

УДК 631.417.1:631.51.011(571.51)

## ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ В УСЛОВИЯХ МИНИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ В КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

© 2020 г. А. А. Белоусов<sup>1,\*</sup>, Е. Н. Белоусова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Красноярский государственный аграрный университет  
660049 Красноярск, ул. Елены Стасовой, 44, Россия

\*E-mail: svoboda57130@mail.ru

Поступила в редакцию 23.06.2019 г.

После доработки 15.09.2019 г.

Принята к публикации 10.12.2019 г.

Исследовали влияние отвального способа обработки почвы и поверхностного дискования на содержание органического углерода и его подвижных компонентов в черноземах выщелоченных и обыкновенных. Использование минимальной обработки на протяжении 9-ти лет способствовало достоверной разнице между сравниваемыми слоями по содержанию  $C_{\text{орг}}$  с максимумами в поверхностном слое. Отвальная вспашка достоверно стимулировала образование подвижных форм органических соединений в сравнении с поверхностной обработкой. Содержание подвижного органического вещества в почве, обработанной отвальным способом и дисковыми орудиями, достоверно различалось.

**Ключевые слова:** органический углерод, подвижные органические соединения, микробная биомасса, почвозащитные технологии

**DOI:** 10.31857/S0002188120030059

### ВВЕДЕНИЕ

Роль органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) в почве, растениях и в агроэкосфере не менее важная, а может, даже более существенная, чем элементов, традиционно рассматриваемых агрохимией, а поддержание сбалансированного круговорота углерода является базовым условием стабильности агроэкосистем и ключевым принципом устойчивого земледелия [1]. Подвижная фракция органического углерода выполняет одну из основных функций в формировании эффективного плодородия и быстро реагирует на изменения в системе земледелия в целом, так и при смене способа основной обработки почвы. Поэтому подвижное органическое вещество (ПОВ) является индикатором происходящих перемен в содержании органического углерода в почве. Содержание микробной биомассы и ее доля от органического углерода почвы ( $C_{\text{мб}}/C_{\text{орг}}$ ) также являются значимыми параметрами, диагностирующими трансформации, происходящие в почвенном органическом веществе.

В современном земледелии Красноярского региона доля почвозащитных технологий в последнее десятилетие повышается. Информации о динамике ПОВ и экофизиологическом показателе

$C_{\text{мб}}/C_{\text{орг}}$  при использовании этих воздействий пока еще недостаточно. Часто она противоречива, носит не системный характер. Научная проблема исследования – сокращение в агропочвах подвижного органического вещества, обусловленная их выпаханностью вследствие использования экстенсивных систем земледелия.

Цель работы – оценка содержания органического углерода и его подвижных компонентов в почве, обрабатываемой отвальным способом и с использованием поверхностного дискования.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперимент в Красноярском природном округе на земельных площадях СПК “Шилинское” Сухобузимского р-на (56° с.ш., 93° в.д.). Изучение влияния способов обработки почвы на трансформацию углеродсодержащих соединений осуществляли в 2014–2015 гг. на базе длительного опыта, заложенного в 2005 г. И.А. Куприным и Л.Р. Мукиной. Почвенный покров опытного стационара характеризовался преобладанием комплекса старопашотных черноземов выщелоченных и обыкновенных тяжелосуглинистого грану-

**Таблица 1.** Метеорологические показатели в годы наблюдений

Год	Месяц					Сумма за вегетацию
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Средняя температура воздуха, °С						
2014 г.	6.8	16.0	19.2	15.9	6.5	1565
2015 г.	10.9	17.0	19.9	16.5	8.4	1535
Норма (1980–2010 гг.)	8.7	15.5	18.3	14.9	8.3	1627
Осадки, мм						
2014 г.	54	50	89	75	32	301
2015 г.	31	33	68	63	73	268
Норма (1980–2010 гг.)	35	47	64	59	42	247

лометрического состава. Это почвы с высоким содержанием органического углерода (5.2%), близкой к нейтральной величине  $pH_{H_2O}$  6.8, с высоким содержанием суммы обменных оснований (60 ммоль/100 г почвы) и степенью насыщенности основаниями 99%.

