

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.417.7:631.433.3
doi: 10.17223/19988591/37/1

А.Г. Шепелев¹, Л.М. Самохвалова²

¹Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия

²Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Россия

Взаимосвязи дыхания чернозема с составом органического вещества почвы в условиях центральной лесостепи Западной Сибири

Представлены данные полевых экспериментов и рассмотрены различные фракции легкоминерализуемого органического вещества почвы, оказывающие влияние на дыхание чернозема выщелоченного в период май–сентябрь. Суммарные потери углерода в виде CO₂ из почвы зернового агроценоза определялись поступлением свежих растительных остатков в почву и зависели в большей степени от углерода мортмассы и детрита. Для оценки зависимости изучаемых показателей использовались коэффициенты корреляции и регрессионные модели, принятые в статистическом анализе. Полученные регрессионные уравнения показали прямолинейную зависимость между дыханием почвы и фракциями легкоминерализуемого органического вещества. Результаты исследования свидетельствуют о том, что в первую очередь из состава органического вещества почвы расходуется фракция углерода мортмассы.

Ключевые слова: дыхание почвы; углерод лабильный; углерод детрита; углерод мортмассы.

Введение

Органическое вещество и его основной компонент – гумус представляют собой сложный динамический комплекс органических соединений, образовавшихся при разложении и гумификации остатков растительного и животного происхождения. Решающая роль в накоплении почвенного органического вещества принадлежит травянистой растительности. В сравнении с биоценозами поступление растительного вещества в почву агроценозов значительно снижается из-за его отчуждения с поля. Показано [1], что в агроценозах лесостепи в почву поступает в 3–4 раза меньше растительного вещества в сравнении с их естественными аналогами. Резкое снижение при-

хода углерода в почвы агроценозов является наиболее важным фактором, определяющим специфику процессов трансформации почвенного органического вещества и активность гетеротрофных микроорганизмов.

Установлено, что со временем после распашки целины или залежи потери гумуса постепенно замедляются и спустя несколько десятилетий его содержание в почве стабилизируется. Основная причина заключается в значительном повышении консервативности органического вещества (устойчивости к разложению) вследствие утраты большей части его легкоминерализуемой фракции. Она представлена в основном свежими и полугумифицированными растительными остатками и подвижными гумусовыми веществами. Легкоминерализуемое органическое вещество почвы (ЛОВ), содержание которого в старопашотных черноземах составляет всего лишь несколько процентов от запаса общего углерода, выполняет в почве роль своеобразного стабилизатора содержания гумуса [2–4].

Прямым и наиболее достоверным методом оценки минерализации (потерь) органического вещества почвы является регистрация потока, выделяющегося CO_2 . Многочисленными исследованиями было установлено [5–11], что масштабы минерализации органического вещества в почве определяются в значительной степени гидротермическими условиями вегетационного периода, причем влияние температуры выражено значительно сильнее, чем влажности почвы. Менее изученной является роль различных фракций почвенного органического вещества в интенсивности минерализационных процессов, происходящих в почве [9, 12–15].

Цель настоящей работы – выявить зависимости между суммарными потерями углерода в форме CO_2 и фракциями ЛОВ почвы посредством решения уравнений регрессии. Также важно понять, какая из перечисленных фракций оказывает в значительной степени большее влияние на дыхание почвы в условиях центральной лесостепи Западной Сибири.

Материалы и методики исследования

Исследования проводили в период 2007–2009 гг. в многофакторном полевом стационарном опыте ГНУ СибНИИЗиХ Россельхозакадемии, заложенном в 2001 г. на чернозёме выщелоченном среднесуглинистом в ОПХ «Элитное» Новосибирской области (к югу от г. Новосибирска), на левом берегу р. Оби. Географические координаты стационарного опыта: $54^{\circ}55'26''$ с. ш., $82^{\circ}57'11''$ в. д. В почвенно-географическом районировании исследуемая территория относится к суббореальному (умеренному) поясу Центральной лесостепной и степной областей, к Предалтайской лесостепной провинции черноземов оподзоленных, выщелоченных и серых лесных почв [16].

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднemosный среднегумусный среднесуглинистый. Агрохимические показатели почвы приведены для слоя 0–28 см, содержание: гумуса – 5,8%, $\text{N}_{\text{общ}}$ – 0,30%, P_2O_5 и

K₂O (по Чирикову) – 23 и 18 мг/100 г почвы соответственно, рН – близкий к нейтральному.

