



Влияние степени окультуренности дерново-подзолистой почвы на динамику содержания почвенного органического углерода

© 2024. Л. Н. Шихова✉

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В течение 1999–2001 гг. на полях Фалёнской селекционной станции (Кировская область) изучали динамику содержания почвенного органического углерода ($C_{орг}$) и его лабильной части ($C_{лов}$) в дерново-подзолистой почве различной степени окультуренности. Пахотный слой слабоокультуренного варианта почвы характеризовался сильно-кислой реакцией среды ($pH_{KCl} - 3,88$) и низким содержанием органического углерода ($C_{орг} - 0,91\%$), окультуренного – близкой к нейтральной реакцией ($pH_{KCl} - 6,14$) и содержанием общего углерода на уровне среднего значения для дерново-подзолистых суглинистых почв региона ($C_{орг} - 1,10\%$). Пробы почвы отбирали в течение вегетационного периода раз в месяц в шестикратной повторности из пахотного горизонта и в трёхкратной – для горизонтов А₂В и В. Выявлено, что в течение всех лет наблюдения в пахотном горизонте почвы окультуренного варианта количество $C_{орг}$ значительно достоверно выше (на 16–76%). В нижележащих горизонтах почв обоих вариантов содержание $C_{орг}$ резко сократилось до 0,2–0,6%. Содержание лабильной части органического углерода не различалось по вариантам и варьировало от 0,05 до 0,19% в зависимости от горизонта и периода наблюдения. Однако в пахотном горизонте слабоокультуренной почвы доля лабильного углерода в составе общего органического углерода достоверно выше, что свидетельствует о меньшей устойчивости системы почвенного органического вещества. Содержание обеих форм почвенного органического вещества достоверно варьировало по годам и в течение вегетационного сезона. Максимальные значения $C_{орг}$ отмечали в начале и конце сезона наблюдения, минимальные – в июле. Содержание $C_{лов}$ снижалось от начала к концу сезона.

Ключевые слова: органическое вещество почвы, лабильный углерод, динамика углерода, дерново-подзолистая почва, окультуривание почвы

Благодарности: работа выполнена по заданию Россельхозакадемии в соответствии с Планом НИР Зонального НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого на 1998–2002 гг. (№ государственной регистрации темы 01970004750).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шихова Л. Н. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистой почвы на динамику содержания почвенного органического углерода. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1090–1099. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1090-1099>

Поступила: 07.04.2024

Принята к публикации: 09.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

Influence of degree of cultivation of sod-podzolic soil on dynamics of content of soil organic carbon

© 2024. Lyudmila N. Shikhova✉

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

In 1999–2001 on the fields of the Falenky Breeding Station (Kirov region), the dynamics of the content of soil organic carbon (C_{org}) and its labile part (C_{lab}) in sod-podzolic arable soil of varying degrees of cultivation were studied. The arable layer of weakly cultivated variant of the soil was characterized by high acidity ($pH_{KCl} - 3.88$) and low organic carbon content ($C_{org} - 0.91\%$). The well cultivated variant had an acidity close to neutral in the arable horizon ($pH_{KCl} - 6.14$) and a total carbon content at the average level for sod-podzolic loamy soils of the region ($C_{org} - 1.10\%$). Soil samples were taken during the growing season once a month in a sixfold repetition from the arable horizon and in a threefold repetition for horizons А₂В and В. It was revealed that during all years of observation in the arable horizon of the cultivated variant, the C_{org} content was significantly higher (by 16–76%). In the underlying horizons of soils of both variants, the carbon content was sharply reduced to 0.2–0.6%. The content of labile part of organic carbon did not differ by variants and varied from 0.05 to 0.19% depending on the horizon and observation period. However, in the arable horizon of weakly cultivated soil, the proportion of labile carbon in the composition of total organic carbon was significantly higher, which indicated less stability of the soil organic matter system. The content of both forms of soil organic matter varied significantly over the years and during the growing season. Maximum values of C_{org} content were noted at the beginning and at the end of the observation season. Minimum values were noted in July. Content of C_{lab} was decreasing from the beginning to the end of the season.

Keywords: soil organic matter, labile carbon, carbon dynamics, sod-podzolic soil, soil cultivation

Acknowledgments: the research was carried out within the task of the Russian Agricultural Academy in accordance with the Plan of Research Work of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky for 1998–2002 (state registration No. 01970004750).

The author thanks the reviewers for their contributions to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author declares that there is no conflict of interest.

For citation: Shikhova L. N. Influence of degree of cultivation of sod-podzolic soil on dynamics of content of soil organic carbon. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East.* 2024;25(6):1090–1099. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1090-1099>

Received: 07.06.2024

Accepted for publication: 09.12.2024

Published online: 25.12.2024

Хорошо известно, что органическое вещество – это важнейший фактор плодородия и устойчивости пахотных почв. Его содержание и качественный состав влияют на физические и физико-химические свойства почв, количество элементов питания, буферные свойства почв по отношению к различного рода поллютантам [1, 2].

Почвенное органическое вещество – это динамичная система, активно реагирующая на многочисленные факторы окружающей среды и антропогенное воздействие. Наиболее существенными факторами, влияющими на содержание и состав органического вещества, являются погодно-климатические условия и свойства почвы [3, 4]. В пахотных почвах, кроме природных, на почвенный гумус большое влияние оказывают и антропогенные факторы. Поэтому сложно определить зависимость содержания органического вещества от какого-либо одного фактора. В целом при сельскохозяйственном освоении дерново-подзолистых почв запасы гумуса уменьшаются, так как снижается поступление массы растительных остатков и активизируются процессы деструкции почвенных органических соединений. Однако многочисленные исследования свидетельствуют, что окультуривание дерново-подзолистых почв, введение их в сельскохозяйственное производство может как уменьшить, так и увеличить содержание в них гумуса, в зависимости от интенсивности и качества использования земли [5, 6].