В пределах производственных посевов были выделены опытные участки (варианты) с учетной площадью делянок 360 м<sup>2</sup>. Отвальная основная обработка (вариант 1) состояла из зяблевой вспашки на глубину 20–22 см. Посев яровой пшеницы в 2014–2015 гг. проводили комбинированным агрегатом – стерневой сеялкой СС-6 с одновременным припосевным внесением НАФК. Поверхностную обработку дисковыми орудиями (вариант 2) осуществляли СКС-3.2. С помощью дисковых горизонтальных сошников посевного комплекса проводили обработку почвы на глубину 4–5 см и посев зерновых культур с одновременным внесением НАФК в дозе N25P12K12 с соотношением 21:10:10. В 2014 г. выращивали яровую пшеницу сорта Тулунская-12, в 2015 г. – озимое тритикале сорта Житница. В каждом варианте трижды за вегетационный сезон рандомизированным методом отбирали почвенные образцы из слоев 0–5 (надсеменной) и 5–20 см (подсеменной). Объем выборки ( $n = 15$ ) рассчитывали, исходя из определенной до проведения опыта величины варьирования почвенного плодородия. Период действия изученных технологий к началу наших наблюдений составил 9 лет.

Химические и физико-химические показатели определяли общепринятыми методами [2]. В подготовленных образцах определяли органический углерод по Тюрину ( $C_{орг}$ ), подвижные гумусовые вещества экстрагировали последовательной обработкой навески почвы (5 г) дистиллированной водой в соотношении 1 : 5 и 0.1 н. NaOH в соотношении 1 : 20. Содержание углерода водораствори-

мого органического вещества ( $C_{H_2O}$ ) определяли по Тюрину, щелочнорастворимого углерода ( $C_{0.1н. NaOH}$ ) – по Тюрину в модификации Пономаревой–Плотниковой [3]. Углерод микробной биомассы устанавливали путем пересчета скорости субстрат-индуцированного дыхания по формуле:  $C_{мб}$  (мкг С/г) = (мкл  $CO_2$ /г почвы/ч) × 40.04 + 0.37 [4]. Статистический анализ данных проводили с использованием пакета программ MS Excel.

Агрометеорологические условия района наблюдений характеризовались следующими показателями (табл. 1). На протяжении большинства месяцев теплого периода 2014 г. уровень увлажнения превышал средние многолетние показатели. Максимальное количество осадков выпало в июле (89 мм). Особенностью теплового режима стали прохладные май и сентябрь, тогда как среднемесячные температуры летних месяцев были выше нормы. Такое сочетание тепла и влаги обусловило достаточное увлажнение в течение периода вегетации полевых культур. Согласно Г.Т. Селянинову, величина ГТК за июль–август составила 1.3. Начало вегетационного периода 2015 г. характеризовалось более высокими температурами в сравнении с предшествующим сезоном и далее к осени среднемесячные температуры превышали параметры 2014 г. Количество выпавших осадков, напротив, существенно уступало показателям прошлого года. Величина ГТК за период активной вегетации составила 1.0. Таким образом, условия вегетационного периода 2015 г. оценивали, как более засушливые в сравнении с сезоном 2014 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Динамика содержания органического углерода.* Преобразования органического вещества (углерода) в сезонном цикле определяют направлен-

**Таблица 2.** Содержание и динамика  $C_{\text{орг}}$  и  $C_{\text{мб}}/C_{\text{орг}}$  в черноземе выщелоченном ( $n = 15$ ), %

Вариант	Сроки взятия проб	Слой, см	$x^- \pm ts_x$	$C_{\text{мб}}/C_{\text{орг}}$	$x^- \pm ts_x$	$C_{\text{мб}}/C_{\text{орг}}$
			2014 г.		2015 г.	
1. Отвальная вспашка	Июнь	0–5	$5.12 \pm 0.23$	3.5	$5.12 \pm 0.23$	2.0
		5–20	$5.09 \pm 0.25$	4.2	$5.00 \pm 0.29$	2.8
	Июль	0–5	$3.67 \pm 0.31$	4.5	$4.16 \pm 0.31$	3.6
		5–20	$4.17 \pm 0.15$	5.5	$4.02 \pm 0.34$	4.3
	Сентябрь	0–5	$4.61 \pm 0.30$	1.3	$4.80 \pm 0.30$	3.0
		5–20	$4.66 \pm 0.28$	1.6	$4.54 \pm 0.24$	3.6
2. Поверхностная обработка	Июнь	0–5	$4.15 \pm 0.27$	3.0	$4.44 \pm 0.26$	3.5
		5–20	$3.95 \pm 0.35$	4.5	$4.05 \pm 0.17$	4.2
	Июль	0–5	$4.13 \pm 0.19$	3.9	$4.68 \pm 0.28$	3.2
		5–20	$4.23 \pm 0.25$	2.3	$4.47 \pm 0.21$	3.8
	Сентябрь	0–5	$4.36 \pm 0.17$	3.1	$4.37 \pm 0.20$	4.9
		5–20	$3.89 \pm 0.25$	1.7	$3.90 \pm 0.26$	4.9

Примечание.  $\pm ts_x$  – доверительная погрешность выборочного среднего. То же в табл. 6.

