

УДК 631.51:631.417.1:631.465

ВЛИЯНИЕ ПОЧВОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ

© 2022 г. Е. Н. Белоусова¹, А. А. Белоусов^{1,*}

¹Красноярский государственный аграрный университет
660049 Красноярск, просп. Мира, 90, Россия

*E-mail: svoboda57130@mail.ru

Поступила в редакцию 15.08.2021 г.

После доработки 01.12.2021 г.

Принята к публикации 15.01.2022 г.

Рассмотрена динамика содержания подвижных компонентов органического вещества почвы в условиях освоения почвозащитных технологий. Применение мелкой плоскорезной обработки обусловливало статистически значимое высвобождение водорастворимых и щелочнорастворимых органических соединений. Степень дифференциации корнеобитаемого слоя (0–20 см) почвы по биохимическим показателям определена направленностью трансформации органического вещества и в большей степени была выражена при использовании мелкой плоскорезной обработки. Показано, что неглубокая плоскорезная обработка почвы способствовала образованию водорастворимого органического вещества и вызывала существенную дифференциацию слоев 0–10 и 10–20 см по его содержанию. Оценена роль ферментов каталазы и инвертазы в направленности превращений органических соединений при освоении почвозащитных технологий обработки почвы.

Ключевые слова: органический углерод, подвижные органические соединения, почвозащитные технологии, ферментативная активность, верхний слой почвы, чернозем обыкновенный, Красноярская лесостепь.

DOI: 10.31857/S0002188122040044

ВВЕДЕНИЕ

Оптимизация органического вещества в почвах является одной из важнейших задач земледелия, решение которой создает необходимые условия для роста его продуктивности и устойчивости [1]. Подвижная фракция органического вещества выполняет одну из основных функций в формировании эффективного плодородия и диагностически чувствительно реагирует на смену способа основной обработки почвы [2]. В системах земледелия Красноярского региона доля почвозащитных технологий в последнее время повышается. В основе почвозащитных технологий лежит моделирование природного, естественного процесса почвообразования с оставлением стерни и пожнивных остатков на поверхности почвы. Информации о динамике подвижного органического вещества и ее компонентах в почвах при использовании этих воздействий недостаточно [3, 4]. Среди биологических критериев оценки экологического состояния почв наиболее отзывчивым показателем является и активность почвенных ферментов [5]. Способы безотвальной обработки почвы существенно изменяют условия функционирования

почвенных ферментов. Выбор оптимального способа должен соотноситься не только с выяснением благоприятных физико-химических свойств почвенной системы, но и с определением своеобразного сбалансированного интервала активности почвенной биоты, в т.ч. и активности ферментов. Каталазная и инвертазная активности, которые являются одним из индикаторов напряженности биологических процессов в почве [6].

Цель работы – исследование динамики содержания подвижных соединений органического углерода и каталазной и инвертазной активности при использовании отвальной и поверхностных способов обработки черноземов Красноярской лесостепи.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в производственном опыте ООО «ОПХ «Дары Малиновки» Сухобузимского р-на в Красноярской лесостепи, в пределах Чулымо-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири (56°10'с.ш. и 91°47'в.д.).

Таблица 1. Метеорологические показатели в годы наблюдений

Год	Месяц					Сумма активных температур
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Средняя температура воздуха, °С						
2017	11.0	20.3	19.5	16.8	8.5	2074
2018	8.1	20.5	18.6	18.3	10.1	2061
2019	12.5	20.2	19.1	16.5	9.1	2381
Норма (1961–1990)	8.7	15.2	17.6	14.8	8.8	1833
Осадки, мм						
2017	28.0	30.0	79.0	81.0	81.0	299
2018	29.0	29.0	33.0	21.0	58.0	170
2019	37.0	24.0	40.3	32.1	64.0	280
Норма (1961–1990)	50.0	61.0	95.0	78.0	48.0	332

Объект исследований – чернозем обыкновенный среднегумусный среднемощный тяжелосуглинистый на красно-бурой глине. Почва опыта в пахотном слое содержала 6.5% органического углерода, подвижного фосфора – 295–320, обменного калия – 127–138 мг/кг, рН_{Н₂О} близок к нейтральному (6.7 ед. рН).