По своему составу и свойствам органическое вещество является гетерогенной структурой. Часто используемое разделение органического вещества на лабильную и стабильную части условно и основано на извлекаемости отдельных групп органических соединений различными экстрагентами. Гипотетически в группу консервативных (стабильных) органических веществ относят соединения, формирующиеся и сохраняющиеся в течение длительного времени и характеризующие типовые признаки почв [7]. Сюда относят гумусовые кислоты, более или менее тесно связанные с минеральной частью почвы, негидролизуемый остаток, часть прогуминовых веществ, трудногидролизуемые неспецифические соединения и промежуточные продукты распада и

гумификации. Все эти вещества участвуют в питании растений в незначительной степени, но создают для этого благоприятную среду, определяя тем самым потенциальное плодородие почв. Консервативные гумусовые вещества участвуют в формировании таких экологически и агрономически важных признаков, как агрегатное состояние, водоудерживающие свойства, ёмкость обмена и буферные свойства, сорбционная способность [8, 9, 10].

Большинство исследователей считают, что наибольшую агрономическую ценность представляет группа лабильных органических веществ (ЛОВ) [11, 12, 13].

Вещества этой группы, являясь сбалансированным источником макро- и микроэлементов, принимают непосредственное участие в питании растений, формируют водопрочную структуру, служат энергетическим материалом для микроорганизмов и выполняют защитную функцию в отношении консервативного органического вещества. Однако единого мнения о том, какие именно соединения относить к группе лабильных органических веществ, нет. Неопределённость вносит также применение различных экстрагентов при изучении ЛОВ [14].

При контроле содержания гумуса в пахотных почвах используют в основном только общий показатель, определяемый обычно в конце вегетационного сезона после уборки урожая или ротации севооборота. Но система органического вещества почвы, особенно его лабильной части, очень динамична [15]. Трансформация органического вещества в течение вегетационного сезона должна оказывать существенное влияние на плодородие почвы. Исследований динамики органического вещества недостаточно и, вероятно, поэтому нет единого мнения о характере его изменения в течение вегетационного сезона [16].

Цель исследований – изучение динамики содержания и закономерностей поведения почвенного органического углерода в пахотной дерново-подзолистой почве в зависимости от степени её окультуренности.

Научная новизна – впервые в исследуемом регионе прослежена динамика содержания общего и лабильного углерода дерново-подзолистой почвы в течение вегетационного сезона.

Материал и методы. Объектом исследования служила дерново-подзолистая суглинистая почва, сформированная на покровном тяжёлом суглинке (Фалёнская селекционная станция, Кировская область). Профиль почвы имеет следующее строение (кратко): Ап (0–22 см); А₂В (22–45 см); В (45–60 см).

Для исследования выбраны два варианта:

- слабоокультуренная почва, в которую длительное время (около 20 лет) не вносили мелиоранты и удобрения, кроме аммиачной селитры в дозе 30 кг/га д. в. под посев зерновых культур;

- окультуренная почва в севообороте, где соблюдали все агротехнические мероприятия и вносили ежегодно в среднем по 45 кг/га д. в. NPK; в чистый пар в 2000 г. внесён навоз в дозе 40 т/га.

Изучение динамики содержания органического вещества проводили в течение 1999–2001 гг. За этот период исследования поля засеивали следующими культурами:

- слабоокультуренный участок – овёс (1998 г.), горох (1999 г.), овёс с подсевом клевера (2000 г.), клевер 1 г. п. (2001 г.);

- окультуренный участок – зернобобовые (1998 г.), овёс (1999 г.), чистый пар (2000 г.), озимая рожь (2001 г.).

Ежегодно в течение вегетационного периода раз в месяц почвенным буром отбирали пробы из трёх горизонтов (Ап, А₂В, В). Повторность отбора 3-кратная в нижних горизонтах и 6-кратная в пахотном горизонте.

В почвенных пробах определяли: содержание общего и лабильного органического углерода по В. В. Тюрину¹. Лабильные органические вещества экстрагировали 0,1 М раствором пирофосфата натрия с рН 7,0 при соотношении почва: раствор 1:2 с дальнейшим настаиванием в течение суток и центрифугированием.

Выявление существенных различий между вариантами разной окультуренности проводили с использованием критерия Стьюдента при уровне значимости $P \leq 0,05$.

Результаты исследований по каждому участку обработаны с помощью двухфакторного дисперсионного анализа, существенность различий оценивали по критерию Дункана при $P \leq 0,05$ с применением пакетов программы Agros.

Строение почвенных профилей и краткая их характеристика приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Краткая характеристика дерново-подзолистых почв опытных участков (1999 г.) / Table 1 – Brief characteristics of sod-podzolic soils of the experimental plots (1999)

Горизонт / Horizon	Глубина, см / Depth, cm	$C_{орг}, \% / C_{org}, \%$	pH_{KCl}
Слабоокультуренный / Weakly cultivated			
Ап	0–28	0,91	3,88
А ₂ В	28–43	0,24	3,83
В	43–85	0,24	3,95
ВС	85–104	0,20	4,00
С	104–120	0,18	4,07
Окультуренный / Well cultivated			
Ап	0–24	1,10	6,14
А ₂ В	24–40	0,25	4,84
В	40–86	0,16	4,02
ВС	86–100	0,16	4,08

Результаты и их обсуждение. Исследуемые дерново-подзолистые пахотные почвы содержат незначительное количество почвенного органического углерода, которое редко превышало 1,5 %, даже в почве окультуренного варианта.