Суммарные за вегетационный период (май–сентябрь) потери углерода из почвы агроценоза в виде CO₂ рассчитывали на основании показателей среднесуточной скорости продуцирования CO₂, которую измеряли на 4 парующихся делянках 1 раз в неделю в 4-кратной повторности абсорбционным методом [17].

Для определения фракций ЛОВ смешанные почвенные образцы отбирали из слоя почвы 0–25 см каждый год (в течение 3 лет) в 5-кратной повторности с 4 парующихся делянок. Образцы высушивали и пропускали через сито с диаметром ячейки 2 мм. В полученных образцах определяли содержание углерода в почве: общего – методом Тюрина в модификации Никитина [18], лабильного – в 0,1 н. NaOH вытяжке [19], детрит – по методу Ганжары и соавт. [20], мортмассы – путем отмывки негумифицированного органического вещества водой на сите с диаметром ячеек 0,25 мм [21].

Для понимания терминов, используемых в статье, приведем их определение. Детрит – промежуточные продукты разложения и гумификации источников гумуса, не связанные с минеральной частью почвы [22].

Мортмасса – свежие и полуразложившиеся остатки, не утратившие анатомического строения, отделяемые от почвы методом декантации водой на сите с диаметром ячеек 0,25 мм [23].

Статистическая обработка полученных данных проводилась в программе StatSoft STATISTICA for Windows 6.1. Данные представлены в виде средних арифметических со стандартными отклонениями.

Результаты исследования и обсуждение

Для территории России с умеренным климатом на долю вегетационного периода приходится 58–78% годовых минерализационных потерь CO₂ из почвы. Довольно значительное количество углекислого газа выделяется из почвы вне вегетационного периода [24]. Можно полагать, что в Сибири доля CO₂, приходящаяся на вегетационный период, будет существенно больше, поскольку в соответствии с ходом температуры микробиологические процессы в почве резко затухают осенью и также резко возобновляются весной.

В наших опытах (в среднем за 3 года исследований) наблюдался общий вектор дыхания почвы в агроценозе, и в зависимости от года мониторинга динамика месячных потерь C-CO₂ варьировала в различных пределах (табл. 1). Усредненные данные за весь период наблюдений показали, что наименьшие потери углерода зарегистрированы в мае. С установлением равновесного состояния почвы в июне эмиссия CO₂ увеличилась на 59% по сравнению с маем. Еще более значительно потери углерода возросли в июле, поскольку на этот период приходится высокая микробиологическая активность. В сравнении с июлем в августе было зафиксировано снижение

минерализационных потерь углерода из органического вещества почвы – на 17%. В сентябре эмиссия CO_2 была близка к значениям мая. Безусловно, дыхание почвы зависит от ряда других причин, существенной из которых является поступление в почву агроценоза растительных остатков, оставшихся после уборки урожая. Продукция агроценозов по сравнению с естественными растительными формациями отличается одновидовым составом растений и отчуждением значительной части продукции, что сказывается на количестве поступающего растительного материала в почву. Тем не менее оставление в агроценозе пожнивных растительных остатков способствует формированию ЛОВ почвы, которое через определённый интервал времени вовлекается в почвенные процессы, например минерализационные, и в конечном итоге обнаруживается в составе гумуса почвы [25–27].

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

**Среднемесячные потери углерода из органического вещества
почвы агроценоза, C-CO_2 кг/га**
[Average carbon loss from soil organic matter of agrocenosis, C-CO_2 kg/ha]

Годы наблюдений [Years of observation]	Май [May]	Июнь [June]	Июль [July]	Август [August]	Сентябрь [September]	Сумма [Sum]
2007	369±78	427±65	794±214	628±193	403±130	2621±701
2008	439±100	437±101	764±135	612±125	579±192	2831±637
2009	317±62	920±264	828±305	740±311	379±72	3184±925
В среднем за 2007–2009 гг. [On average in 2007-2009]	375±91	595±127	795±176	660±227	454±147	2879±703

Примечание. Здесь и далее: ± – стандартное отклонение.
[Note. Here and hereinafter. ± - standard deviation].

