацией органического вещества, так как органические соединения являются хранилищем энергии в наземных биомах [Song et al., 2017].

Важное значение для характеристики циклов углерода в биосфере имеет оценка потоков  $\text{CO}_2$  из почв. По активности  $\text{CO}_2$  в почвах можно судить о трансформации органического вещества [Шилова, 2014]. Оценка потоков углерода в почвенных системах проводится с использованием глюкозы как легко минерализуемого органического соединения, которое в природных условиях поступает в почву в составе корневых выделений [Yanardağ et al., 2017]. Внесение органических и минеральных веществ в почву оказывает определенное воздействие на микробиологические процессы [Зякун, Дилли, 2011]. Главное значение имеет почвенное органическое вещество, которое определяет состав и структуру микробных сообществ [Subedi et al., 2016; Wang et al., 2016].

В результате минерализации растительных остатков гетеротрофными микроорганизмами образуются углекислота, органические метаболиты и микробная биомасса с изотопным составом углерода  $\delta^{13}\text{C}$  использованных продуктов. Количество  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CO}_2$ , выделившейся из почвы в результате деструкции растительных остатков, было использовано для того, чтобы проследить минерализацию и других веществ, попадающих в почву.

Цель работы — влияние глюкозы на микробную деструкцию органических веществ и оценка продуцирования  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CO}_2$  в засоленных почвах Селенгинского среднегорья.

## Объекты и методы

Объектами исследования являлись прибрежные засоленные почвы озера Белое ( $51^\circ 32' 86''$  с. ш.  $107^\circ 02' 53''$  в. д., высота 538 м над ур. м.).

Почвенные образцы были отобраны с верхнего слоя (0–20 см) почвы на участках P1, P2, P3 на расстоянии 10 м друг от друга вверх по террасе на северо-восточной оконечности озера Белое.

Содержание органического вещества в почве определяли методом мокрого сжигания [Воробьева, 1998]. Содержание карбонатов определяли по методу Хитрова [Хитров, 1984]. Продуцирование  $\text{CO}_2$  почвой определяли абсорбционным методом [Шарков, 1984].

Соотношение  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  определяли на масс-спектрометре FINNIGAN Breath MAT Plus (ИБФМ РАН, г. Пущино).

Характеристики изотопного состава углерода анализируемых образцов представляли в виде величин  $\delta^{13}\text{C}$  (‰), которые рассчитывали согласно общепринятому выражению:

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

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

Материально-изотопный баланс для органического вещества (ОВ) и внесенной глюкозы (Глю) в почву проводили, используя уравнение:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{ов}} \cdot Q_{\text{ов}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{глю}} \cdot Q_{\text{глю}} = \delta^{13}\text{C}_{(\text{ов+глю})} (Q_{\text{глю}} + Q_{\text{ов}}), \quad (1)$$

где  $\delta^{13}\text{C}_{\text{ов}}$  и  $\delta^{13}\text{C}_{(\text{ов+глю})}$  — содержание изотопа  $^{13}\text{C}$  в органическом веществе почвы до и после внесения глюкозы в почву;

$\delta^{13}\text{C}_{\text{глю}}$  — изотопный состав углерода глюкозы;  $Q_{\text{глю}}$  и  $Q_{\text{ов}}$  — количество органического вещества и глюкозы в почвенных образцах соответственно.

Используя (1), долю  $\text{CO}_2$  (F), которая образовалась при минерализации органического вещества после внесения глюкозы в почву, рассчитывали с помощью формулы (2):

$$F = (\delta^{13}\text{C}_{(\text{ов+глю})} - \delta^{13}\text{C}_{\text{глю}}) / (\delta^{13}\text{C}_{\text{глю}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{ов}}), \quad (2)$$

где  $\delta^{13}\text{C}_{\text{ов}}$  и  $\delta^{13}\text{C}_{(\text{ов+глю})}$  отражают количество изотопа  $^{13}\text{C}$  в  $\text{CO}_2$ , продуцируемое в почве до и после внесения глюкозы;  $\delta^{13}\text{C}_{\text{глю}}$  — изотопный состав углерода глюкозы.