Пахотные горизонты почв вариантов исследования статистически значимо отличались

по содержанию органического углерода (табл. 2). Например, в среднем за 3 года исследований содержание углерода в варианте слабоокультуренной почвы значительно ниже, чем в окультуренной почве и составило $0,955 \pm 0,071$ %, в среднем за сезон изменяясь от 0,900 до 1,048 % в разные годы.

¹Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.

Таблица 2 – Изменение содержания $C_{орг}$ в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы разной степени окультуренности, % /

Table 2 – Change of $C_{орг}$ content in arable horizon of sod-podzolic soil of different degree of cultivation, %

<i>Год / Year</i>	<i>Май / May</i>	<i>Июнь / June</i>	<i>Июль / July</i>	<i>Август / August</i>	<i>Сентябрь / September</i>	<i>Среднее (А) / Average (A)</i>
<i>Слабоокультуренный участок / Weakly cultivated plot</i>						
1999	1,076±0,025	1,123±0,057	1,040±0,071	1,040±0,056	0,954±0,039	1,048 b*
2000	0,823±0,021	0,946±0,009	0,995±0,037	0,952±0,028	0,785±0,027	0,900 a
2001	1,068±0,036	1,078±0,057	0,587±0,125	0,776±0,050	1,080±0,212	0,918 a
<i>Среднее (В) / Average (B)</i>	0,989	1,049	0,874	0,924	0,940	$HCP_{05}(A) / LDS_{05}(A) = 0,092;$ $F\phi < F_T$
<i>Окультуренный участок / Well cultivated plot</i>						
1999	1,225±0,060	1,385±0,040	1,213±0,055	1,225±0,080	1,077±0,047	1,225 a
2000	1,153±0,021	1,683±0,025	1,396±0,013	1,822±0,070	1,872±0,047	1,585 b
2001	1,461±0,011	1,297±0,019	1,051±0,021	1,323±0,057	0,857±0,094	1,198 a
<i>Среднее (В) / Average (B)</i>	1,280 a	1,455 bc	1,220 a	1,457 c	1,269 a	$HCP_{05}(A) / LDS_{05}(A) = 0,059$ $HCP_{05}(B) / LDS_{05}(B) = 0,076$

Примечания: Фактор А – год; фактор В – месяц; (±) – ошибка среднего; * – средние значения, обозначенные разными буквами, различаются существенно по критерию Дункана при $p \leq 0,05$ /

Notes: Factor A – year; Factor B – month; (±) – error of the average; * – average values, denoted by different letters, differ significantly by Duncan's test at $p \leq 0.05$

Длительная распашка и выращивание растений без применения удобрений и мероприятий, направленных на пополнение почвенной органики, ведёт к сокращению содержания органического углерода до минимально возможных значений и ухудшению его качественного состава [17, 18]. Вероятно, это минимально возможное его содержание в исследуемой почве при данных условиях.

В пахотном горизонте почвы окультуренного варианта содержание органического углерода выше и составило в среднем за 3 года $1,336 \pm 0,046$ %, варьируя за сезоны разных лет наблюдения от 1,198 до 1,585 %, что на 17–76 % выше, чем в слабоокультуренном (табл. 2). Таким образом, в почве окультуренного варианта при надлежащем соблюдении агротехники удаётся поддерживать более высокий уровень содержания углерода.

Соответственно изменяются и запасы органического углерода в пахотном горизонте почвы в разных вариантах (табл. 3). В целом запасы органического углерода в почве опытных участков незначительны и близки к значениям, приводимым в литературе другими авторами [19].

Из наблюдений следует, что $C_{орг}$ очень изменчивый показатель. Дисперсионный анализ свидетельствует о достоверном варьировании

этого показателя по годам в почве обоих вариантов (табл. 2). В разные годы наблюдения в пахотном горизонте уровень содержания $C_{орг}$ в одном и том же варианте может значительно различаться.

Колебания содержания углерода в окультуренной почве более значительны, чем в слабоокультуренной, что связано, вероятно, с более интенсивным использованием почвы и высокой скоростью преобразования органического вещества. Например, внесение органического удобрения (навоз) в 2000 году привело к резкому увеличению содержания $C_{орг}$, однако в следующем году его количество снова уменьшилось.

С глубиной содержание $C_{орг}$ снижается, варьируя в пределах 0,28–0,59 % в горизонте A_2B и 0,21–0,30 % – В. Содержание углерода в этих горизонтах также достоверно варьирует по годам. Средние за три года данные содержания углерода слабо различаются по вариантам окультуренности (табл. 4).

Значительные колебания содержания органического углерода по годам связаны как с погодными условиями, определяющими скорость и полноту трансформации органического вещества, так и особенностями сельскохозяйственных культур и их «вкладом» в общий баланс органического вещества [20].