ность его трансформации, а концентрация  $C_{\text{орг}}$  в определенный период развития сельскохозяйственных культур во многом влияет на процесс питания растений [1]. Внутрисезонная динамика изменений органического углерода почвы при использовании отвальной обработки обнаруживала достоверные минимумы в середине вегетационного сезона (табл. 2). Вероятно, в ходе вегетации яровой пшеницы от весны к периоду уборки в двадцатисантиметровом слое складывались гетерогенные условия для аккумуляции органического углерода. До прохождения растениями яровой пшеницы фазы кушения количество органического вещества почвы было “законсервировано” на уровне осени прошедшего года.

Благоприятные условия для функционирования почвенной биоты определили интенсивный процесс деструкции органических соединений, приведший к значительному сокращению  $C_{\text{орг}}$  в период июля. Далее продукционный процесс яровой пшеницы содействовал пополнению почвы органическим углеродом за счет новых порций мортмассы, детрита и корневых выделений. Коэффициент  $C_{\text{мб}}/C_{\text{орг}}$  демонстрировал высокую степень иммобилизации углерода органического вещества микробной биомассой почвы, свидетельствуя о преобладании процесса анаболизма.

Напротив, на фоне использования дисковых орудий наблюдали сохранение стерни, что препятствовало быстрому прогреванию почвы и сдерживало активность микрофлоры. Поэтому трансформация органических веществ проходила с опозданием. Характер их внутрисезонной дина-

мики в этом случае оценивался как более стабильный (табл. 3).

В связи с многообразием причин, влияющих на вектор превращений органических компонентов почвы, определен вклад изученных условий в вариабельность содержания  $C_{\text{орг}}$ . Наибольшее воздействие на изменчивость органического уг-

**Таблица 3.** Статистическая значимость внутрисезонной динамики содержания  $C_{\text{орг}}$  в черноземах

Вариант	Сроки взятия проб	2014 г.	
		0–5 см	5–20 см
1. Отвальная вспашка	Июнь (1)	$t_1 t_2 > t_{05}$	$t_1 t_2 > t_{05}$
	Июль (2)	$t_1 t_3 > t_{05}$	$t_1 t_3 > t_{05}$
	Сентябрь (3)	$t_2 t_3 > t_{05}$	$t_2 t_3 > t_{05}$
2. Минимальная обработка	Июнь (1)	$t_1 t_2 < t_{05}$	$t_1 t_2 < t_{05}$
	Июль (2)	$t_1 t_3 < t_{05}$	$t_1 t_3 < t_{05}$
	Сентябрь (3)	$t_2 t_3 > t_{05}$	$t_2 t_3 < t_{05}$
2015 г.			
1. Вспашка	Июнь (1)	$t_1 t_2 > t_{05}$	$t_1 t_2 > t_{05}$
	Июль (2)	$t_1 t_3 < t_{05}$	$t_1 t_3 < t_{05}$
	Сентябрь (3)	$t_2 t_3 > t_{05}$	$t_2 t_3 > t_{05}$
2. Минимальная обработка	Июнь (1)	$t_1 t_2 < t_{05}$	$t_1 t_2 > t_{05}$
	Июль (2)	$t_1 t_3 < t_{05}$	$t_1 t_3 < t_{05}$
	Сентябрь (3)	$t_2 t_3 < t_{05}$	$t_2 t_3 > t_{05}$

Примечание. (1), (2), (3) – сравниваемые сроки. То же в табл. 8.

