

Научная статья
УДК 579.26
DOI: 10.18101/2542-0623-2022-4-38-44

СОСТАВ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 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
slavadmb@rambler.ru

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

Аннотация. Представлены результаты исследования состава стабильных изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}$ органического вещества и карбонатов почв сухих степей Селенгинского среднегорья. Значения $\delta^{13}\text{C}$ почв варьируют от -28,88 до -22,98‰, что свидетельствует о формировании их органического вещества при поступлении биомассы С3-растительности. Фракционирование изотопов углерода в процессе минерализации органического вещества приводит к повышению значений $\delta^{13}\text{C}$ с глубиной. В сухих почвах Селенгинского среднегорья наблюдается выраженное облегчение состава стабильных изотопов углерода органического вещества.

Ключевые слова: органическое вещество, карбонаты, изотопный состав углерода $\delta^{13}\text{C}$, С3 растения, фракционирование изотопов, CO_2 , микробная деструкция.

Благодарности

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

Для цитирования

Дамбаев В. Б., Давыдова Т. В. Состав стабильных изотопов углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ почв Селенгинского среднегорья // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2022. № 4(22). С. 38–44. DOI: 10.18101/2542-0623-2022-4-38-44

Введение

Меченые атомы углерода широко используют в биологии, биогеохимии и почвоведении. В качестве подобных меток используют как радиоактивные изотопы (^{14}C), так и стабильные (^{12}C , ^{13}C). Большинство биологических процессов использует для ферментативных реакций более легкие изотопы, оставляя в субстрате более тяжелые, исследование изотопного состава различных сред обитания организмов дает информацию об интенсивности и направленности биологических процессов [Меняйло, Хангейт, 2006].

Исследования изотопного состава углерода почв необходимы для выяснения механизма процессов почвообразования, оценки роли почвенных организмов в процессах гумификации и минерализации, определения интенсивности круговорота углерода в природе и других процессов.

Целью данной работы являлось исследование изотопного состава углерода $\delta^{13}\text{C}$ почв и растительности сухих степей Селенгинского среднегорья.

Объекты и методы

Объектами исследования являлись почвы сухих степей Селенгинского среднегорья вблизи озера Белое (51°32'86» с. ш. 107°02'54» в. д., высота 536 м над ур. м.). Почвенные образцы были отобраны в северо-восточной оконечности степного озера на участке А1 в 20 м от уреза береговой линии. Почва: приозерный солончак. Образцы почв участка А2 отбирали в 30 м от участка А1 вверх по террасе. Также была изучена несолончаковая почва. Участок А3 был заложен на южном склоне холма севернее оз. Белое. Почва: мучнисто-карбонатная каштановая. Целина 150 см. Травостой низкий.

В моменты отбора проб проводили измерение температуры озерной воды, рН, окислительно-восстановительного потенциала (Еh), а также степень минерализации воды. Для измерения температуры воды применяли сенсорный электротермометр Prima (Португалия), рН — портативный рН-метр (Hanna), окислительно-восстановительного потенциала — портативный редокс-метр ORP, минерализации воды — портативный тестер-кондуктометр TDS-4.

Определение изотопного состава углерода органического вещества почв проводили после удаления корней и карбонатов. Карбонаты разрушали многократной обработкой образцов 1 М HCl, после чего образцы отмывали от кислоты дистиллированной водой с использованием центрифуги. Содержание карбонатов и соотношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ органического вещества определяли на масс-спектрометре FINNIGAN BreathMAT 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 распространенностей изотопов углерода $[^{13}\text{C}]/[^{12}\text{C}]$ 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.

Результаты

$\delta^{13}\text{C}$ CO_2 почв и растительности Селенгинского среднегорья

Климат Селенгинского среднегорья резко континентальный. Жаркие и сухие условия первой половины лета способствуют иссушению почвы. Количество осадков в весенний период (апрель — май) не превышает 50 мм. Основная их часть (до 80%) выпадает в летний период. В степных районах Селенгинского среднегорья среднегодовое количество осадков составляет 200–300 мм. Для всей территории Селенгинского среднегорья характерны недостаточность атмосферного увлажнения, маломощность снежного покрова, сильное промерзание почв в зимний сезон.

Формирование растительности, определяющее поступление органического вещества в почву, зависит от окружающей температуры и суммы осадков. Средняя многолетняя температура воздуха в июле на Селенгинском среднегорье — +20°C. По средней многолетней сумме осадков Селенгинские степи характеризуются как сухие¹.