Таким образом, разницу между количеством углерода  $\text{CO}_2$ , продуцируемым при минерализации органического вещества в образцах почвы с глюкозой и в контроле, отнесенную к количеству  $\text{CO}_2$  в контроле (в процентах), использовали для оценки ПЭ глюкозы (3):

$$\text{ПЭ} = [FC_{(\text{ов+глю})} - C_{\text{ов}}] / C_{\text{ов}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $C_{(\text{глю+ов})}$  — суммарное количество углерода  $\text{CO}_2$ , образующееся при минерализации глюкозы и органического вещества в почве с глюкозой;  $FC_{(\text{глю+ов})}$  — количество углерода  $\text{CO}_2$ , образующееся при минерализации органического вещества в почве с добавкой глюкозы и рассчитанное с учетом (2).

### Результаты и их обсуждение

Содержание органического вещества в прибрежных засоленных почвах озера Белое невелико. В верхних 0–20 см изученных почв она варьировала в пределах 1,05–1,54% воздушно-сухой навески. Значение рН водной вытяжки колебалось от 7,9 до 8,4 (табл. 1).

Таблица 1

Физико-химическая характеристика засоленных почв  
Селенгинского среднегорья

Ключевой участок	Влажность, %	рН	Содержание карбонатов, %	Содержание $C_{\text{орг}}$ , %
P1	6,5	8,4	0,17	1,13
P2	6,3	7,9	1,2	1,05
P3	12,5	8,2	12,4	1,54

Среднее значение  $\delta^{13}\text{C}$  органического вещества на участках P1, P2, P3 составляло -26,55‰, что характерно для СЗ-растительности. Наименьшее количество

карбонатов отмечено на участке Р1. Вверх по минитрансекту содержание карбонатов увеличивается. Наиболее обогащена карбонатами почва участка Р3, расположенная на вершине прибрежной террасы. С увеличением содержания карбонатов в почвах происходит утяжеление изотопного состава  $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$  — от -16,70 до -11,74‰ (табл. 2).

Таблица 2

Изотопный состав углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) органического вещества и карбонатов

Ключевой участок	Глубина, см	$\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ , ‰	$\delta^{13}\text{C}$ ОВ, ‰	Увлажнение почвы 60%, $\delta^{13}\text{C}$ , ‰
Р1	0–20	-16,70	-26,19	-24,66
Р2	0–20	-13,76	-26,8	-22,97
Р3	0–20	-11,74	-26,66	-22,80

Изотопный состав  $\delta^{13}\text{C}$  почвенного  $\text{CO}_2$  составлял -23,47‰ и наследовал изотопный состав органического вещества почв -26,55‰. Фракционирование изотопов углерода при микробной деструкции органического вещества составляло 3,1‰. Вносимая в почву глюкоза 1,5 мг/г с изотопным составом  $\delta^{13}\text{C}$  -10,58‰ отличалась на 16‰ от углерода почвенного органического вещества.  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CO}_2$  со значением -11,08‰ было отмечено при 8-часовой инкубации. Таким образом,  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CO}_2$  в проведенном эксперименте наследует изотопный состав углерода  $\delta^{13}\text{C}$  органических продуктов, используемых почвенными микроорганизмами в качестве субстратов (рис. 1).

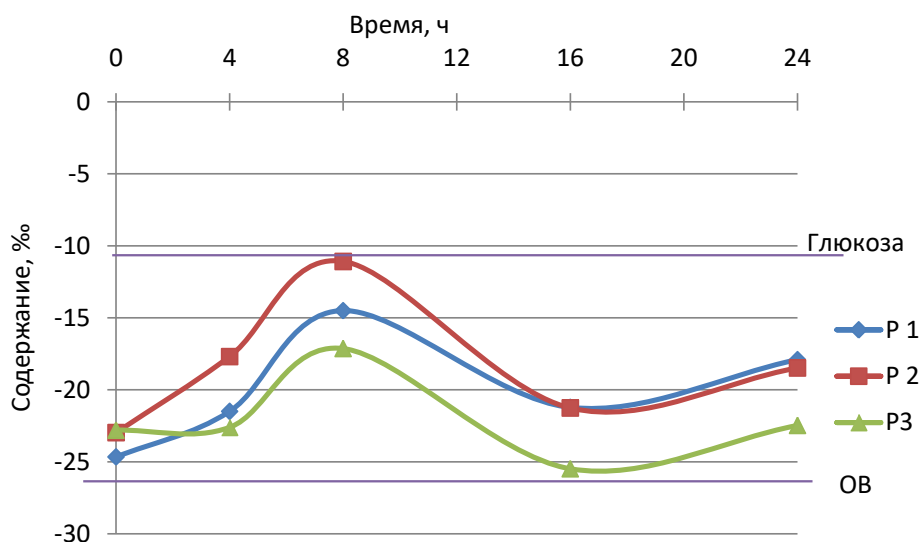


Рис. 1. Изотопный состав  $\delta^{13}\text{C}$  выделившейся  $\text{CO}_2$  при внесении глюкозы в почву