**Таблица 4.** Оценка вклада факторов в изменение содержания органического углерода (двухфакторный анализ ANOVA)

Фактор	Вклад, %			
	2014 г.		2015 г.	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
Вариант обработки почвы	4	23	3	10
Сроки взятия проб	28	6	7	6
Взаимодействие сроков и способов обработки	21	18	21	25
Не учитываемые в опыте факторы	47	53	69	59

**Таблица 5.** Достоверность различий содержания  $C_{орг}$  в слоях 0–5 и 5–20 см ( $t_{05} = 2.1$ ), %

Вариант	Июнь		Июль		Сентябрь	
	$t_{факт}$	$C_{орг}$	$t_{факт}$	$C_{орг}$	$t_{факт}$	$C_{орг}$
2014 г.						
1. Отвальная вспашка	0.4	<u>5.12</u>	–3.2	<u>3.65</u>	–0.5	<u>4.61</u>
		5.09		4.10		4.66
2. Минимальная обработка	2.2	<u>4.19</u>	–0.9	<u>4.13</u>	5.6	<u>4.36</u>
		3.97		4.23		3.89
2015 г.						
1. Отвальная вспашка	0.7	<u>5.12</u>	1.8	<u>4.15</u>	1.7	<u>4.80</u>
		5.00		4.02		4.54
2. Минимальная обработка	2.7	<u>4.44</u>	2.3	<u>4.68</u>	5.4	<u>4.37</u>
		4.05		4.47		3.91

Примечания. 1.  $t_{факт}$  –  $t$ -критерий Стьюдента (фактическая величина). 2. Над чертой – слой 0–5 см, под чертой – слой 5–20 см. То же в табл. 9.

лерода оказывали “не учитываемые в опыте факторы”, что доказывало сложность и комплексность системы органических соединений почвы (табл. 4).

Весьма заметный вклад вносил фактор “взаимодействие”, подтверждая существенность совместного влияния динамических изменений агрометеорологических условий и параметров, определяемых технологией обработки почвы. Тогда как в отдельности эти факторы не обнаруживали достоверного воздействия.

*Изменения содержания  $C_{орг}$  в слоях почвы.* Применение различных технологий обработки почвы сопровождалось преобразованиями пахотного слоя. Исследования свидетельствуют о диффе-

ренциации пахотного слоя почвы по плодородию [5–7]. Многолетний период использования почвозащитной технологии значительно повлиял на разделение сравниваемых слоев почвы по содержанию в них органического углерода (табл. 5). В течение сезона 2014 г. существенные различия между слоями по содержанию  $C_{орг}$  при отвальном перемешивании почвы были только в середине сезона. Причем преимущественное содержание  $C_{орг}$  при данном виде обработки отмечено в слое 5–20 см, свидетельствуя о способности подсеменного слоя аккумулировать достаточно высокие количества органического углерода. Это могло указывать на благоприятное сочетание условий для стабилизации углерода в микроразделах анализируемого почвенного слоя.

При поверхностной обработке почвы наблюдали обратную зависимость. Максимальное содержание  $C_{орг}$  в этом варианте обработки отметили в слое 0–5 см по отношению к нижележащему слою в июне и в сентябре. Следует отметить, что большая разница в содержании  $C_{орг}$  в слоях 0–5 и 5–20 см выявлена в сентябре, причем в этом месяце содержание  $C_{орг}$  в слое 0–5 см было максимальным за весь анализируемый период. По-видимому, в отсутствие оборота пласта основной объем мортмассы и детрита сосредоточился в надсеменном слое и участвовал в пополнении пула органического углерода.

Следующий сезон, в отличие от предыдущего, в варианте отвальной обработки почвы не выявил достоверных различий в содержании  $C_{орг}$  между сравниваемыми слоями. Поверхностная обработка почвы определила существенные различия, как и в 2014 г, с максимумом содержания  $C_{орг}$  в надсеменном слое по отношению к нижележащему.

*Внутрисезонная динамика подвижного органического вещества.* Содержание подвижных органических соединений зависит от запасов органического вещества в почве и может быть подвержено изменениям. Их сезонная изменчивость определяется неодинаковой скоростью отмирания, поступления и разложения растительных остатков, в том числе различной интенсивностью их трансформации в новообразованные гумусовые вещества [8]. Используемые в опыте технологии обработки почвы обусловили значимые различия в концентрации и динамике подвижных соединений углерода в вегетационных сезонах 2014–2015 гг. (табл. 6).