Понятно, что со временем минерализационные потери органического вещества почвы снижаются, вызвано это постепенным истощением количества легкоминерализуемых соединений, прежде всего запасов негумифицированного органического вещества (мортмассы). Следовательно, суммарная продукция углекислого газа из почвы напрямую зависит от количества, степени разложения и времени пребывания ЛОВ в почве. Более того, как было показано ранее [3, 4], увеличение поступления растительной биомассы сопровождается некоторым повышением содержания легкоминерализуемой фракции и как следствие резким возрастанием в почве скорости процесса минерализации органического вещества, что исключает значительное накопление в ней углерода. Существует и другая точка зрения авторов [28], что почвенные системы (например, почвы под агроценозами), которые обеспечивают меньший вклад в атмосферный углекислый газ, имеют меньшие потери лабильного углерода, в результате в почве накапливается больше ор-

ганического вещества. На самом деле это не так, как было установлено [3] с помощью меченной ^{14}C соломы; накопить значительное количество углерода за счет растительных остатков в почве агроценоза невозможно вне зависимости от того, сколько поступает растительных остатков. Это связано с тем, что через определенный период аккумуляция углерода в почве практически прекращается и устанавливается равновесие между количеством поступающего в почву углерода и углерода органического вещества, теряющегося из почвы вследствие процесса минерализации.

Процесс минерализации органического вещества в почве агроценоза, осуществляемый микробной фауной, приводит к эксплицитным изменениям в составе ЛОВ почвы. Органическое вещество же в почве представлено различными по составу и происхождению фракциями и группами, имеющими отличительную устойчивость к биологическому распаду, что порой сложно определить детальные причины, воздействующие на изучаемые объекты, с помощью прямых методов. Следовательно, для определения и описания причин, влияющих в нашем случае на суммарные потери углерода, используется статистический метод.

В результате 3-летних исследований, составленных на основании измерений потока CO_2 и содержания ЛОВ почвы, было обнаружено, что суммарные потери углерода в виде CO_2 из почвы слагаются в большей степени из органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$), углерода детрита ($\text{C}_{\text{дет}}$) и мортмассы ($\text{C}_{\text{морт}}$) (табл. 2).

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

Действие фракций легкоминерализуемого органического вещества на дыхание почвы
[Effect of easily mineralized organic matter fractions on soil respiration]

Фракции легкоминерализуемого органического вещества почвы [Fractions of easily mineralized soil organic matter]	Коэффициенты корреляции фракций легкоминерализуемого органического вещества почвы с C-CO_2 [Correlation coefficients of easily mineralized soil organic matter fractions with C-CO_2]	t	p	r^2	n	Уравнения регрессии [Regression equations]
$\text{C}_{\text{орг}}$, % [Organic carbon, %]	0,6	1,6	0,19	0,4	6	$y = -4355,3 + 1930,8x$
Углерод лабильный, мг/кг [Labile carbon, mg/kg]	0,4	1,0	0,37	0,2	6	–
Углерод детрита, мг/кг [Carbon in detritus, mg/kg]	0,7	2,2	0,09	0,5	6	$y = 817,20 + 1,4446x$
Углерод мортмассы, мг/кг [Carbon in mortmass, mg/kg]	0,8	2,5	0,07	0,6	6	$y = 1389,2 + 2,055x$

Примечание. t – критерий Стьюдента; p – уровень статистической значимости; r^2 – коэффициент детерминации; n – число наблюдений; y – дыхание почвы за период май–сентябрь, кг/га; x – фракция ЛОВ почвы, мг/кг.

[Note. t - Student's t-test, p - statistical significance level, r^2 - coefficient of determination, n - number of observations, y - soil respiration during the period of May-September, kg/ha, x - soil fraction mg/kg].

Средством статистического описания полученных рядов для экспериментальных данных использовалось уравнение регрессии первого порядка, так как уравнения более высоких порядков не приводили к повышению точности результатов, определяющих зависимость дыхания почвы от содержания ЛОВ.