Температура воды в озере Белое при отборе проб была +23,9°C, значение pH 9,0, минерализация — 1,7 г/л; окислительно-восстановительный потенциал (ОВП): +227 мВ. Озеро представлено карбонатно-гидрокарбонатным типом воды. [Намсараев и др., 2009]. В донных отложениях озера изотопный состав углерода органического вещества был равен -28,65‰, из-за развития водной растительности с C₃-типом фотосинтеза. Углерод карбонатов составлял -10,29‰.

Почвенное дыхание является процессом экосистемы, в результате которого происходит освобождение диоксида углерода из почвы при дыхании корней, почвенных животных, микробиологическом разложении органического вещества и связано с ее продуктивностью, плодородием почвы и циклом углерода. Проведенные полевые исследования по интенсивности дыхания почв представлены в таблице 1.

Таблица 1

Изотопный состав углерода δ¹³C и продуцирование CO₂
в почвах Селенгинского среднегорья

Название участка	Местоположение	Влажность почвы, %	Температура почвы, °C	d ¹³ C ОВ, ‰	d ¹³ C CO ₂ , ‰	CO ₂ мг/м ² х ч
A1	51°32'88" с. ш.; 107°02'57" в. д., 530 м над ур. м.	16,3	+20,5	-22,9	-22,3	22
A2	51°33'06" с. ш.; 107°02'25" в. д., 542 м над ур. м.	8,0	+23	-24,9	-22,7	35
A3	51°33'22" с. ш.; 107°01'46" в. д., 571 м над ур. м.	10,3	+25,7	-27,9	-24,5	43

Интенсивность дыхания в ключевых участках A1 и A2 составляет 22 и 35 мг м² х ч. Наибольшая интенсивность дыхания была замечена у ключевого участка A3, что составляло 43 мг/м² х ч. Минимальное значение интенсивности дыхания в ключевом участке A1 объясняется высоким содержанием солей в почве, вследствие чего растительность изрежена на данном участке. d¹³C выделившегося CO₂ в опытах по продуцированию CO₂ в почвах был равен -24,5‰ и -22,3‰. Почвенный CO₂ и его изотопный состав формируется несколькими источниками: в результате корневого дыхания, разложения органического вещества и, по крайней мере, в самых верхних почвенных горизонтах — диффузией атмосферного

¹ Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 23. Бурятская АССР, Читинская область. Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. 550 с.

CO_2 в почву. В течение года оно прямо или косвенно контролируется температурой и влажностью почвы [Ларионова и др., 2010].

Значение pH водной вытяжки в верхних горизонтах приозерных солончаков достигало 8,9, в нижних горизонтах 9,0 (табл. 2).

Накопление карбонатов особенно велико в приозерном солончаке А1, который находится в 20 м от уреза воды оз. Белое. Вверх по мини-трансекту содержание почвенных карбонатов уменьшается. Наиболее обеднена карбонатами почва А2, расположенная на верхней кромке прибрежной террасы. Так, в профиле А1 выявлен довольно высокий пик содержания карбонатов, достигающий 18,6%. На этом фоне несколько отличается разрез А2. Максимальное содержание карбонатов достигало 6,2%.

Изотопный состав органического углерода солончаков на изученных ключевых участках (А1 и А2) находится в пределах $-21,94 \dots -27,54\text{‰}$, углерода карбонатов по почвенному профилю — в пределах $-6,15 \dots -11,41\text{‰}$.

Распределение $^{13}\text{C}_{\text{ОВ}}$ и $^{12}\text{C}_{\text{ОВ}}$ по профилю изученных почв в целом равномерное, но проявляет легкий тренд в сторону утяжеления $d^{13}\text{C}_{\text{ОВ}}$ к верхним слоям почвы. Однако распределение $d^{13}\text{C}$ почвенных карбонатов в разрезах подвержено существенным вариациям. По профилю солончаков $d^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ изменяется скачкообразно, выявляя участки облегчения $d^{13}\text{C}$ и утяжеления $d^{13}\text{C}$.

