

Елена Николаевна Белоусова^{1✉}, Александр Анатольевич Белоусов²

^{1,2}Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

^{1,2}svobodalist571301858@mail.ru

ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА НА МИНИМАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

Цель исследования – изучить динамику активности ферментов углеродного цикла агрочерноземов и ее влияние на превращение легкоминерализуемых органических соединений при использовании отвального и поверхностных способов обработки. Полевые наблюдения проводили на базе производственного опыта ООО «ОПХ “Дары Малиновки”» Сухобузимского района в Красноярской лесостепи (56°10' с.ш. и 91°47' в.д). Рассмотрено воздействие отвальной и минимальных технологий обработки на сезонную динамику активности ферментов углеродного цикла в слоях агрочернозема. Схема полевого эксперимента представлена следующими вариантами: отвальная вспашка (стандарт), минимальная обработка (поверхностное дискование), плоскорезная обработка (культивация). Уровень полифенолоксидазной активности в почве вариантов опыта оценивался слабыми значениями. Внутрисезонная динамика исследуемых ферментов была существенной и коррелировала с трансформацией коэффициента гумусонакопления. На безотвальных фонах изменчивость полифенолоксидазы отличалась меньшим варьированием. Минимальные значения коэффициента гумусонакопления обнаружены на первоначальном этапе внедрения исследуемых технологий в период парования агрочерноземов, а также в течение вегетации ячменя. Максимальные – в почве под посевами яровой пшеницы. Применение культиваторов-плоскорезов обусловило сильную зависимость между активностью полифенолоксидазы и коэффициентом гумусонакопления. В почве всех вариантов отмечалась обратная зависимость между активностью пероксидазы и коэффициентом гумусонакопления. Участие пероксидазы в биохимических процессах минерализации осуществлялось преимущественно в условиях отвальной обработки агрочерноземов. Активность ферментов оксидоредуктаз свидетельствовала о благоприятных условиях для гумификации органических соединений и аккумуляции новообразованных гумусовых веществ в почве при размещении яровой пшеницы по пару в условиях применения безотвальных технологий.

Ключевые слова: ферментативная активность почвы, полифенолоксидаза, пероксидаза, безотвальные технологии обработки почвы

Для цитирования: Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Динамика активности ферментов углеродного цикла в условиях перехода на минимальные технологии обработки // Вестник КрасГАУ. 2024. № 5. С. 19–26. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-19-26.

Elena Nikolaevna Belousova^{1✉}, Alexander Anatolyevich Belousov²

^{1,2}Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

^{1,2}svobodalist571301858@mail.ru

CARBON CYCLE ENZYMES ACTIVITY DYNAMICS UNDER CONDITIONS OF TRANSITION TO MINIMUM PROCESSING TECHNOLOGIES

The purpose of research is to study the dynamics of the activity of enzymes in the carbon cycle of agrochernozems and its effect on the transformation of easily mineralizable organic compounds when using waste and surface treatment methods. Field observations were carried out on the basis of the production experience of OOO OPH Dary Malinovki in the Sukhobuzimo District in the Krasnoyarsk forest-

steppe (56°10' N and 91°47' E). The impact of dump and minimal processing technologies on the seasonal dynamics of the activity of carbon cycle enzymes in the layers of agrochernozem is considered. The field experiment scheme is represented by the following options: moldboard plowing (standard), minimal tillage (surface disking), flat-cut tillage (cultivation). The level of polyphenol oxidase activity in the soil of the experimental variants was estimated to be weak. The intraseasonal dynamics of the studied enzymes was significant and correlated with the transformation of the humus accumulation coefficient. On non-dumping backgrounds, the variability of polyphenol oxidase was less variable. The minimum values of the humus accumulation coefficient were found at the initial stage of introducing the technologies under study during the fallow period of agrochernozems, as well as during the barley growing season. The maximum is in the soil under spring wheat crops. The use of flat-cut cultivators led to a strong relationship between the activity of polyphenol oxidase and the coefficient of humus accumulation. In the soil of all variants, an inverse relationship was observed between peroxidase activity and the coefficient of humus accumulation. The participation of peroxidase in the biochemical processes of mineralization was carried out mainly under the conditions of dump processing of agrochernozems. The activity of oxidoreductase enzymes indicated favorable conditions for the humification of organic compounds and the accumulation of newly formed humic substances in the soil when spring wheat was placed in fallow under conditions of using no-moldboard technologies.