Показано, что многолетняя отвальная вспашка достоверно стимулировала образование подвижных форм органических соединений в сравнении с поверхностной обработкой в течение 2-х лет на-

**Таблица 6.** Статистические параметры содержания и динамики фракции  $C_{0.1 \text{ н. NaOH}}$  в черноземе выщелоченном, %

Вариант	Срок взятия проб	Слой, см	$x^- \pm ts_x$	$V, \%^*$	$x^- \pm ts_x$	$V, \%^*$
			2014 г.		2015 г.	
1. Отвальная вспашка	Июнь	0–5	$0.72 \pm 0.03$	17	$0.52 \pm 0.04$	14
		5–20	$0.67 \pm 0.03$	18	$0.49 \pm 0.07$	14
	Июль	0–5	$0.51 \pm 0.03$	22	$0.55 \pm 0.11$	36
		5–20	$0.44 \pm 0.03$	24	$0.44 \pm 0.08$	33
	Сентябрь	0–5	$0.49 \pm 0.03$	25	$0.59 \pm 0.02$	7
		5–20	$0.40 \pm 0.02$	23	$0.53 \pm 0.02$	8
2. Минимальная обработка	Июнь	0–5	$0.53 \pm 0.03$	20	$0.50 \pm 0.05$	18
		5–20	$0.51 \pm 0.03$	18	$0.50 \pm 0.06$	21
	Июль	0–5	$0.57 \pm 0.03$	20	$0.30 \pm 0.05$	30
		5–20	$0.49 \pm 0.02$	18	$0.43 \pm 0.06$	27
	Сентябрь	0–5	$0.67 \pm 0.03$	20	$0.51 \pm 0.03$	11
		5–20	$0.55 \pm 0.03$	24	$0.55 \pm 0.08$	24

\* $V, \%$  – коэффициент вариации.

**Таблица 7.** Доля подвижного органического вещества ( $C_{0.1 \text{ н. NaOH}}/C_{\text{орг}}$ ), %

Вариант	Июнь		Июль		Сентябрь	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
2014 г.						
1. Отвальная вспашка	14	13	12	11	13	10
2. Минимальная обработка	12	11	13	11	15	12
2015 г.						
1. Отвальная вспашка	9	10	13	11	12	11
2. Минимальная обработка	11	12	9	11	11	11

блюдений. Информация о доле щелочнорастворимого углерода в составе  $C_{\text{орг}}$  также свидетельствовала о наибольшей степени его подвижности в начале сезона 2014 г. при использовании отвальной вспашки (табл. 7). Вероятно, это явление определяли перемешивание почвы, увеличение аэрации и, как следствие, усиление минерализационных процессов. Кроме того, повышение количества новообразованных органических соединений совпадало с максимумом продукционного процесса колосовых культур. К периоду их созревания подвижность соединений, переходящих в вытяжку  $C_{0.1 \text{ н. NaOH}}$  ослабевала. Уплотнение почвы и смена условий тепло- и влагообеспеченности обусловили сокращение фонда подвижных соединений.

В целом, степень подвижности органических соединений в почве сравниваемых вариантов оценили как низкую, тогда как, по данным [9] для черноземов земледельческой территории Крас-

ноярского края, доля  $C_{0.1 \text{ н. NaOH}}$  от  $C_{\text{орг}}$  варьировала в интервале 18–20%. Это было связано с насыщенностью исследованных агроценозов злаковыми культурами. Обогащение их растительных тканей трудногидролизуемыми соединениями и широкое соотношение  $C : N$  обеспечивали слабую деструкционную способность органических компонентов старопахотных черноземов.

Динамика содержания подвижных соединений, переходящих в щелочной экстракт, была статистически достоверной, однако векторы этих изменений в течение периода наблюдений различались (табл. 8). Например, оборот пласта вызывал достоверное уменьшение фракции  $C_{0.1 \text{ н. NaOH}}$  от июня к окончанию вегетационного периода, свидетельствуя о преобладании минерализации. Тренд на их снижение свидетельствовал о биодоступности органических соединений при обороте пласта почвы. Более того, посевы в этом варианте были изреженными, что, вероятно, усиливало