Таблица 3 – Изменение запасов $C_{орг}$ в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы в зависимости от степени окультуренности /

Table 3 – Change of $C_{орг}$ storage in arable horizon of sod-podzolic soil in dependence of degree of cultivation

Год / Year	Слабоокультуренная почва / Weakly cultivated soil		Окультуренная почва / Well cultivated soil		
	$C_{орг}$, % / $C_{орг}$, %	запасы $C_{орг}$, т/га / $C_{орг}$ storage, t/ha	$C_{орг}$, % / $C_{орг}$, %	запасы $C_{орг}$ / $C_{орг}$ storage т/га / t/ha	%*
1999	1,048±0,036	29,35	1,225±0,089	34,30	116,9
2000	0,900±0,041	25,21	1,585±0,136	44,39	176,1
2001	0,918±0,101	25,70	1,198±0,108	33,54	130,5

* К слабоокультуренной почве / * To weakly cultivated soil

Таблица 4 – Изменение содержания $C_{орг}$ в верхних горизонтах дерново-подзолистой почвы, % от веса почвы (среднее за 1999–2001 гг.) /

Table 4 – Change of $C_{орг}$ content in upper horizons of sod-podzolic soil, % of soil weight (average for 1999–2001)

Горизонт / Horizon	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Среднее / Average
Слабоокультуренная почва / Weakly cultivated soil						
Ап	1,010±0,036	1,068±0,005	0,916±0,010	0,864±0,010	0,943±0,061	0,960±0,036
А ₂ В	0,416±0,068	0,593±0,076	0,484±0,069	0,283±0,014	0,447±0,056	0,445±0,050
В	0,221±0,007	0,243±0,012	0,234±0,009	0,228±0,007	0,272±0,016	0,239±0,009
Окультуренная почва / Well cultivated soil						
Ап	1,307±0,070	1,438±0,069	1,218±0,065	1,573±0,119	1,221±0,171	1,351±0,068
А ₂ В	0,348±0,013	0,577±0,104	0,409±0,056	0,348±0,018	0,320±0,042	0,400±0,046
В	0,255±0,014	0,298±0,033	0,227±0,030	0,255±0,037	0,212±0,014	0,250±0,015

Динамика содержания органического вещества включает в себя и его сезонные колебания. В пахотных горизонтах почв обоих вариантов колебания содержания $C_{орг}$ в течение вегетационного сезона могут быть значительны (табл. 2, рис. 1). Однако в среднем за 3 года исследований (1999–2001) влияние этого фактора достоверно только в почве окультуренного варианта.

Результаты свидетельствуют о сложном характере динамики $C_{орг}$ в течение сезона. Из-за ежегодных сдвигов в фазах вегетационных периодов, обусловленных погодными факторами, выявить закономерности изменения содержания углерода проблематично. Характер динамики определен целым комплексом факторов, важнейшими из которых являются погодные, особенности сельскохозяйственных культур, количество и качество пожнивных остатков.

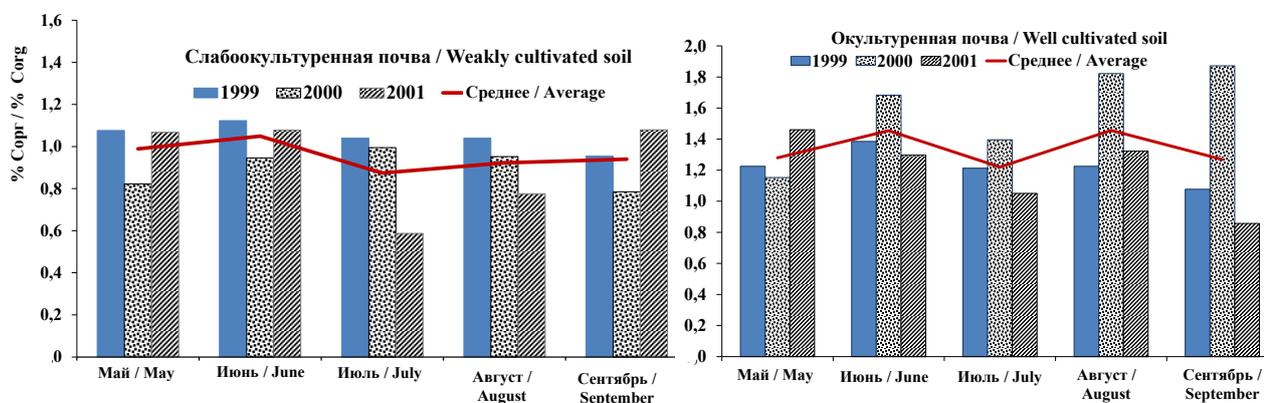


Рис. 1. Изменение содержания $C_{орг}$ в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы в течение сезонов, % от веса почвы /

Fig. 1. Change of $C_{орг}$ content in arable horizon of sod-podzolic soil during seasons, % of soil weight

Тем не менее, обобщение данных за три года показывает, что минимальное содержание $C_{орг}$ в почве приходится на начало активной вегетации – май. В июне отмечается повышение содержания углерода (рис. 1), что вероятно связано с наступлением благоприятных гидротермических условий для трансформации и гумификации прошлогодних органических остатков. Снижение содержания углерода отмечается и в середине сезона, в июле, поскольку в период активного роста растений ещё незначительно поступление новой органики и её гумификация.

В конце сезона содержание $C_{орг}$ может как повышаться, так и понижаться. В осенние месяцы размах колебания содержания углерода более значителен, что обусловлено, вероятно, неустойчивой погодой с резкими колебаниями температуры и влажности. Начало гумификации пожнивных остатков приводит к повышению содержания углерода гумуса. Однако некоторые авторы отмечают и для целинных и пахотных почв как понижение содержания органического углерода в почве, так и его восстановление в конце сезона до исходного уровня [21]. Таким образом, наиболее активная

трансформация органического вещества в пахотной дерново-подзолистой почве наблюдается в первой половине вегетационного сезона, при наиболее благоприятных гидротермических, погодных факторах.

Сезонная динамика $C_{орг}$ наблюдается и в нижележащих горизонтах. Однако из-за высокой вариабельности данных она не всегда достоверна.

Важнейшей частью почвенного органического вещества является его лабильная составляющая. По абсолютному содержанию лабильного органического вещества ($C_{лов}$, выраженное в % от веса почвы) пахотные горизонты обеих почв достоверно не различаются (табл. 5). Лабильные органические вещества почвы очень подвижны и их содержание быстро меняется. Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о достоверной динамике содержания $C_{лов}$ по годам и сезону в пахотном горизонте почвы обоих вариантов.