Из приведенного материала следует, что зависимость между откликом дыхания почвы и лабильным углеродом ($C_{\text{лаб}}$) является слабой – $r^2 = 0,2$, для $C_{\text{орг}}$, $C_{\text{дет}}$ и $C_{\text{морг}}$ она составляет среднюю зависимость. Экспериментальная зависимость показателей оценивалась по коэффициентам корреляции, которые варьировали в пределах от 0,4 до 0,8 – средняя связь. Построенная модель не выявила статистически значимых связей дыхания почвы с изучаемыми фракциями ЛОВ почвы, поскольку уровни значимости больше 0,05, соответственно вклад фракций в дыхание почвы минимален. Возможно, это связано с постепенным процессом деструкции различных по степени устойчивости фракций органического вещества почвы; вначале используются легкоминерализуемые фракции, а после их утраты в процесс минерализации включаются устойчивые (трудноминерализуемые) соединения.

Регрессионные уравнения, характеризующие дыхание почвы с фракциями ЛОВ, показали прямолинейную зависимость, что указывает на существенные потери углерода в результате минерализации органического вещества почвы. В конечном итоге дыхание почвы является результатом сопряженных процессов: с одной стороны, поступлением растительного материала, а с другой – минерализацией органического вещества почвы, что согласуется с выводами зарубежных исследователей [29].

Заключение

Проведенный регрессионный анализ показал преобладание роли углерода мортмассы и детрита в суммарных потерях углерода в виде CO_2 из чернозема выщелоченного по сравнению с его лабильной фракцией. Использование статистического метода позволило в приближенном значении смоделировать влияние различных показателей почвенного органического вещества на дыхание почвы. Рассмотренные в совокупности фракции органического вещества почвы и потери CO_2 с точки зрения статистического моделирования способствовали выявить зависимости в изучаемых показателях.

Литература

1. Титлянова А.А., Кирюшин В.И., Охинько И.П., Андриевский В.С., Афанасьев Н.А., Быкадоров Л.В., Гантимурова Н.И., Клевенская И.Л., Лебедева И.Н., Линник В.Г., Мордкович В.Г., Мордкович Г.Д., Наумов А.В., Ревенский Л.Е., Тихомирова Н.А., Фролова Р.А., Шибарева С.В., Шушуева М.Г. Агроценозы степной зоны. Новосибирск: Наука, 1984. 246 с.
2. Шарков И.Н. Удобрения и проблема гумуса в почвах // Почвоведение. 1987. № 11. С. 70–81.

3. Шарков И.Н., Букреева С.Л., Данилова А.А. Роль легкоминерализуемого органического вещества в стабилизации запасов углерода в пахотных почвах // Сибирский экологический журнал. 1997. № 4. С. 363–368.
4. Paterson E., Sim A. Soil-specific response functions of organic matter mineralization to the availability of labile carbon // *Global Change Biology*. 2013. Vol. 19, № 5. PP. 1562–1571.
5. Jong E., Schappert H.J.V., Macdonald K.B. Carbon dioxide evolution from virgin and cultivated soil as affected by management practices and climate // *Can. J. Soil Sci.* 1974. Vol. 54, № 3. PP. 299–307.
6. Singh J.S., Gupta S.R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems // *Bot. Rev.* 1977. Vol. 43, № 4. PP. 449–528.
7. Buyanovsky C.A., Wagner C.H. Annual cycles of carbon dioxide level in soil air // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1983. Vol. 47, № 6. PP. 1139–1145.
8. Макаров Б.Н. Газовый режим почвы. М. : Агропромиздат, 1988. 104 с.
9. Kurganova I.N., Kudiyarov V.N., Lopes De Gerenyu V.O. Updated estimate of carbon balance on Russian territory // *Tellus, series B: chemical and physical meteorology*. 2010. Vol. 62, № 5. PP. 497–505.
10. Lecki N.A., Creed I.F. Forest soil CO₂ efflux models improved by incorporating topographic controls on carbon content and sorption capacity of soils // *Biogeochemistry*. 2016. Vol. 129. PP. 307–323.
11. Giardina C.P., Litton C.M., Crow S.E., Asner G.P. Warming-related increases in soil CO₂ efflux are explained by increased below-ground carbon flux // *Nature Climate Change*. 2014. Vol. 4. PP. 822–827.
12. Qiao N., Schaefer D., Blagodatskaya E., Zou X., Xu X., Kuzyakov Ya. Labile carbon retention compensates for CO₂ released by priming in forest soils // *Global Change Biology*. 2013. Vol. 20, № 6. PP. 1943–1954.
13. Stockmann U., Adams M.A., Crawford J.W., Field D.J., Henakaarchchi N., Jenkins M., Minasny B., McBratney A.B., Remy de Courcelles V. de, Singh K., Wheeler I., Abbott L., Angers D.A., Baldock J., Bird M., Brookes P.C., Chenu C., Jastrow J.D., Lal R., Lehmann J., O'Donnell A.G., Parton W.J., Whitehead D., Zimmermann M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2013. Vol. 164. PP. 80–99.
14. Riley W.J., Maggi F., Kleber M., Torn M.S., Tang J.Y., Dwivedi D., Guerry N. Long residence times of rapidly decomposable soil organic matter: application of a multi-phase, multi-component, and vertically resolved model (BAMS1) to soil carbon dynamics // *Geosci. Model Dev.* 2014. Vol. 7. PP. 1335–1355.
15. Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter // *Nature*. 2015. Vol. 528. PP. 60–68.
16. Почвенно-географическое районирование СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель) / отв. ред. П.А. Летунов. М. : Издательство Академии наук СССР, 1962. 422 с.
17. Шарков И.Н. Абсорбционный метод определения эмиссии CO₂ из почв // *Методы исследований органического вещества почв*. М. : Россельхозакадемия, ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. С. 401–407.
18. Никитин Б.А. Метод определения гумуса почвы // *Агрохимия*. 1999. № 5. С. 91–93.
19. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л. : Наука, 1980. 220 с.
20. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Шевченко А.В. Метод определения содержания и состава мобильных форм органических веществ в почвах // *Известия ТСХА*. 1987. Вып. 1. С. 173–177.
21. Шарков И.Н., Самохвалова Л.М., Шепелев А.Г. Изучение изменений содержания лабильного органического вещества в почве при использовании ее в различных севооборотах // *Проблемы рационального использования малоплодородных земель: материалы междунар. науч.-практ. конф. Омск, 2009*. С. 98–102.