Таблица 2

Изотопный состав углерода ^{13}C приозерных солончаков

№ разреза	Глубина взятия образца, см	pH водн.	Содержание карбонатов, %	$d^{13}\text{C}$ неорган, ‰	$d^{13}\text{C}$ ОВ, ‰
А1	0-19	8,9	2,9	-6,54	-22,98
	19-41	9,5	2,4	-6,95	-21,94
	41-49	9,0	12,9	-7,60	-23,65
	49-61	9,2	2,7	-8,88	-23,94
	61-84	9,2	18,6	-6,29	-26,52
	84-100	9,0	7,1	-8,50	-27,54
А2	0-9	7,7	6,2	-6,15	-24,24
	9-20	7,9	4,7	-9,0	-25,59
	20-52	8,0	1,1	-8,77	-25,12
	52-62	8,7	0,3	-11,41	-24,64
	62-76	8,9	0,3	-9,64	-24,19
	76-100	7,9	1,1	-8,38	-26,86

Значение pH среды почвы на ключевом участке А3 варьирует от нейтральной в верхних горизонтах до слабощелочной, щелочной в нижних горизонтах (табл. 3). Верхний слой характеризуется небольшой мощностью гумусового горизонта. Основное содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ приходится на верхние почвенные горизонты (в слое почвы 0–17 см). Распределение органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$) по профилю исследуемых почв демонстрирует следующие закономерности: количество ($\text{C}_{\text{орг}}$) резко убывает за пределами гумусовых горизонтов почв, с дальнейшим плавным

снижением вниз по профилю. Отмечаются относительные всплески содержания $C_{орг}$ в гумусовых горизонтах погребенных почв.

Значения $\delta^{13}C$ органического вещества исследуемых почв верхних горизонтов (0–17 см) колеблются в пределах -28,80‰. Вниз по почвенному горизонту наблюдается обогащение ^{13}C до -17,10‰.

Почвы исследуемых степных почв существенно различаются по содержанию карбонатов и глубине их залегания. Значительное количество карбонатов 27,2–32,8% обусловлено высоким содержанием кальция и магния.

Таблица 3

Изотопный состав углерода ^{13}C почвы сухих степей
Селенгинского среднегорья

Глубина, см	pH	Содержание карбонатов, % на 100 г почвы	Углерод карбонатов, % на 100 г почвы	^{13}C карбонатов, ‰	ОВ, % на 100 г минеральной части почвы	^{13}C ОВ, ‰
0–8	7,17	0,11	0,006	-	27,55	-28,80
8–17	7,33	-	-	-	20	-27,07
17–27	7,46	0,066	0,004	-	11,19	-27,43
27–36	7,4	2,2	0,134	-15,65	13,32	-27,70
36–46	7,60	18,5	1,12	-13,12	11,18	-24,52
46–56	8,06	27,1	1,65	-13,08	8,63	-27,99
56–66	8,59	20,5	1,24	-10,13	6,21	-26,80
66–76	8,82	17,3	1,05	-11,16	4,66	-25,30
76–86	9,14	32,8	1,99	-13,26	5,85	-26,18
86–96	9,37	27,2	1,65	-10,00	11,01	-18,30
96–106	9,49	19,5	1,18	-9,43	4,78	-25,15
106–116	9,70	14,3	0,87	-9,07	5,62	-22,62
116–126	9,66	15,6	0,95	-9,93	3,29	-25,65
126–136	9,61	15,1	0,91	-8,96	2,28	-26,96
135–146	9,69	15,3	0,93	-9,64	7,67	-17,19
146–150	9,52	18,05	1,09	-8,32	11,47	-17,10

Изотопный состав $\delta^{13}C$ карбонатных слоев исследуемых почв по сравнению с органическим веществом представлен более низкими значениями -8,32...–15,65‰, что свидетельствуют о высоком содержании в них тяжелого изотопа углерода ^{13}C .

Важным фактором, оказывающим влияние на состав стабильных изотопов углерода органического вещества почв, является фракционирование изотопов углерода в ходе минерализации органического вещества. Исследования внутрипрофильных закономерностей распределения стабильных изотопов углерода показывают общую тенденцию к снижению значений $\delta^{13}C$ с глубиной. Это объясняется повышенным накоплением более разложившихся (или микробная деструкция) органических соединений в нижних горизонтах после потери углерода на дыхание. С глубиной эффект фракционирования увеличивается и связано с фракционированием

изотопов в процессе дыхания биоты, разлагающей почвенные органические соединения [Моргун и др., 2008].

Изотопный состав углерода органического вещества почв служит индикатором направленности смен растительных сообществ в зависимости от климата, так как напрямую зависит от типа произрастающей растительности и ее фотосинтеза [Ковда и др., 2011]. $\delta^{13}\text{C}$ растительности равен $-27,57\text{‰}$, что свидетельствует об абсолютном преобладании в данных сообществах растений с С3-типом фотосинтеза. Так, С3-растения имеют конкурентные преимущества в условиях низкой температуры, высокой влажности и высокой концентрации CO_2 в атмосфере. Значения $\delta^{13}\text{C}$ для их биомассы колеблются от -22 до -35‰ .