В подпахотных горизонтах обеих почв содержание $C_{лов}$, по сравнению с Ап, снижается и практически не отличается в почве разных вариантов (табл. 6). Различия в содержании по вариантам недостоверны.

Таблица 5 – Изменение содержания $C_{лов}$ в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы разной степени окультуренности (% от веса почвы) /

Table 5 – Change of C_{lab} in arable horizon of sod-podzolic soil of different degree of cultivation (% of soil weight)

Год / Year	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Среднее (A) / Average (A)
Слабоокультуренная почва / Weakly cultivated soil						
1999	0,187±0,100	0,128±0,005	0,078±0,002	0,120±0,006	0,081±0,004	0,119b
2000	0,098±0,002	0,092±0,006	0,154±0,014	0,080±0,008	0,074±0,001	0,100a
2001	0,128±0,012	0,154±0,005	0,117±0,009	0,087±0,009	0,136±0,05	0,124d
Среднее (B) / Average (B)	0,138d	0,125cd	0,116bc	0,095a	0,097a	HCP ₀₅ (A) / LDS ₀₅ (A) = 0,009 HCP ₀₅ (B) / LDS ₀₅ (B) = 0,012
Окультуренная почва / Well cultivated soil						
1999	0,123±0,010	0,113±0,011	0,086±0,004	0,123±0,008	0,072±0,003	0,102b
2000	0,129±0,003	0,137±0,001	0,128±0,004	0,116±0,004	0,101±0,001	0,122c
2001	0,116±0,006	0,119±0,005	0,072±0,001	0,118±0,13	0,047±0,001	0,094a
Среднее (B) / Average (B)	0,123c	0,128c	0,100b	0,117c	0,074a	HCP ₀₅ (A) / LDS ₀₅ (A) = 0,006 HCP ₀₅ (B) / LDS ₀₅ (B) = 0,007

Примечания: Фактор А – год; фактор В – месяц; (±) – ошибка среднего; * средние значения, обозначенные разными буквами, различаются существенно по критерию Дункана /

Notes: Factor A – year; Factor B – month; (±) – error of the average; * average values, denoted by different letters, differ significantly by Duncan's test

Таблица 6 – Изменение содержания $C_{\text{лов}}$ в верхних горизонтах дерново-подзолистой почвы, % от веса почвы (среднее за 1999–2001 гг.) /

Table 6 – Change of C_{lab} content in upper horizons of sod-podzolic soil, % of soil weight (average for 1999–2001)

Горизонт / Horizon	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Среднее / Average
Слабоокультуренная почва / Weakly cultivated soil						
Ап	0,138±0,026	0,125±0,018	0,116±0,022	0,095±0,012	0,097±0,020	0,114±0,008
А ₂ В	0,058±0,014	0,074±0,019	0,051±0,003	0,032±0,003	0,050±0,014	0,053±0,007
В	0,035±0,005	0,035±0,002	0,030±0,005	0,037±0,001	0,037±0,009	0,035±0,001
Окультуренная почва / Well cultivated soil						
Ап	0,123±0,005	0,128±0,007	0,100±0,023	0,117±0,001	0,074±0,022	0,108±0,010
А ₂ В	0,048±0,001	0,077±0,019	0,057±0,005	0,050±0,009	0,034±0,008	0,053±0,007
В	0,030±0,002	0,041±0,006	0,032±0,005	0,039±0,015	0,025±0,007	0,033±0,003

Доля лабильного углерода в общем органическом углероде меняется в широких пределах в зависимости от варианта исследования, горизонта и периода сезона [22]. Содержание $C_{\text{лов}}$, выраженное в % от содержания $C_{\text{орг}}$, достоверно выше в слабоокультуренной почве (табл. 7). Органическое вещество пахотного горизонта слабоокультуренного участка содержит в своём составе достоверно примерно в полтора раза больше лабильных элементов, чем в пахотном горизонте окультуренного, что, вероятно, свидетельствует о большей неустойчивости гумуса при истощительном использовании почвы. При высокой степени окультуривания значительная часть лабильного гумуса, по-

видимому, связана кальцием в малоподвижные соединения. Отмечается тенденция уменьшения доли $C_{\text{лов}}$ к концу сезона в обеих почвах. На слабоокультуренном участке доля лабильного органического вещества близка в разных горизонтах, на окультуренном участке доля $C_{\text{лов}}$ больше в подпахотных горизонтах, чем в пахотном. Это связано как с более активной трансформацией органики в пахотном горизонте, так и миграцией лабильных соединений из этого горизонта.

Доли $C_{\text{лов}}$ в $C_{\text{орг}}$ в горизонтах А₂В и В в разных вариантах и по годам исследования практически не различались.