В границах производственных посевов заложены реперные участки прямоугольной формы общей площадью 1200 м² с учетной площадью 600 м². В пределах каждого участка выделяли 3 повторности площадью 200 м². Выбор элементов методики полевого опыта обусловлен влиянием внутрипольной неоднородности почвенного плодородия опытного стационара [7]. Почвенные образцы отбирали в сроки, приуроченные к фазам развития сельскохозяйственных культур, из слоев 0–10 и 10–20 см методом змейки. Объем выборки, рассчитанный, исходя из уровня варьирования плодородия почвы на участке, составлял $n = 12$. Схема опыта предусматривала исследование почвозащитного влияния минимальных технологий обработки почвы. Исследования проводили в звене севооборота: пар–яровая пшеница–ячмень. Для изучения были выбраны следующие варианты: 1 – отвальная (st) – вспашка на глубину 25–27 см плугом Gregoire Besson SPLM B9, в вегетационный сезон 2017 г. почву обрабатывали в 1-ю декаду июня по типу раннего пара с последующими культивациями на глубину 5–7 см по мере отрастания сорных растений, в 2018 г. – вспашка на глубину 25–27 см с предпосевной культивацией на 5–7 см АПК-7.2+БЗТС-1; 2 – минимальная обработка (поверхностное дискование) дискатором БДМ-Агро БДМ 6 × 4П на глубину 10–12 см: в 2017 г. почву обрабатывали по типу стернового пара, в 2018 г. – боронование с предпосевной культивацией на 5–7 см АПК-7.2 + БЗТС-1; 3 – плоскорезная культивация культиватором Ярославич КБМ-10.8 ПС-4 на глубину

10–12 см: в 2017 г. почву обрабатывали по типу стернового пара, на следующий год – боронование с предпосевной культивацией на 5–7 см АПК-7.2 + БЗТС-1.

В 2018 г. на опытном поле возделывали яровую пшеницу сорта Новосибирская-31, в вегетационный сезон 2019 г. – ячмень сорта Ача.

Химические и физико-химические показатели определяли общепринятыми методами: $C_{орг}$ – по Тюрину, 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 водорастворимого органического вещества (C_{H_2O}) определяли по Тюрину, щелочнорастворимого углерода ($C_{0.1NaOH}$) – по Тюрину в модификации Пономаревой–Плотниковой [9]. Ферментативную активность почвы определяли следующими методами: каталазу – газометрическим методом, инвертазу – фотокolorиметрическим по Галстяну [10]. Статистический анализ данных проводили методом однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа с использованием пакета программ MS Excel.

Агрометеорологические условия вегетационных сезонов 2017–2019 гг. складывались по-разному (табл. 1). Накопление суммы активных температур было значительно больше среднемноголетних показателей, количество осадков, напротив, существенно уступало норме. Вторая половина лета первого года исследования (2017 г.) характеризовалась значительным количеством осадков, относительно 2018–2019 гг. наблюдений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные нами данные указывали на высокое содержание органического углерода ($C_{орг} = 6500$ мг/100 г) с пространственной вариабель-

Таблица 2. Содержание водорастворимого органического вещества (ВОВ) и доля C_{H_2O} от $C_{орг}$

Вариант	0–10 см			10–20 см		
	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
2017 г.						
1. Отвальная	–	<u>79</u> 1.0	<u>70</u> 1.0	–	<u>79</u> 1.1	<u>65</u> 0.9
2. Минимальная	–	<u>72</u> 1.3	<u>102</u> 1.7	–	<u>71</u> 1.3	<u>102</u> 1.7
3. Плоскорезная	–	<u>92</u> 1.6	<u>107</u> 1.4	–	<u>70</u> 1.2	<u>109</u> 1.5
HCP_{05}	–	6.2	9.9	–	$F_{\phi} < F_T$	6.7
2018 г.						
1. Отвальная	<u>65</u> 1.4	<u>104</u> 1.6	<u>59</u> 0.8	<u>67</u> 1.1	<u>96</u> 1.5	<u>58</u> 0.8
2. Минимальная	<u>68</u> 1.2	<u>99</u> 1.6	<u>60</u> 0.9	<u>67</u> 0.9	<u>101</u> 1.7	<u>64</u> 0.9
3. Плоскорезная	<u>103</u> 1.6	<u>105</u> 1.9	<u>65</u> 1.0	<u>105</u> 1.6	<u>106</u> 1.4	<u>56</u> 0.9
HCP_{05}	5.3	$F_{\phi} < F_T$	4.4	6.4	$F_{\phi} < F_T$	5.8
2019 г.						
1. Отвальная	<u>90</u> 1.4	<u>81</u> 1.2	<u>103</u> 1.5	<u>82</u> 1.3	<u>78</u> 1.1	<u>92</u> 1.4
2. Минимальная	<u>86</u> 1.4	<u>84</u> 1.1	<u>91</u> 1.3	<u>84</u> 1.4	<u>82</u> 1.2	<u>92</u> 1.3
3. Плоскорезная	<u>84</u> 1.2	<u>77</u> 0.9	<u>87</u> 1.2	<u>82</u> 1.2	<u>77</u> 0.9	<u>93</u> 1.2
HCP_{05}	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$