22. Ганжара Н.Ф. Почвоведение. М. : Агроконсалт, 2001. 392 с.
23. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / В.Н. Кудяров, Г.А. Заварзин, С.А. Благодатский, А.В. Борисов, П.Ю. Воронин, В.А. Демкин, Т.С. Демкина, И.В. Евдокимов, Д.Г. Замолотчиков, Д.В. Карелин, А.С. Комаров, И.Н. Курганова, А.А. Ларионова, В.О. Лопес де Гереню, А.И. Уткин, О.Г. Чертов ; отв. ред. Г.А. Заварзин. М. : Наука, 2007. 315 с.
24. Шарков И.Н. Влияние ежегодного внесения растительных остатков на накопление органического вещества в почве (опыты с ^{14}C) // Почвоведение. 1996. № 9. С. 1073–1077.
25. Борисов Б.А., Ганжара Н.Ф. Географические закономерности распределения и обновления легкоразлагаемого органического вещества целинных и пахотных почв зонального ряда европейской части России // Почвоведение. 2008. № 9. С. 1071–1078.
26. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М. : ГЕОС, 2015. 233 с.
27. Lirwayi N.Z., Rica W.A., Clayton G.W. Soil microbial biomass and carbon dioxide flux, under wheat as influenced by tillage and crop rotation // Can. J. Soil. Sci. 1999. Vol. 79, № 2. PP. 273–280.
28. Фрунзе Н.И. Интенсивность выделения диоксида углерода из чернозёма карбонатного при внесении удобрений // Агрохимия. 2007. № 2. С. 43–48.
29. Jan van Groenigen K., Qi X., Osenberg C.W., Luo Y., Hungate B.A. Faster Decomposition Under Increased Atmospheric CO_2 Limits Soil Carbon Storage // Science. 2014. Vol. 344. PP. 508–509.

Поступила в редакцию 12.09.2016 г.; повторно 12.11.2016 г.;
принята 26.01.2017 г.; опубликована 25.03.2017 г.

Авторский коллектив:

Шепелев Андрей Геннадиевич – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории криогенных ландшафтов Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (Россия, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36).

E-mail: carbon-shag@yandex.ru

Самохвалова Людмила Михайловна – с.н.с. лаборатории плодородия почв Сибирского научно-исследовательского института земледелия и химизации Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий РАН (Россия, 630501, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., а/я 356).