Заключение

Значительное влияние на состав стабильных изотопов органического вещества почв оказывает фракционирование изотопов в ходе минерализации органического вещества. Минимальные значения $\delta^{13}\text{C}$ характерны для гумусовых горизонтов почв. Вниз по профилю наблюдается утяжеление изотопного состава углерода, которое в нижних частях профилей некоторых почв иногда вновь сменяется облегчением. Органическое вещество почв Селенгинского среднегорья характеризуется утяжелением изотопного состава углерода из-за сухих климатических условий.

Результаты данных исследований могут быть использованы также в качестве индикаторов экологических процессов по выявлению степени воздействия антропогенного фактора (пастбищных нагрузок) на растительный покров и в целом по определению структуры и функционального состояния природных экосистем.

Литература

1. Изменение изотопного состава углерода органического вещества и карбонатов почв в пределах слабого дрейфа климатических параметров / И. В. Ковда, С. А. Олейник, Н. И. Голубева и др. // Известия РАН. Серия географическая, 2011. № 2. С. 51–64. Текст : непосредственный.
2. Эмиссия диоксида углерода из агросерых почв при изменении климата / А. А. Ларионова, И. Н. Курганова, В. О. Лопес де Гереню и др. // Почвоведение, 2010. № 2. С. 1–10. Текст : непосредственный.
3. Меняйло О. В., Хангейт Б. А. Стабильные изотопы углерода и азота в лесных почвах Сибири // Доклады Академии наук, 2006. Т. 408, № 5. С. 671–674. Текст : непосредственный.
4. Возможности и проблемы использования методов геохимии стабильных изотопов углерода в почвенных исследованиях (обзор литературы) / Е. Г. Моргун, И. В. Ковда, Я. Г. Рысков, С. А. Олейник // Почвоведение, 2008. № 3. С. 299–310. Текст: непосредственный.
5. Краткая характеристика исследованных озер / Б. Б. Намсараев, В. В. Хашинов, Д. Д. Бархутова, В. Б. Дамбаев // Солончатые и соленые озера Забайкалья: гидрохимия, биология. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2009. С. 34–56. Текст : непосредственный.
6. Хитров Б. Н. Ионно-солевой состав почв в одной навеске // Почвоведение, 1984. № 5. С. 119–127. Текст : непосредственный.
7. Slater C., Preston T., Weaver T. Stable isotopes and the international system of units // Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2001; 15: 501–519.

Статья поступила в редакцию 12.10.2022; одобрена после рецензирования 02.11.2022; принята к публикации 25.11.2022.

COMPOSITION OF STABLE CARBON ISOTOPES $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$
IN SOILS OF THE SELENGA HIGHLANDS

V. B. Dambaev, T. V. Davydov

Vyacheslav B. Dambaev

Cand. Sci. (Biol.),

Institute of General and Experimental Biology SB RAS

6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia

slavadmb@rambler.ru

Tuyana V. Davydova

Cand. Sci. (Geogr.),

Institute for General and Experimental Biology SB RAS

6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia

maust678@mail.ru

Abstract. The article presents the results of studying the composition of stable carbon isotopes $\delta^{13}\text{C}$ of organic matter and carbonates of soils of the Selenga Highlands. The $\delta^{13}\text{C}$ values of soils vary from -28.88 to -22.98‰, which indicates the formation of their organic matter when the C3 plant biomass enters. Fractionation of isotopes during the mineralization of organic matter leads to an increase in $\delta^{13}\text{C}$ values with the depth. At the same time, in soils formed under steppe landscapes, the increase in $\delta^{13}\text{C}$ is about 3‰. In dry soils of the Selenga Highlands, a pronounced lightening of the composition of stable carbon isotopes of organic matter is observed.

Keywords: organic matter, carbonates, carbon isotopic composition $\delta^{13}\text{C}$, C3 plants, microbial destruction, halophytic ecosystems.

Acknowledgments.

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

For citation

Dambaev V. B., Davydov T. V. Composition of Stable Carbon Isotopes $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ in Soils of the Selenga Highlands. *Nature of Inner Asia*. 2022; 4(22): 38–44.

DOI: 10.18101/2542-0623-2022-4-38-44

The article was submitted 12.10.2022; approved after reviewing 02.11.2022; accepted for publication 25.11.2022.