Примечание. Над чертой – мг $C_{ВОВ}/100$ г, под чертой – доля C_{H_2O} от $C_{орг}$, %.

ностью 14%. За трехлетний период использования безотвальных технологий обработки в слое 0–20 см не зарегистрировано существенных изменений в его содержании между сравниваемыми вариантами. Это вполне согласовалось с точкой зрения [1], указавших на значительную устойчивость органического вещества старопашотных почв.

Содержание водорастворимых соединений в почве – показатель оперативной диагностики, т.к. они наиболее чувствительны к изменению природных и антропогенных факторов. Рассмотрим, как исследованные технологии обработки повлияли на содержание водорастворимого органического вещества почвы (табл. 2). Согласно системе показателей гумусного состояния, предложенной [11], концентрация водорастворимых органических соединений в 0–20 см слое черноземов соответствовала “высокому” уровню. В вегетационный сезон 2017 г. почва, обработанная по типу раннего чистого пара в условиях отвальной обработки, содержала существенно меньше веществ, переходящих в водную вытяжку относительно минимальных технологий. Приемы безотвального

рыхления отличались достоверными максимумами к окончанию уже первого периода наблюдений.

В течение вегетационного периода 2018 г. доля водорастворимой фракции в почве под посевами яровой пшеницы, возделываемой приемами отвальной технологии, имела тенденцию к уменьшению и оценивалась как “повышенная”. Сезонная динамика органических соединений, переходящих в жидкую фазу почвы делянок, обрабатываемых дисковыми боронами, имела схожую направленность. Применение плоскорезных орудий обеспечило наиболее высокое содержание водорастворимых органических соединений на протяжении периода июнь–июль, соответствующих высокому уровню. К уборке, когда легкодоступные источники питания были исчерпаны и накоплены труднодоступные соединения, в почве всех вариантов наблюдали существенное уменьшение концентрации водорастворимого углерода. С глубиной аккумуляция C_{H_2O} в результате процесса нисходящего переноса органических соединений из слоя 0–10 см, обогащенного соломистой мульчей и растительными остатками предыдущих сезонов, слабо увеличивалась при

Таблица 3. Содержание щелочерастворимого органического углерода, мг С/100 г

Вариант	0–10 см			10–20 см		
	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
2017 г.						
1. Отвальная	–	<u>69</u> 79.6	<u>706</u> 10.7	–	<u>733</u> 10.3	<u>670</u> 9.9
2. Минимальная	–	<u>760</u> 13.2	<u>623</u> 10.6	–	<u>753</u> 13.8	<u>639</u> 10.8
3. Плоскорезная	–	<u>751</u> 13.2	<u>645</u> 8.6	–	<u>781</u> 13.9	<u>569</u> 7.7
<i>HCP</i> ₀₅	–	$F_{\Phi} < F_T$	$F_{\Phi} < F_T$	–	$F_{\Phi} < F_T$	77
2018 г.						
1. Отвальная	<u>540</u> 8.7	<u>865</u> 12.9	<u>531</u> 7.2	<u>551</u> 9.2	<u>791</u> 12.9	<u>385</u> 5.3
2. Минимальная	<u>767</u> 13.2	<u>822</u> 13.7	<u>861</u> 12.7	<u>765</u> 10.6	<u>838</u> 14.3	<u>841</u> 12.3
3. Плоскорезная	<u>855</u> 13.3	<u>874</u> 15.7	<u>549</u> 8.4	<u>869</u> 13.5	<u>875</u> 11.8	<u>465</u> 7.3
<i>HCP</i> ₀₅	45	$F_{\Phi} < F_T$	62	51	$F_{\Phi} < F_T$	63
2019 г.						
1. Отвальная	<u>582</u> 8.9	<u>606</u> 9.3	<u>650</u> 9.8	<u>569</u> 9.0	<u>645</u> 9.4	<u>527</u> 7.9
2. Минимальная	<u>599</u> 9.6	<u>684</u> 9.4	<u>615</u> 8.9	<u>527</u> 8.8	<u>523</u> 7.6	<u>608</u> 8.7
3. Плоскорезная	<u>628</u> 8.8	<u>736</u> 8.8	<u>587</u> 8.1	<u>581</u> 8.3	<u>560</u> 6.8	<u>587</u> 7.7
<i>HCP</i> ₀₅	$F_{\Phi} < F_T$	160	$F_{\Phi} < F_T$	$F_{\Phi} < F_T$	$F_{\Phi} < F_T$	$F_{\Phi} < F_T$