Keywords: soil enzymatic activity, polyphenol oxidase, peroxidase, no-moldboard tillage technologies

For citation: Belousova E.N., Belousov A.A. Carbon cycle enzymes activity dynamics under conditions of transition to minimum processing technologies // Bulliten KrasSAU. 2024;(5): 19–26 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-19-26.

Введение. Биогенность почвы как один из значимых показателей ее плодородия непосредственно связана с процессами синтеза и распада органического вещества. Ферментативная активность почв служит чувствительным индикатором биологического состояния почв, характеризуя интенсивность и направленность биохимических процессов [1, 2]. Изучение активности почвенных энзимов углеродного цикла позволяет прогнозировать последствия направленности режима органического вещества при разных способах обработки [3–6].

По сравнению с другими показателями изменения ферментативной активности, вызванные антропогенными факторами, регистрируются на более ранних этапах и в большей степени необходимы для ранней диагностики нежелательных экологических тенденций [7]. Особенно важным представляется диагностика этих изменений в условиях сезоннопромерзающих почв Сибирского региона [8].

Цель исследования – изучить динамику активности ферментов углеродного цикла агроchernozемов и ее влияние на превращение легкоминерализуемых органических соединений при использовании отвального и поверхностных способов обработки в условиях Красноярской лесостепи.

Объекты и методы. Исследование осуществлялось на производственном опыте ООО «ОПХ «Дары Малиновки» Сухобузимского района в Красноярской лесостепи. В границах произ-

водственных посевов заложены реперные участки прямоугольной формы общей площадью 1200 м² с учетной площадью 600 м². В пределах каждого участка выделяли три блока (повторности) площадью 200 м². Выбор элементов методики полевого опыта обусловлен влиянием внутривидовой неоднородности почвенного плодородия опытного массива. Почвенные пробы отбирали в сроки, приуроченные к фазам развития сельскохозяйственных культур, из слоев 0–10 и 10–20 см методом змейки. Объем выборки состоял из 12 индивидуальных пространственно-удаленных проб. Наблюдения проводили в звене севооборота: чистый пар – яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – ячмень (*Hordeum vulgare* L.). Для исследования выбраны следующие варианты: 1 – отвальная (st) – вспашка на глубину 25–27 см плугом Gregoire Besson SPLM B9 (в вегетационный сезон 2017 г. почва обрабатывалась в первую декаду июня – по типу раннего пара, с последующими культивациями на глубину 5–7 см по мере отрастания сорных растений, далее, в 2018 г. – вспашка на глубину 25–27 см с предпосевной культивацией на 5–7 см АПК-7,2+БЗТС-1); 2 – минимальная (поверхностное дискование) – дискатором БДМ-Агро БДМ 6х4П на глубину 10–12 см (в 2017 г. почва обрабатывалась по типу стерневого 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.

почва обрабатывалась по типу стерневого пара, на следующий год – боронование с предпосев-ной культивацией на 5–7 см АПК-7,2+БЗТС-1). В 2018 г. на опытном поле возделывали яровую пшеницу сорта Новосибирская-31, в вегета-ционный сезон 2019 г. – ячмень сорта Ача. Объект исследования – чернозем обыкновенный сред-негумусный среднемощный тяжелосуглинистый

на красно-бурой глине. Почва опыта имела сле-дующие агрохимические показатели: pH_{H_2O} – 7,4–8,3, содержание $C_{орг}$ – 6,3–6,5 %, подвижно-го фосфора – 295–320 мг/кг, подвижного калия – 127–138 мг/кг. Метеорологические условия пе-риода наблюдений характеризовались пара-метрами, представленными в таблице 1.