Таблица 7 – Изменение содержания доли $C_{\text{лов}}$ в $C_{\text{орг}}$ в верхних горизонтах дерново-подзолистой почвы, % (среднее за 1999–2001 гг.) /

Table 7 – Change of ratio of C_{lab} in C_{org} in upper horizons of sod-podzolic soil, % (average for 1999–2001)

Горизонт / Horizon	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Среднее / Average
Слабоокультуренная почва / Weakly cultivated soil						
Ап	13,79±1,86	11,88±1,34	15,34±4,44	9,80±1,16	10,61±1,58	12,28±1,02
А ₂ В	15,98±3,21	14,48±3,06	13,42±2,33	11,54±2,34	11,39±1,43	13,36±0,87
В	16,02±1,45	15,03±1,87	13,03±1,87	14,98±0,83	12,92±1,50	14,40±0,61
Окультуренная почва / Well cultivated soil						
Ап	9,59±1,33	8,51±0,34	7,74±0,72	7,64±1,02	5,90±0,40	7,87±0,61
А ₂ В	13,97±1,08	14,87±0,50	13,07±0,51	14,07±1,78	11,82±2,41	13,56±0,52
В	12,73±2,49	13,79±1,85	13,38±0,72	14,54±1,82	11,84±2,25	13,26±0,46

Лабильный углерод также подвержен существенной сезонной динамике, которая имеет сложный характер (рис. 2). В почве обоих вариантов характер динамики $C_{\text{лов}}$ близок. Максимальное содержание $C_{\text{лов}}$ и доля

его в $C_{\text{орг}}$ отмечены в первой половине вегетационного сезона. Именно в этот период идут процессы активной трансформации органического вещества.

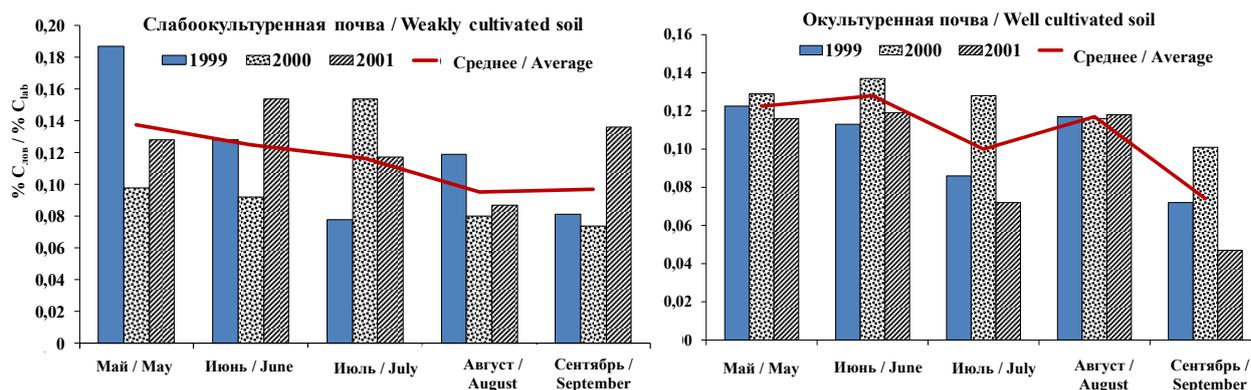


Рис. 2 Изменение содержания $C_{лов}$ в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы в течение сезонов, % от веса почвы /

Fig. 2. Change of C_{lab} content in arable horizon of sod-podzolic soil during seasons, % of soil weight

Прслеживается тенденция снижения его содержания от весны к осени в обоих вариантах. Кроме того, в почве окультуренного варианта отмечается минимум содержания в середине сезона (июль). Других общих закономерностей в сезонной динамике $C_{лов}$ за три года выявить не удалось, что связано с высокой его изменчивостью, обусловленной погодными особенностями лет наблюдения, с различным количеством пожнивно-корневых остатков сельскохозяйственных культур, прост-ранственной вариабельностью содержания.

Выводы. Таким образом, многолетнее (около 20 лет) окультуривание дерново-подзолистой почвы способствует повышению содержания общего органического углерода. В пахотном горизонте почвы окультуренного варианта по сравнению со слабоокультуренным содержание $C_{орг}$ значительно достоверно выше (на 16–76 %).

Степень окультуренности пахотной почвы не влияет на абсолютное содержание $C_{лов}$. Однако его доля в $C_{орг}$ значительно выше в слабоокультуренной почве (12,28 %) по сравнению с окультуренной (7,87 %).

Различия в содержании $C_{орг}$ в зависимости от степени окультуренности почвы затрагивают в основном только верхний пахотный горизонт. Различия в содержании углерода в нижележащих горизонтах по вариантам исследования невелики.

Содержание $C_{орг}$ и $C_{лов}$ значительно достоверно изменяется по годам исследования, что вероятно обусловлено сочетанием погодных и антропогенных факторов.

Изменение содержания общего углерода в течение вегетационных сезонов существенно только в окультуренной почве, в слабоокультуренной изменения незначительны и недостоверны. Максимальное содержание $C_{орг}$ отмечается в первой половине вегетационного сезона и иногда в конце, минимум наблюдается в середине сезона (июль), что вероятно обусловлено активной трансформацией органического вещества в этот период.

Содержание лабильного органического вещества в течение вегетационного сезона очень динамично. В почве обоих вариантов $C_{лов}$, как правило, максимально в первой половине сезона и снижается к его завершению.

Список литературы

- Семенов В. М., Лебедева Т. Н. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты. *Агрохимия*. 2015;(11):3–12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24881562> EDN: UYMOLN
- Савич В. И., Наумов В. Д., Борисов Б. А., Седых В. А., Каменных Н. Л., Тазин И. И. Экологическая оценка органического вещества почв. *АгроЭкоИнфо*. 2023;(1(55)):21. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50481646> EDN: BSWRAK
- Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Суханова Н. И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с. Режим доступа: <https://libcats.org/book/1472295>
- Тулина А. С. Влияние температуры, влажности и внесения соломы на динамику минерализации органического вещества и почвенные пулы углерода и азота. *Агрохимия*. 2019;(3):3–18. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119030141> EDN: SRFCQZ
- Васбиева М. Т. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении удобрений. *Почвоведение*. 2021;(1):90–99. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21010135> EDN: ХАККРА
- Бортник Т. Ю., Карпова А. Ю., Клековкин К. С. Изменение показателей плодородия дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы в результате длительного применения удобрений. Эволюция и деградация почвенного покрова: сб. научн. ст. по мат-лам VI Международ. научн. конф. Ставрополь, 2022. С. 74–77.