Примечание. Над чертой – содержание C_{NaOH} , мг/100 г, под чертой – доля C_{NaOH} от $C_{орг}$, %.

применении отвальной и почвозащитных обработок. Достоверных различий между вариантами в этом случае не обнаружено.

В поле ячменя, следовавшего за яровой пшеницей, наблюдали существенное снижение концентрации водорастворимого органического вещества в летний период во всех вариантах опыта. Полученные данные свидетельствовали об отсутствии достоверных различий в содержании C_{H_2O} в вариантах опыта.

Использование в качестве экстрагента 0.1 н. NaOH высвобождает подвижные щелочнорастворимые органические соединения. В вариантах отвальной вспашки и безотвальных технологий в течение июля 2017 г. регистрировали высокие темпы трансформации неразложившихся растительных остатков и подземного органического вещества предшествующих культур в условиях чистого пара. К концу вегетационного сезона содержание подвижных гумусовых веществ заметно уменьшалось в слое 10–20 см. Минимальные

концентрации C_{NaOH} найдены в почве, обработанной культиватором-плоскорезом (табл. 3). По-видимому, это было обусловлено активизацией процессов жизнедеятельности микроорганизмов в результате проведенных механических обработок почвы, усилением ее аэрации и недостаточным поступлением энергетического субстрата. Сезонный ритм щелочегидролизующих соединений в слое 0–10 см под посевами яровой пшеницы указывал на их существенное преобладание в почве на фоне применения безотвальных технологий.

Обнаруженное влияние плоскорезной обработки заключается в том, что стерня, остающаяся на поверхности, сглаживает температурные колебания, уменьшая интенсивность разрушающего структуру промораживания [12]. В результате в течение летнего периода наблюдали относительный избыток лабильных органических соединений, сменяющийся существенной убылью в конце вегетации яровой пшеницы. Использование поверхностной обработки дисковым сопровождалось достоверным накоплением лабильного

Таблица 4. Оценка вклада агроэкологических факторов в изменение содержания C_{H_2O} , C_{NaOH} в черноземе обыкновенном

Подвижное органическое вещество	Фактор	Уровень значимости p		Показатель силы влияния (ПСВ), %	
		0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
C_{H_2O}	Способ обработки (А)	0.00*	0.00*	5	6
	Динамика (сроки) (В)	0.00*	0.00*	44	48
	Взаимодействие (АВ)	0.00*	0.00*	24	25
	Не учитываемые факторы			27	21
C_{NaOH}	Способ обработки (А)	0.00*	0.00*	5	4
	Динамика (сроки) (В)	0.00*	0.00*	32	39
	Взаимодействие (АВ)	0.00*	0.00*	28	28
	Не учитываемые факторы			35	29

*Различия достоверны.

органического вещества в фазе уборки колосовых культур. В нижней части корнеобитаемого слоя 10–20 см в почве варианта, где использовали поверхностное дискование, фиксировали значимый прирост содержания подвижного органического вещества. На наш взгляд, измельчение растительных остатков при дисковании способствовало истертости растительных тканей и их разложению. Динамические изменения концентрации C_{NaOH} в почве агроценозов ячменя во всех вариантах опыта свидетельствовало о снижении уровня гидролиза органических соединений.