E-mail: ludda47@mail.ru

Shepelev AG, Samokhvalova LM. Relationship between chernozem respiration and soil organic matter composition in the central forest-steppe of Western Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;37:6-16. doi: 10.17223/19988591/37/1 In Russian, English summary

Andrey G. Shepelev¹, Lyudmila M. Samokhvalova²

¹Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Sakha Republic, Russian Federation

²Siberian Research Institute of Agriculture and Chemicals used in Agriculture, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk oblast, Russian Federation

Relationship between chernozem respiration and soil organic matter composition in the central forest-steppe of Western Siberia

The aim of this work was to identify the relationship between the total loss of carbon in the form of CO_2 and fractions of easily mineralized soil organic matter (labile carbon, mortmass carbon, detritus carbon) by solving regression equations. It

was also important to understand which of the above-mentioned fractions has a greater impact on soil respiration in the central forest-steppe of Western Siberia. We carried out investigations in the period of 2007-2009, in a multivariate stationary field experiment, started in 2001 on leached chernozem in Novosibirsk oblast (south of the city of Novosibirsk), on the left bank of the Ob' river (54°55'26.6"N, 82°57'11.1"E). In the soil-geographical zoning, the studied area belongs to the subboreal zone of the Central forest-steppe and steppe areas and the Prealtay forest-steppe zone of chernozems of podzolized, leached and grey forest soils.

In our experiments (on average through 3 years of studies), we observed a general soil respiration vector in agrocenosis, and depending on the year of monitoring, variation of monthly C-CO₂ loss dynamics in different ranges. The average data for the entire period of observations showed that the smallest carbon losses were recorded in May. With the establishment of the equilibrium state of soil in June, CO₂ emissions increased by 59% compared with May. Carbon loss increased even more significantly in July, because at this period microbiological activity is at its highest. Compared with July, a decrease in carbon mineralization loss from soil organic matter by 17% was recorded in August. In September, CO₂ emission was close to the values of May. Certainly, soil respiration depends on a number of other reasons, the most significant of them being the release of plant residues left after harvesting into agrocenosis soil.

Our research shows that the dependence between the response of soil respiration and labile carbon is weak - $r^2=0.2$, for organic carbon, mortmass carbon and detritus carbon there exists high dependence - $r^2=0.4-0.6$. The experimental dependence of the parameters was evaluated by correlation coefficients, which ranged from 0.4 to 0.8 - the average relationship. The constructed model did not reveal statistically significant connection of soil respiration with the studied easily mineralized soil organic matter fractions, because the significance levels exceeded 0.05, therefore, the contribution of fractions to soil respiration was minimal. This may be due to the gradual process of destruction of soil organic matter fractions different in their degree of stability. In the beginning, easily mineralized fractions are used, and after their loss, stable compounds are included in the mineralization process. Regression equations describing soil respiration with easily mineralized organic matter fractions showed linear relationship, indicating a significant loss of carbon as a result of soil organic matter mineralization. Our regression analysis showed a predominance of the role of mortmass carbon in carbon total losses in the form of CO₂ from the leached chernozem as compared to the labile carbon fraction.

The article contains 2 Tables, 29 References.

Key words: soil respiration; labile carbon; detritus carbon; mortmass carbon.

References

1. Titlyanova AA, Kiryushin VI, Okhin'ko IP, Andrievskiy VS, Afanas'ev NA, Bykadorova LV, Gantimurova NI, Klevenskaya IL, Lebedeva IN, Linnik VG, Mordkovich VG, Mordkovich GD, Naumov AV, Revenskiy LE, Tikhomirova NA, Frolova RA, Shibareva SV, Shushueva MG. Agrotsenozy stepnoy zony [Agrocenoses of steppe zone]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1984. 246 p. In Russian
2. Sharkov IN. Udobreniya i problema gumusa v pochvakh [Fertilizers and the problem of humus in soil]. *Pochvovedenie*. 1987;11:70-81. In Russian
3. Sharkov IN, Bukreeva SL, Danilova AA. Rol' legkomineralizuemogo organicheskogo veshchestva v stabilizatsii zapasov ugleroda v pakhotnykh pochvakh [Role of easily mineralized organic matter in the stabilization of carbon stocks in arable soils]. *Sibirskiy Ekologicheskiy Zhurnal*. 1997;4:363-368. In Russian