7. Когут Б. М., Семенов В. М. Эволюция доминирующих парадигм в учении о гумусе и почвенном органическом веществе. *Агрохимия*. 2015;(12):3–19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25685811> EDN: VQCDQB
8. Мамонтов В. Г., Родионова Л. П., Быковский Ф. Ф., Сирадж А. Лабильное органическое вещество почвы: номенклатурная схема, методы изучения и агроэкологические функции. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2000;(4):94–108.
9. Заварзина А. Г., Данченко Н. Н., Демин В. В., Артемьева З. С., Когут Б. М. Гуминовые вещества – гипотезы и реальность. *Почвоведение*. 2021;(12):1449–1480. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21120169> EDN: GOVPIJ
10. Цховребов В. С. Активная и стабильная части органического вещества. Воспроизводство плодородия почв и продовольственная безопасность в современных условиях: сб. тр. II Международ. научн.-практ. конф., посвящ. памяти проф. Б. И. Горизонтова. Казань: Казанский ГАУ, 2023. С. 55–66.
11. Воропаева Е. В., Воропаев В. В. Изменение содержания и качественного состава гумуса окультуренной дерново-подзолистой почвы в различных системах удобрения овощного севооборота. *Агрохимия*. 2019;(12):32–38. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119090126> EDN: UQDUYE
12. Байбеков Р. Ф., Хайдуков К. П., Коваленко А. А., Забугина Т. М. Качественный состав органического вещества дерново-подзолистой почвы в длительном полевом опыте. *Земледелие*. 2020;(1):8–11. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10102> EDN: QNPYKG
13. Козлова А. А., Гаврилова А. В., Куклина А. Е. Подвижное и лабильное органическое вещество как показатель оценки плодородия почв. Современные проблемы и перспективы развития агрохимии, земледелия и смежных наук о плодородии почв и продуктивности полевых культур в Сибири: мат-лы междунар. научн.-производ. конф. с междунар. участием. Красноярск: ФГБНУ ФИЦ «Красноярский НЦ Сибирского отделения РАН», 2023. С. 117–122. DOI: https://doi.org/10.52686/9785604525050_180 EDN: JHHLI
14. Мамонтов В. Г. Лабильное органическое вещество почвы. Почвы - стратегический ресурс России: тез. докл. VIII съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв. Отв. ред. С. А. Шоба, И. Ю. Савин. М.-Сыктывкар: Институт биологии Коми УрО РАН, 2021. С. 152–153. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49955281> EDN: KULKYD
15. Афанасьева Т. И., Труфанов А. М., Иванова М. Ю., Цвик Г. С. Динамика содержания гумуса почвы при различном по интенсивности её сельскохозяйственном использовании. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2021;(3(55)):5–11. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.55.3.001> EDN: METEQI
16. Бакина Л. Г., Орлова Н. Е., Орлова Е. Е. Устойчивость процессов сезонной трансформации органического вещества почв к антропогенным воздействиям. Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. 24-25 апреля 2002 г. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2002. С. 202.
17. Сычёв В. Г., Налиухин А. Н., Шевцова Л. К., Рухович О. В., Величенко М. В. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов географической сети России. *Почвоведение*. 2020;(12):1521–1536. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X20120138> EDN: QUGQQM
18. Володина Т. И., Чухина О. В., Демидова А. И. Влияние различных систем удобрения на гумусовое состояние дерново-подзолистых почв Псковской области. *Агрохимический вестник*. 2020;(3):19–24. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43166071> EDN: ARBLVV
19. Васбиева М. Т. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на динамику содержания органического углерода и азотный режим дерново-подзолистой почвы. *Почвоведение*. 2019;(11):1365–1372. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19110133> EDN: OBYGNI
20. Завьялова Н. Е. Углеродпротекторная емкость дерново-подзолистой почвы естественных и агроэкосистем Предуралья. *Почвоведение*. 2022;(8):1046–1055. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22080160> EDN: AOKTSG
21. Бойцова Л. В., Пухальская Я. В. Динамика содержания органического вещества, его лабильной и инертной частей в дерново-подзолистой супесчаной почве разной степени окультуренности. *Агрофизика*. 2013;(3):14–22.
22. Кондратьева М. А. Лабильное органическое вещество в дерново-подзолистых почвах агроландшафтов. Агротехнологии XXI века: мат-лы Всерос. научн.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 100-летию высш. аграр. обр-ния на Урале. Минсельхоз РФ, ФГБОУ ВО «Пермский ГАТУ им. акад. Д. Н. Прянишникова». Пермь: ИПЦ Прокрость, 2019. С. 158–162.

References

1. Semenov V. M., Lebedeva T. N. The problem of carbon in sustainable agriculture: agrochemical aspects. *Agrokhimiya*. 2015;(11):3–12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24881562>
2. Savich V. I., Naumov V. D., Borisov B. A., Sedykh V. A., Kamennykh N. L., Tazin I. I. Ecological assessment of soil organic matter. *AgroEkoInfo = AgroEcoInfo*. 2023;(1(55)):21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50481646>
3. Orlov D. S., Biryukova O. N., Sukhanova N. I. Organic matter of the soils of the Russian Federation. Moscow: Nauka, 1996. 256 p. URL: <https://libcats.org/book/1472295>
4. Tulina A. S. Effects of temperature, moisture and straw incorporation on organic matter mineralization dynamics and soil carbon and nitrogen pools. *Agrokhimiya*. 2019;(3):3–18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119030141>
5. Vasbieva M. T. Change of agrochemical properties in soddy-podzolic soil owing to long-term application of fertilizers. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2021;(1):90–99. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21010135>
6. Bortnik T. Yu., Karpova A. Yu., Klekovkin K. S. Changes in fertility indicators of sod-medium podzolic medium loamy soil as a result of prolonged use of fertilizers. Evolution and degradation of soil cover: collection of scientific articles on the materials of the VI International. scientific conf. Stavropol', 2022. pp. 74–77.