Вероятно, существенное влияние на деактивацию процесса высвобождения легкоминерализуемых органических соединений углерода оказывал химический состав поступающего в почву растительного материала злаковых культур. Весьма важную роль в этом случае играла насыщенность растительных тканей трудногидролизуемыми компонентами, широкое отношение $C : N$, а также способ заделки растительных остатков. Анализ данных оценки вклада агроэкологических факторов в изменение подвижных компонентов органического вещества агрочернозема указывал на влияние агрометеорологических условий, воздействие которых существенно изменяло направленность процессов превращения органических веществ (табл. 4). Полученные результаты нашли подтверждение в опубликованных научных материалах [13], свидетельствующих о коротком периоде интенсивных биологических процессов, приводящих к неполной гумификации растительных остатков.

Относительно слабое влияние фактора “обработка почвы”, тем не менее, не означает отсутствие его воздействия. По-видимому, особенности обработки почвы создавали “своеобразные” агрофизические условия для проявления биоло-

гической активности, в том числе изменения структуры микробного комплекса. Не менее важный эффект оказывали развивающиеся корневые системы растений и их экссудаты, отличающиеся высокой лабильностью.

Первые годы наблюдений выявили следующие параметры каталазной активности. В период июнь–июль 2017 г., предшествующий вариантам обработки, каталазная активность характеризовалась, согласно шкале [14], средним уровнем (табл. 5). Наименьшей активностью в слое 0–10 см отличался участок, предназначенный под плоскорезное рыхление. В нижележащем слое достоверных отличий не обнаружено. В последней декаде июля на опытном стационаре была проведена обработка согласно принятой схеме опыта. Спустя 1.5 мес. в сентябре, в процессе перехода в новое состояние сложения почвы каталазная активность диагностировала повышенную способность к гетеротрофному синтезу органических соединений, благодаря высокоактивному кислороду, образуемому при участии каталазы. Вегетирующие растения яровой пшеницы в следующем сезоне в целом обусловили усиление активности фермента в почве всех вариантов. Фактически это подтвердило многочисленные исследования о роли корневых систем в стимулировании каталазной активности, в т.ч. в ризосфере злаковых культур [15]. Физиологами растений давно установлена сезонная неравномерность продуцирования корневых экссудатов [16]. Формирование подземного пула органического вещества в первой половине лета 2018 г. благоприятствовало окислительным процессам в условиях минимальной обработки. Для слоя 0–10 см величины активности достоверно превышали уровень активности каталазы, характерный для вариантов с обработкой отвальным плугом и культиватором-

Таблица 5. Активность каталазы в вариантах опыта, см³ O₂/г/мин

Вариант	0–10 см			10–20 см		
	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
2017 г.						
1. Отвальная	–	5.5	5.1	–	6.2	3.8
2. Дискование	–	5.7	5.9	–	5.9	6.0
3. Плоскорезная	–	5.0	5.1	–	5.5	5.3
<i>HCP</i> ₀₅	–	0.6	0.4	–	$F_{\phi} < F_T$	1.1
2018 г.						
1. Отвальная	6.4	6.4	4.1	7.1	6.8	4.0
2. Дискование	6.8	6.8	6.8	7.1	7.0	6.8
3. Плоскорезная	6.2	6.2	7.2	6.5	6.5	7.4
<i>HCP</i> ₀₅	0.4	0.4	0.4	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	0.7
2019 г.						
1. Отвальная	7.9	8.8	46.1	8.2	9.2	10.0
2. Дискование	7.1	8.3	7.7	7.1	8.7	11.9
3. Плоскорезная	8.9	8.5	8.5	8.3	8.9	10.3
<i>HCP</i> ₀₅	1.0	$F_{\phi} < F_T$	1.2	1.1	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$

плоскорезом. Вероятно, поверхностное дискование способствовало крошению почвы, а последующее нарастание корневой массы и детритосферы обеспечило активность каталазы в почве варианта. Осенью, когда корневая система пшеницы прекращала активное функционирование в почве, обработанной бесплужным способом, уровень разрушения пероксида водорода оставался существенно выше относительно уровня данного показателя для вспаханной почвы. Это свидетельствовало о роли в каталазной активности не только корневых систем, но и условий, складывающихся в результате применения той или иной основной обработки почвы.

В течение всего периода наблюдений регистрировали повышение каталазной активности в почве всех вариантов. Максимальные показатели были выявлены в июле в слое 0–10 см и в сентябре в слое 10–20 см. В подпосевном слое активность фермента имела более высокие статистически достоверные показатели. Вероятно, в этот период происходил интенсивный отток в почву с корневыми экссудатами продуктов фотосинтеза вместе с заключенными в них элементами питания.