4. Paterson E, Sim A. Soil-specific response functions of organic matter mineralization to the availability of labile carbon. *Global Change Biology*. 2013;19:1562-1571. doi: [10.1111/gcb.12140](https://doi.org/10.1111/gcb.12140)
5. Jong E, Schappert HJV, Macdonald KB. Carbon dioxide evolution from virgin and cultivated soil as affected by management practices and climate. *Can. J. Soil Sci.* 1974;54(3):299-307. doi: [10.4141/cjss74-039](https://doi.org/10.4141/cjss74-039)
6. Singh JS, Gupta SR. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *Bot. Rev.* 1977;43(4):449-528. doi: [10.1007/BF02860844](https://doi.org/10.1007/BF02860844)
7. Buyanovsky CA, Wagner CH. Annual cycles of carbon dioxide level in soil air. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1983;47(6):1139-1145. doi: [10.2136/sssaj1983.03615995004700060016x](https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700060016x)
8. Makarov BN. Gazovyy rezhim pochvy [Gas regime of soil]. Moscow: Agropromizdat Publ.; 1988. 104 p. In Russian
9. Kurganova IN, Kudeyarov VN, Lopes De Gerenyu VO. Updated estimate of carbon balance on Russian territory. *Tellus, series B: chemical and physical meteorology*. 2010;62(5):497-505. doi: [10.1111/j.1600-0889.2010.00467.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2010.00467.x)
10. Lecki NA, Creed IF. Forest soil CO₂ efflux models improved by incorporating topographic controls on carbon content and sorption capacity of soils. *Biogeochemistry*. 2016;129:307-323. doi: [10.1007/s10533-016-0233-5](https://doi.org/10.1007/s10533-016-0233-5)
11. Giardina CP, Litton CM, Crow SE, Asner GP. Warming-related increases in soil CO₂ efflux are explained by increased below-ground carbon flux. *Nature Climate Change*. 2014;4:822-827. doi: [10.1038/nclimate2322](https://doi.org/10.1038/nclimate2322)
12. Qiao N, Schaefer D, Blagodatskaya E, Zou X, Xu X, Kuzyakov Ya. Labile carbon retention compensates for CO₂ released by priming in forest soils. *Global Change Biology*. 2013;20(6):1943-1954. doi: [10.1111/gcb.12458](https://doi.org/10.1111/gcb.12458)
13. Stockmann U, Adams MA, Crawford JW, Field DJ, Henakaarchchi N, Jenkins M, Minasny B, McBratney AB, Remy de Courcelles V, Singh K, Wheeler I, Abbott L, Angers DA, Baldock J, Bird M, Brookes PC, Chenu C, Jastrow JD, Lal R, Lehmann J, O'Donnell AG, Parton WJ, Whitehead D, Zimmermann M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2013;164:80-99. doi: [10.1016/j.agee.2012.10.001](https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001)
14. Riley WJ, Maggi F, Kleber M, Torn MS, Tang JY, Dwivedi D, Guerry N. Long residence times of rapidly decomposable soil organic matter: application of a multi-phase, multi-component, and vertically resolved model (BAMS1) to soil carbon dynamics. *Geosci. Model Dev.* 2014;7:1335-1355. doi: [10.5194/gmd-7-1335-2014](https://doi.org/10.5194/gmd-7-1335-2014)
15. Lehmann J, Kleber M. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*. 2015;528:60-68. doi: [10.1038/nature16069](https://doi.org/10.1038/nature16069)
16. *Pochvenno-geograficheskoe rayonirovanie SSSR (v svyazi s sel'skokhozyaystvennym ispol'zovaniem zemel')* [Soil-geographical regionalization of the USSR (in connection with the use of agricultural land)]. Letunov PA, editor. Moscow: Akademiya nauk SSSR Publ.; 1962. 422 p. In Russian
17. Sharkov IN. Absorbtsionnyy metod opredeleniya emissii SO₂ iz pochv [Absorption method for the determination of CO₂ emissions from soils]. In: *Metody issledovaniy organicheskogo veshchestva pochv* [Research methods of soil organic matter]. Moscow: Rosselhozakademiya, GNU VNIPTIOU Publ.; 2005. pp. 401-407. In Russian
18. Nikitin BA. Metod opredeleniya gumusa pochvy [Method for determination of soil humus]. *Agrokimiya*. 1999;5:91-93. In Russian
19. Ponomareva VV, Plotnikova TA. Gumus i pochvoobrazovanie [Humus and Soil Formation]. Leningrad: Nauka Publ.; 1980. 220 p. In Russian
20. Ganzhara NF, Borisov BA, Shevchenko AV. Metod opredeleniya sodержaniya i sostava mobil'nykh form organicheskikh veshchestv v pochvakh [Method of determining the content and composition of mobile forms of organic matter in soils]. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 1987;1:173-177. In Russian