Положительный прайминг-эффект составлял 264% от исходной продукции CO<sub>2</sub> почвы. Поэтому микробная деструкция органического вещества может быть активирована поступлением органических продуктов в почву и достигать значимых размеров.

Процесс потребления глюкозы микроорганизмами характеризовался двумя периодами и разной степенью минерализации. Высокие концентрации солей в почвах влияют на создание специфических микробных сообществ засоленных местообитаний [Сыренжапова, 2022].

Первичный период потребления глюкозы фиксировался в течение 4 часов с максимальным значением 1,68 мг CO<sub>2</sub>/100 г почвы. Во второй период после 8 часов инкубации происходило замедление скорости минерализации. Количество выделившегося CO<sub>2</sub> из верхних слоев почвенных участков было в 12 раз больше и превышало скорость минерализации органического вещества до внесения глюкозы (табл. 3).

Таблица 3

Продуцирование CO<sub>2</sub> на ключевых участках, мг/ч на 100 г почвы

Ключевой участок	Глубина, см	Увлажнение почвы, 60%		Добавление глюкозы 1,5 мг на 1 г почвы			
		сут	1 ч	4 ч	8 ч	16 ч	24 ч
P1	0–20	3,36	0,14	1,68	0,78	0,33	0,20
P2	0–20	2,13	0,08	1,62	0,70	0,24	0,15
P3	0–20	3,06	0,12	1,68	0,83	0,42	0,28

Большое количество выделившегося CO<sub>2</sub> из ключевого участка P3 было связано с большим содержанием C<sub>орг</sub> почвы. Судя по схожему характеру динамики продуцирования CO<sub>2</sub>, микроорганизмы поверхностных горизонтов одинаково откликнулись на внесение глюкозы.

Показано, что при внесении глюкозы в низких (до 47 мкг С/г) и высоких (4,87 мг С/г) концентрациях происходит увеличение выделения CO<sub>2</sub>. Эффект связан или с разложением внесенных соединений, или с окислением органического вещества почв [Vlagodatskaya et al., 2011].

δ<sup>13</sup>C CO<sub>2</sub>, образующийся в процессе деструкции органического вещества и вносимого субстрата (глюкоза) в почву, является чувствительным параметром воздействия и продолжительности влияния этого субстрата на биогеохимические процессы, происходящие в почве.

### Заключение

Изотопный состав углерода δ<sup>13</sup>C почвенных углеродсодержащих продуктов является важным показателем влияния условий среды, связанных с климатическими изменениями. Полученные данные показывают, что внесение глюкозы в почву приводит к увеличению потока CO<sub>2</sub> в атмосферу и способствует деструкции органического вещества. Различия в изотопном составе δ<sup>13</sup>C органического вещества и глюкозы можно использовать для определения образующейся CO<sub>2</sub>

при минерализации растительных остатков в почве. Величины  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CO}_2$ , выделившейся из почвы в процессе разложения растительных остатков, могут быть также использованы для определения разложения растительных остатков и других веществ, попадающих в почву.