Полагаем, что посеvy ячменя, возделываемые после яровой пшеницы при безотвальной обработке, сформировали более мощный запас биомассы корней, а, по данным [16], именно в ризосфере злаковых культур активность фермента биогенного происхождения особенно выражена. В период высоких среднесуточных температур, в

последнюю пятидневку июня плоскорезное рыхление культиватором и нарастание биомассы ячменя существенно стимулировало каталазную активность, особенно в поверхностном слое. К середине лета окислительные процессы проявляли тенденцию к повышению, которая пролонгировалась до сентября. Таким образом, данное исследование подтвердило закономерность о существенном влиянии корней злаковых культур на уровень продуцирования почвенной каталазы.

Стадия ферментативного превращения углеводов в почве представляет собой важнейшее звено круговорота углерода в природе. Активность инвертазы является не только свидетелем интенсивности разложения углеводов в почве, но может диагностировать о начале глубоких изменений свойств почв [15], а ее обработка существенно изменяет условия и направление почвенно-биологических процессов.

Наименьшей активностью инвертазы в период начала внедрения почвозащитных технологий обработки в слое 0–10 см отличались участки, обработанные отвальным плугом и плоскорезом (табл. 6). По шкале активности они оценивались как “слабые”.

В этот период температурные условия благоприятствовали инвертазной активности, однако, по-видимому, формирование слабого уровня активности фермента было связано с другими факторами. Исходя из положений системно-экологической концепции, в блоке продуцирования

Таблица 6. Активность инвертазы в вариантах опыта, мг глюкозы/г/24 ч

Вариант	0–10 см			10–20 см		
	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
2017 г.						
1. Отвальная	—	9	19	—	15	27
2. Минимальная	—	36	21	—	35	17
3. Плоскорезная	—	11	38	—	14	35
<i>HCP</i> ₀₅	—	15	13	—	6	11
2018 г.						
1. Отвальная	35	27	18	31	28	21
2. Минимальная	31	24	29	27	20	19
3. Плоскорезная	30	30	21	26	24	20
<i>HCP</i> ₀₅	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$
2019 г.						
1. Отвальная	20	25	36	19	29	31
2. Минимальная	28	27	33	26	26	30
3. Плоскорезная	29	30	28	23	11	28
<i>HCP</i> ₀₅	5	$F_{\phi} < F_T$	4	4	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$

ферментов сложились неблагоприятные условия. Наблюдения, проведенные через 2 мес. (к сентябрю 2017 г.), показали “средний” ферментный потенциал в почве всех сравниваемых вариантов. Повышение активности инвертазы осенью свидетельствовало об усилении в этот период гидролитических процессов. Это подтверждали исследования о повышении интенсивности гидролитических процессов с увеличением влажности почвы [17]. Наибольшей активностью в этот период оценивали почву варианта с плоскорезной обработкой. В период вегетации яровой пшеницы в целом выявлены более высокие показатели активности инвертазы во всех сравниваемых вариантах, однако достоверных различий между ними не отметили. В июне 2018 г., на фоне отвальной вспашки наблюдали максимальную активность инвертазы в слое 0–10 см.

При применении плоскорезной обработки активность инвертазы уступала обоим сравниваемым вариантам. На глубине 10–20 см выявлена та же закономерность. Полученные нами результаты свидетельствовали, что при глубокой отвальной обработке, если ее проводить правильно по способу, месту в севообороте и по сроку, создается мощный биологически активный высокоплодородный пахотный слой. Тем не менее, отмечено, что в динамике, в течение вегетационного сезона активность инвертазы в варианте с отвальной вспашкой несколько снижалась и становилась более близкой к активности сравниваемых вари-

антов. Особенно это было характерно для слоя 0–10 см, в сентябре. В недостаточно влажном и жарком 2018 г. в целом активность инвертазы снижалась, особенно в осенний период.

В течение всего периода наблюдений регистрировали повышение инвертазной активности в почве всех вариантов. Максимальные показатели были выявлены в сентябре в слоях 0–10 см и 10–20 см. Активность инвертазы характеризовалась средними величинами и под посевами ячменя.

В нашем исследовании наиболее низкие показатели инвертазной активности отмечены в вариантах с отвальной обработкой в начале вегетационного сезона 2019 г. В 2019 г. погодные условия были благоприятными для формирования продукционного процесса растений ячменя, что содействовало повышению микробиологической активности исследованной почвы.