21. Sharkov IN, Samokhvalova LM, Shepelev AG. Izuchenie izmeneniy sodержaniya labil'nogo organicheskogo veshchestva v pochve pri ispol'zovanii ee v razlichnykh sevooborotakh [Study of changes in the content of labile organic matter in soil when using it in various crop rotations]. In: *Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya maloplodorodnykh zemel'*: Materialy mezhdunar. nauchno-prakt. konf. [Problems in the rational use of marginal land. Proc. of the Int. Res. and Pract. Conf. (Omsk, Russia, 28-29 April, 2009)]. Omsk: Omsk Publ.; 2009. pp. 98-102. In Russian
22. Ganzhara NF. Pochvovedenie [Soil Science]. Moscow: Agrokonsalt Publ.; 2001. 392 p.
23. Kuderyarov VN, Zavarzin GA, Blagodatskiy SA, Borisov AV, Voronin PY, Demkin VA, Demkina TS, Evdokimov IV, Zamolodchikov DG, Karelin DV, Komarov AS, Kurganova IN, Larionova AA, Lopes de Gerenyu VO, Utkin AI, Chertov OG. Puly i potoki ugleroda v nazemnykh ekosistemakh Rossii [Pools and fluxes of carbon in terrestrial ecosystems of Russia]. Zavarzin GA, editor. Moscow: Nauka Publ.; 2007. 315 p. In Russian
24. Sharkov IN. Vliyaniye ezhegodnogo vneseniya rastitel'nykh ostatkov na nakopleniye organicheskogo veshchestva v pochve (opyty s ¹⁴C) [Impact of annual crop residues on the accumulation of organic matter in soil (experiments with ¹⁴C)]. *Pochvovedenie*. 1996;9:1073-1077. In Russian
25. Borisov BA, Ganzhara NF. Geographical features of the distribution and renewal of easily decomposable organic matter in virgin and arable zonal soils of European Russia. *Eurasian Soil Science*. 2008;41(9):946-952. doi: [10.1134/S1064229308090056](https://doi.org/10.1134/S1064229308090056)
26. Semenov VM, Kogut BM. Pochvennoye organicheskoye veshchestvo [Soil organic matter]. Moscow: GEOS Publ.; 2015. 233 p. In Russian
27. Lupwayi NZ, Rica WA, Clayton GW. Soil microbial biomass and carbon dioxide flux, under wheat as influenced by tillage and crop rotation. *Can. J. Soil. Sci.* 1999;79(2):273-280. doi: [10.4141/S98-052](https://doi.org/10.4141/S98-052)
28. Frunze NI. Intensivnost' vydeleniya dioksida ugleroda iz chernozema karbonatnogo pri vnesenii udobreniy [Intensity of the emission of carbon dioxide from carbonate chernozem with fertilizer]. *Agrokimiya*. 2007;2:43-48. In Russian
29. Jan van Groenigen K, Qi X, Osenberg CW, Luo Y, Hungate BA. Faster Decomposition Under Increased Atmospheric CO₂ Limits Soil Carbon Storage. *Science*. 2014;344:508-509. doi: [10.1126/science.1249534](https://doi.org/10.1126/science.1249534)

*Received 12 September 2016; Revised 12 November 2016;
Accepted 26 January 2017; Published 25 March 2017.*

Author info:

Shepelev Andrey G, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Cryogenic Landscapes, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 36 Merzlotnaya Str., Yakutsk 677010, Sakha Republic, Russian Federation.

E-mail: carbon-shag@yandex.ru

Samokhvalova Lyudmila M, Senior Researcher, Laboratory of Soil Fertility, Siberian Research Institute of Agriculture and Chemicals used in Agriculture, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, PO box 356, Krasnoobsk 630501, Novosibirsk oblast, Russian Federation.

E-mail: ludda47@mail.ru