**Таблица 8.** Статистическая значимость внутрисезонной динамики содержания фракции  $C_{0.1 \text{ н. NaOH}}$ 

Вариант	Сроки взятия проб	$t_{\text{факт}}$	
		0–5 см	5–20 см
2014 г.			
1. Отвальная вспашка	Июнь	$t_1 t_2 > t_{05}$	$t_1 t_2 > t_{05}$
	Июль	$t_1 t_3 > t_{05}$	$t_1 t_3 > t_{05}$
	Сентябрь	$t_2 t_3 < t_{05}$	$t_2 t_3 > t_{05}$
2. Минимальная обработка	Июнь	$t_1 t_2 < t_{05}$	$t_1 t_2 < t_{05}$
	Июль	$t_1 t_3 > t_{05}$	$t_1 t_3 < t_{05}$
	Сентябрь	$t_2 t_3 > t_{05}$	$t_2 t_3 > t_{05}$
2015 г.			
1. Отвальная вспашка	Июнь	$t_1 t_2 < t_{05}$	$t_1 t_2 < t_{05}$
	Июль	$t_1 t_3 > t_{05}$	$t_1 t_3 > t_{05}$
	Сентябрь	$t_2 t_3 > t_{05}$	$t_2 t_3 > t_{05}$
2. Минимальная обработка	Июнь	$t_1 t_2 > t_{05}$	$t_1 t_2 < t_{05}$
	Июль	$t_1 t_3 > t_{05}$	$t_1 t_3 > t_{05}$
	Сентябрь	$t_2 t_3 > t_{05}$	$t_2 t_3 > t_{05}$

**Таблица 9.** Достоверность различий содержания фракции  $C_{0.1 \text{ н. NaOH}}$  (%) в сравниваемых слоях ( $t_{05} = 2.1$ )

Вариант	Июнь		Июль		Сентябрь	
	$t_{\text{факт}}$	$C_{\text{орг}}$	$t_{\text{факт}}$	$C_{\text{орг}}$	$t_{\text{факт}}$	$C_{\text{орг}}$
	2014 г.					
1. Отвальная вспашка	1.6	<u>0.72</u> 0.67	5.1	<u>0.51</u> 0.44	8.1	<u>0.49</u> 0.40
2. Минимальная обработка	0.0	<u>0.53</u> 0.51	4.4	<u>0.57</u> 0.49	1.4	<u>0.66</u> 0.55
2015 г.						
1. Отвальная вспашка	2.0	<u>0.52</u> 0.49	2.8	<u>0.55</u> 0.45	4.1	<u>0.59</u> 0.53
2. Минимальная обработка	0.6	<u>0.50</u> 0.50	2.3	<u>0.27</u> 0.43	5.8	<u>0.49</u> 0.55

приход солнечной радиации и увеличивало температуру почвы.

Напротив, существенное сокращение глубины обработки сопровождалось ослаблением процессов разложения и накоплением подвижного органического вещества к окончанию вегетационного сезона. Экспериментальные данные свидетельствовали о положительной роли минимизации поверхностных обработок в формировании пула подвижного органического вещества. Во-первых, минимальное механическое воздействие на почву

повышало физическую защищенность органических соединений, их ограниченную доступность для микроорганизмов и кислорода почвенного воздуха. Во-вторых, состояние посевов яровой пшеницы, возделываемой по минимальной технологии, отличалось густым и замкнутым стеблестоем и не инициировало процессы минерализации.

Исследование пространственной изменчивости содержания фракции  $C_{0.1 \text{ н. NaOH}}$  выявило его высокий уровень в изученных вариантах. Причиной этого процесса была объективная закономерность, связанная с проявлением мозаичности биохимических процессов, обусловленных неравномерностью поступления и трансформации растительного материала в почве.

Вегетационный сезон 2015 г. отличался иным ходом динамики содержания подвижного органического вещества (табл. 8). Под влиянием отвальной вспашки в слое 0–20 см почвы зафиксировано достоверное увеличение содержания щелочнорастворимых гумусовых соединений к осеннему периоду. Также отмечено и некоторое увеличение степени их мобильности. Противоположный характер трансформации подвижного органического вещества, вероятно, был обусловлен иным уровнем атмосферного увлажнения второй половины лета и осени 2015 г.

Сокращение глубины механического воздействия на почву вызывало в слое 0–20 см почвы существенное снижение содержания гумусовых веществ, перешедших в щелочную вытяжку к середине лета, а затем довольно значимый рост их количества к осени. Наблюдаемое свидетельствовало о возможной стабилизации органических соединений в ходе структурообразования и замедления минерализационных процессов.

В варианте с отвальной вспашкой в июле–сентябре 2014–2015 гг. содержание щелочнорастворимого углерода в поверхностном слое 0–5 см по сравнению с нижележащим слоем было достоверно больше (табл. 9). В период максимальных среднесуточных температур воздуха (июнь) между сравниваемыми слоями существенных различий не выявлено.