ВЫВОДЫ

1. По содержанию общего органического углерода почвы сравниваемых вариантов существенно не различались. Содержание водорастворимого органического вещества в почве в условиях почвозащитных технологий имело тенденцию к увеличению относительно стандартного варианта обработки и оценивалось как “высокое”.

2. Выявлено преимущественное влияние фактора “сроки” на динамику подвижных компонентов органического вещества агрочерноземов.

3. Каталазная и инвертазная активности почвы при смене отвальной вспашки на бесплужные варианты обработки имели тенденцию к повышению. Посевы яровой пшеницы и ячменя стимулировали окислительные и гидролитические процессы в почве всех вариантов. Уровень активности ферментов оценивался как “средний” и не зависел от способа основной обработки почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарков И.Н., Данилова А.А. Влияние агротехнических приемов на изменение содержания гумуса в пахотных почвах // Почвоведение. 2010. № 12. С. 72–81.
2. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Динамика содержания органического вещества черноземов в условиях минимизации обработки в Красноярской лесостепи // Агрохимия. 2020. № 3. С. 24–30.
3. Власенко О.А. Влияние возделывания сои на фракционный состав подвижного гумуса агрочерноземов // Мат-лы Международ. научн.-практ. конф. “Наука образование: опыт, проблемы, перспективы развития”. Красноярск, 2021. С. 476–479.
4. Belousov A., Belousova E., Stepanova E. The effect of zero-tillage technologies on the transformation of organic matter in leached chernozem / V International conference “AGRITECH-V-2021” IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2021. С. 32001.
5. Нечаева Е.Х., Марковская Г.К., Мельников Н.А. Параметры оценки биологической активности почвы // Эпоха науки. 2015. № 4. С. 92.
6. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н., Кухбуди Д.Д. Динамика каталазной активности чернозема обыкновенного в условиях минимизации обработки // Вестн. КрасГАУ. 2021. № 5. С. 103–108.
7. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Влияние внутривидовой неоднородности почвенного плодородия на выбор элементов методики полевого опыта // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 6. С. 55–62.
8. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
9. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах. Л.: Наука, 1975. 105 с.
10. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
11. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
12. Соколовский А.Н. Сельскохозяйственное почвоведение. М.: Госсельхозиздат, 1956. С. 293
13. Бугаков П.С., Чупрова В.В. Содержание и качественный состав гумуса в основных почвах Красноярской лесостепи // Почвоведение. 1970. № 12. С. 46–55.
14. Вальков В.Ф., Елисеева Н.В., Имгрунт И.И., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Справочник по оценке почв. Майкоп: ГУРИПП “Адыгея”, 2004. 236 с.
15. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Влияние технологии No-Till на эколого-биологическое состояние почв. Ростов-н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2017. 140 с.
16. Самцевич С.А. Гелеобразные выделения корней растений и их значение в плодородии почвы. Минск: Наука и техника, 1985. 38 с.
17. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Оценка зависимостей между гидротермическими показателями и ферментативной активностью черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий // Агрофизика. 2018. № 1. С. 9–17.

Impact of Soil Protection Technologies on the Content of Mobile Organic Matter and the Enzymatic Activity of the Soil

E. N. Belousova^a and A. A. Belousov^{a, #}

^aKrasnoyarsk State Agrarian University
prosp. Mira 90, Krasnoyarsk 660049, Russia

[#]E-mail: svoboda57130@mail.ru

The dynamics of the content of mobile components of soil organic matter in the conditions of the development of soil protection technologies is considered. The use of fine plane-cutting treatment caused a statistically significant release of water-soluble and alkali-soluble organic compounds. The degree of differentiation of the root layer (0–20 cm) of the soil according to biochemical parameters is determined by the direction of transformation of organic matter and was more pronounced when using fine flat-cutting processing. It is shown that shallow flat-cut tillage contributed to the formation of water-soluble organic matter and caused a significant differentiation of layers 0–10 and 10–20 cm in its content. The role of catalase and invertase enzymes in the direction of transformations of organic compounds in the development of soil protection technologies of tillage is evaluated.

Key words: organic carbon, mobile organic compounds, soil protection technologies, enzymatic activity, topsoil, ordinary chernozem, Krasnoyarsk forest-steppe.