7. Kogut B. M., Semenov V. M. The evolution of the dominant paradigms in the theory of humus and soil organic matter. *Agrokhimiya*. 2015;(12):3–19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25685811>
8. Mamontov V. G., Rodionova L. P., Bykovskiy F. F., Siradzh A. Labile organic matter of the soil: nomenclature scheme, methods of study and agroecological functions. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2000;(4):94–108. (In Russ.).
9. Zavarzina A. G., Danchenko N. N., Demin V. V., Artem'eva Z. S., Kogut B. M. Humic substances: hypotheses and reality (a review). *Pochvovedenie* = *Eurasian Soil Science*. 2021;(12):1449–1480. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21120169>
10. Tskhovrebov V. S. The active and stable parts of organic matter. Reproduction of soil fertility and food security in modern conditions: collection of articles of the 2nd International scientific and practical conference dedicated to the memory of professor B. I. Gorizontova. Kazan: *Kazanskiy GAU*, 2023. pp. 55–66.
11. Voropaeva E. V., Voropaev V. V. Change in the content and qualitative composition of humus of cultivated sod-podzolic soil in various fertilization systems of vegetable crop rotation. *Agrokhimiya*. 2019;(12):32–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119090126>
12. Baibekov R. F., Khaidukov K. P., Kovalenko A. A., Zabugina T. M. Qualitative composition of organic matter in sod-podzolic soil in a long field experiment. *Zemledelie*. 2020;(1):8–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10102>
13. Kozlova A. A., Gavrilova A. V., Kuklina A. E. Mobile and labile organic matter as an indicator of soil fertility evaluation. Modern problems and prospects for the development of agrochemistry, agriculture and related sciences on soil fertility and productivity of field crops in Siberia: Proceedings of the international research and production conference with the international participation. Krasnoyarsk: *FGBNU FITs «Krasnoyarskiy NTs Sibirskogo otdeleniya RAN»*, 2023. pp. 117–122. DOI: https://doi.org/10.52686/9785604525050_180
14. Mamontov V. G. Labile organic matter of the soil. Soils are a strategic resource of Russia: thesis of the VIII Congress of the V. V. Dokuchaev Society of Soil Scientists and the School of Young Scientists on Soil Morphology and Classification. *Otv. red. S. A. Shoba, I. Yu. Savin*. Moscow-Syktvykar: *Institut biologii Komi UrO RAN*, 2021. pp. 152–153. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49955281>
15. Afanasyeva T. I., Trufanov A. M., Ivanova M. Yu., Tsvik G. S. Dynamics of soil humus content with different in intensity of its agricultural use. *Vestnik APK Verkhnevolsk'ya* = *Bulletin of the AIC of the Upper Volga*. 2021;(3(55)):5–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.55.3.001>
16. Bakina L. G., Orlova N. E., Orlova E. E. Stability of processes of seasonal transformation of soil organic matter to anthropogenic influences. Resistance of soils to natural and anthropogenic actions: tez. doc. All-Russia. conf. April 24–25, 2002 Moscow: *Soil. Institute named after V.V. Dokuchaev*, 2002. P. 202.
17. Sychev V. G., Naliukhin A. N., Shevtsova L. K., Rukhovich O. V., Velichenko M. V. influence of fertilizer systems on soil organic carbon content and crop yield: results of long-term field experiments at the geographical network of research stations in Russia. *Pochvovedenie* = *Eurasian Soil Science*. 2020;(12):1521–1536. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X20120138>
18. Volodina T. I., Chukhina O. V., Demidova A. I. Influence of various fertilizer systems on the humus state of soddy-podzolic soils of the Pskov region. *Agrokhimicheskii vestnik* = *Agrochemical Herald*. 2020;(3):19–24. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43166071>
19. Vasbieva M. T. Effect of long-term application of organic and mineral fertilizers on the organic carbon content and nitrogen regime of soddy-podzolic soil. *Pochvovedenie* = *Eurasian Soil Science*. 2019;(11):1365–1372. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19110133>
20. Zavyalova N. E. Carbon reserves and carbon protective capacity of sod-podzolic soil in natural and agricultural ecosystems of the Pre-Urals. *Pochvovedenie* = *Eurasian Soil Science*. 2022;(8):1046–1055. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22080160>
21. Boytsova L. V., Pukhal'skaya Ya. V. Dynamics of the content of organic matter, its labile and inert parts in sod-podzolic sandy loam soil of varying degrees of cultivation. *Agrofizika* = *Agrophysica*. 2013;(3):14–22. (In Russ.).
22. Kondrateva M. A. Labile organic matter in sod-podzolic soils of agricultural landscapes. Agrotechnologies of the XXI century: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with the international participation, dedicated to the 100th anniversary of the higher agricultural education in the Urals. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Perm State Technical University named after Academician D. N. Pryanishnikov. Perm': *IPTs Prokrost'*, 2019. pp. 158–162.

Сведения об авторе

✉ Шихова Людмила Николаевна, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела эдафической устойчивости растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7371-7588>, e-mail: shikhova-l@mail.ru

Information about the author

✉ Lyudmila N. Shikhova, DSc in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Plant Edaphic Resistance, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7371-7588>, e-mail: shikhova-l@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author