### Литература

1. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. Москва : Изд-во МГУ, 1998. 272 с. Текст : непосредственный.
2. Зякун А. М., Дилли О. Использование изотопной масс-спектрометрии для оценки метаболического потенциала почвенной микробиоты // Проблемы аналитической химии: изотопная масс-спектрометрия легких газообразующих элементов / под редакцией В. С. Севастьянова. Москва, 2011. Т. 15. С. 141–167. Текст : непосредственный.
3. Сыренжапова А. С., Норовсурен Ж., Абидуева Е. Ю. Актиномицеты в прибрежных засоленных почвах озера Борзинское (Забайкальский край, Россия) // Экологические проблемы бассейна озера Байкал : материалы всероссийской научной конференции с международным участием (Улан-Удэ, 28 августа — 1 сентября 2022 г.). Улан-Удэ, 2022. С. 107–110. Текст : непосредственный.
4. Хитров Б. Н. Ионно-солевой состав почв в одной навеске // Почвоведение. 1984. № 5. С. 119–127. Текст : непосредственный.
5. Шарков И. Н. Определение интенсивности продуцирования  $\text{CO}_2$  почвой абсорбционным методом // Почвоведение. 1984. № 7. С. 136–143. Текст : непосредственный.
6. Шилова Н. А. Динамика выделения  $\text{CO}_2$  в посевах полевых культур на дерново-подзолистых и торфяных почвах // Почвоведение и агрохимия. 2014. № 1(52). С. 104–113. Текст : непосредственный.
7. Blagodatskaya E., Yuyukina T., Blagodatsky S., Kuzyakov Y. Three-Source-Partitioning of Microbial Biomass and of  $\text{CO}_2$  Efflux From Soil to Evaluate Mechanisms of Priming Effects. *Soil Biol. Biochem.* 2011; 43(4): 778–786. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.12.011.
8. Slater C., Preston T., Weaver T. Stable Isotopes and the International System of Units. *Rapid Communications in Mass Spectrometry.* 2001; 15: 501–519.
9. Song Y., Zou Y., Wang G., Yu X. Altered Soil Carbon and Nitrogen Cycles Due to the Freezethaw Effect: A Meta-Analysis. *Soil Biol. Biochem.* 2017; 109: 35–49. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.01.020.
10. Subedi R., Taupe N., Ikovi I. et al. Chemically and Biologically-Mediated Fertilizing Value of Manure-Derived Biochar. *Sci. Total Environ.* 2016; 550: 924–933.
11. Wang J., Xiong Z., Yan X., Kuzyakov Y. Carbon Budget by Priming in a Biochar-Amended Soil. *Eur. J. Soil Biol.* 2016; 76: 26–34. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2016.07.003.
12. Yanardağ I. H., Zornoza R., Bastida F. et al. Native Soil Organic Matter Conditions the Response of Microbial Communities to Organic Inputs with Different Stability. *Geoderma.* 2017; 295: 1–9. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.02.008.

Статья поступила в редакцию 13.08.2024; одобрена после рецензирования 02.09.2024; принята к публикации 05.09.2024.

STUDY OF  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  CARBON ISOTOPIC COMPOSITION IN SALINE SOILS  
OF THE SELENGA MID-MOUNTAIN REGION

V. B. Dambayev, T. V. Davydov

*Vyacheslav B. Dambayev*

Cand. Sci. (Biol.),

Institute for General and Experimental Biology SB RAS

6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia

astra78plus@mail.ru

*Tuyana V. Davydova*

Cand. Sci. (Biol.),

Institute for General and Experimental Biology SB RAS

6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia

maust678@mail.ru

*Abstract.* Using isotope mass spectrometry methods, we have studied the effect of glucose on microbial degradation of organic matter in saline soils of the Selenga mid-mountain region. Differences in the isotopic composition of glucose ( $\delta^{13}\text{C}$  -10,57‰) and organic matter ( $\delta^{13}\text{C}$  -26,55‰) allowed us to calculate the fluxes of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) formed during their microbial degradation in soil. The highest amount of  $\text{CO}_2$  released was observed in the first 4 hours after application of glucose to the soil, which was 12 times higher than the rate of organic matter degradation before glucose application. The isotopic composition of  $\text{CO}_2$  with a value of -11.08‰ was observed at 8-hour incubation. In the experiment  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CO}_2$  inherits  $\delta^{13}\text{C}$  of organic products used by microorganisms as substrates. The difference in the isotopic composition of exogenous glucose and organic matter contributed  $\delta^{13}\text{C}$  can be used as an isotopic marker to determine the origin of  $\text{CO}_2$  produced during mineralization of plant residues.

*Keywords:* organic matter, carbonates, microbial destruction, stable carbon isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$ ),  $\text{CO}_2$ .

*Acknowledgments*

The study was carried out within the framework of the state assignment No. 121030100229-1.

*For citation*

Dambaev V. B., Davydov T. V. Study of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  Carbon Isotopic Composition in Saline Soils of the Selenga Mid-Mountain Region. *Nature of Inner Asia*. 2024; 2(28): 6–12 (In Russ.). DOI: 10.18101/2542-0623-2024-2-6-12

*The article was submitted 13.08.2024; approved after reviewing 02.09.2024; accepted for publication 05.09.2024.*