Применение поверхностной обработки обнаружило достоверные различия содержания щелочнорастворимого углерода только в июле. При этом сохранялась тенденция к доминированию содержания щелочнорастворимого углерода в слое 0–5 см. Вероятно, процесс новообразования почвенного органического вещества в почве этого варианта совершался с большей интенсивностью благодаря оптимальным гидротермическим условиям.

Содержание щелочнорастворимого углерода в почве в 2015 г. достоверно различалось во всех вариантах обработки в период июль–сентябрь. При отвальной вспашке в слое 0–5 см содержание щелочнорастворимого углерода статистически значимо было больше, чем в почве нижележащего слоя. При минимальной обработке отмечена обратная закономерность – превышение содержания фракции щелочнорастворимого углерода в слое 5–20 см по сравнению со слоем 0–5 см.

В.В. Пономарева [10] отмечала, что корни верхнего слоя 0–10 см должны быть интенсивными продуцентами водорастворимых корневых выделений, а они имеют возможность в какой-то степени “растекаться” по всему почвенному профилю.

При отвальной вспашке достоверные различия наблюдали в июле, при этом в слое 0–5 см выявлено превышение содержания фракции щелочнорастворимого углерода по сравнению с нижележащим слоем. Это было обусловлено замедлением процесса гумификации в слое 5–20 см вследствие недостатка элементов, способствующих этому процессу.

### ВЫВОДЫ

1. При отвальном способе обработки почвы отмечена более отчетливая внутрисезонная динамика содержания органического углерода почвы. Фактор обработки оказывал существенное влияние на изменение содержания органического углерода в черноземе выщелоченном.

2. Отвальная технология обработки почвы не вызывала существенную дифференциацию пахотного слоя, а в отдельные периоды вегетации колосовых культур способствовала накоплению значимых количеств  $C_{орг}$  в слое 5–20 см относительно верхнего слоя 0–5 см. При минимальной обработке, напротив, отмечена достоверная раз-

ница между сравниваемыми слоями по содержанию  $C_{орг}$  с максимумом в верхнем слое 0–5 см.

3. Примененные в опыте технологии основной обработки почвы определили значимые различия в содержании и динамике подвижных соединений углерода. Пространственное варьирование содержания подвижных форм органических соединений оценили как высокое.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов В.М., Лебедева Т.Н. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты // Агрохимия. 2015. № 11. С. 3–12.
2. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
3. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах. Л.: Наука, 1975. 105 с.
4. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. № 3. P. 215–221.
5. Холзаков В.М. О дифференциации пахотного слоя по плодородию при разных системах обработки почвы // Всерос. научн.-практ. конф., посвящ. памяти уральских ученых. Сб. науч. тр. Екатеринбург, 2001. Т. 1. С. 94–104.
6. Коржов С.И., Трофимова Т.А., Маслов В.А. Дифференциация пахотного слоя по плодородию в зависимости от приемов основной обработки почвы // Усп. совр. науки. 2016. Т. 1. № 2. С. 13–16.
7. Манторова Г.Ф., Зайкова Л.А. Эффективное плодородие частей пахотного слоя почвы // Аграр. Россия. 2014. № 11. С. 7–10.
8. Чупрова В.В. Запасы, состав и трансформация органического вещества в агропочвах Средней Сибири // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 90. С. 96–115.
9. Чупрова В.В. Состояние и функционирование черноземов Средней Сибири // Почвы Сибири: Особенности функционирования и использования: Сб. научн. ст. Красноярск, 2003. С. 11–14.
10. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 221 с.

## Dynamics of the Content of Organic Matter of Chernozems in Conditions of Minimization of Processing in Krasnoyarsk Forest-Steppe

A. A. Belousov<sup>a, #</sup> and E. N. Belousova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, ul. Eleny Stasovoy 44, Krasnoyarsk 660049, Russia

<sup>#</sup>E-mail: svoboda57130@mail.ru

The influence of the moldboard plowing of soil treatment and surface disking on the content of organic carbon and its mobile components was investigated. The use of minimum processing for nine years contributed to a significant difference between the compared layers of organic carbon content with the maximum in the surface layer. Moldboard plowing significantly stimulated the formation of mobile forms of organic compounds in comparison with surface treatment. The content of mobile organic matter in the soil treated by the dump method and disk tools was estimated at one level.

*Key words:* organic carbon, mobile organic matter, microbial biomass, soil protection technologies.