Таблица 1

Гидротермические показатели в годы наблюдений

Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Показатель
Средняя температура воздуха, °С						Сумма активных температур
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	9,0	18,7	19,5	18,8	9,9	2047
Норма (1980–2010 гг.)	8,7	15,2	17,6	14,8	8,8	1833
Осадки, мм						Сумма осадков
2017	28,0	30,0	79,0	81,0	81,0	299,0
2018	29,0	29,0	33,0	21,0	58,0	170,0
2019	8,3	106,1	45,4	68,9	54,0	274,4
Норма (1980–2010 гг.)	50,0	61,0	95,0	78,0	48,0	332,0

Химические и физико-химические показатели получены общепринятыми методами [9]. Фер-ментативную активность почвы определяли по Ф.Х. Хазиеву [10]. Статистический анализ дан-ных проводился с использованием пакета про-грамм MS Excel.

Результаты и их обсуждение. Роль окси-доредуктаз в процессах биогенеза гумуса весь-ма значительна. Экспериментальные данные свидетельствуют о значительном уровне поли-

фенолоксидазной активности агрочернозема всех вариантов опыта. Активность полифено-локсидазы существенно снижалась к концу пе-риода парования в почве всех вариантов. В а-гроценозе яровой пшеницы изменчивость актив-ности фермента была выражена статистически достоверно. Минимальной активностью харак-теризовалась почва, обрабатываемая отваль-ным плугом (табл. 2).

Таблица 2

Статистические параметры динамики активности полифенолоксидазы, мг 1,4 бензохинона / 1 г / 30 мин ($t_{0,5} = 2,2$ (в июле, сентябре 2019 г. $t_{0,5} = 2,7$))

Вариант	Сроки	$\bar{x} \pm ts_x$	t_{ϕ}	$\bar{x} \pm ts_x$	t_{ϕ}
		2017 (0–10 см)		2017 (10–20 см)	
1	2	3	4	5	6
1. Отвальная вспашка (st)	Июнь (1)	–	$t_2 t_3 > t_{0,5}$	–	$t_2 t_3 > t_{0,5}$
	Июль (2)	5,3±0,4		4,4±0,4	
	Сентябрь (3)	3,3±0,7		2,9±0,7	
2. Минимальная обработка (диско-вание)	Июнь (1)	–	$t_2 t_3 > t_{0,5}$	–	$t_2 t_3 < t_{0,5}$
	Июль (2)	4,9±0,4		5,8±0,3	
	Сентябрь (3)	3,8±0,3		5,6±0,6	
3. Плоскорезная обработка (куль-тивация)	Июнь (1)	–	$t_2 t_3 > t_{0,5}$	–	$t_2 t_3 > t_{0,5}$
	Июль (2)	5,1±0,3		5,1±0,8	
	Сентябрь (3)	4,3±0,4		6,4±0,6	

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
		2018 (0–10 см)		2018 (10–20 см)	
1. Отвальная вспашка (st)	Июнь (1)	3,5±0,7	$t_1t_2 > t_{0,5}$	3,2±0,4	$t_1t_2 > t_{0,5}$
	Июль (2)	5,9±0,4	$t_1t_3 > t_{0,5}$	4,6±0,4	$t_1t_3 > t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	7,0±0,4	$t_2t_3 > t_{0,5}$	4,9±0,6	$t_2t_3 < t_{0,5}$
2. Минимальная обработка (дискование)	Июнь (1)	5,4±0,3	$t_1t_2 > t_{0,5}$	5,9±0,5	$t_1t_2 < t_{0,5}$
	Июль (2)	4,7±0,4	$t_1t_3 < t_{0,5}$	6,4±0,7	$t_1t_3 > t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	5,2±0,4	$t_2t_3 < t_{0,5}$	5,5±0,4	$t_2t_3 > t_{0,5}$
3. Плоскорезная обработка (культивация)	Июнь (1)	4,9±0,2	$t_1t_2 > t_{0,5}$	5,0±0,3	$t_1t_2 > t_{0,5}$
	Июль (2)	5,4±0,4	$t_1t_3 > t_{0,5}$	5,9±0,3	$t_1t_3 < t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	5,6±0,3	$t_2t_3 < t_{0,5}$	6,0±0,5	$t_2t_3 > t_{0,5}$
		2019 (0–10 см)		2019 (10–20 см)	
1. Отвальная вспашка (st)	Июнь (1)	3,5±0,4	$t_1t_2 > t_{0,5}$	3,6±0,7	$t_1t_2 > t_{0,5}$
	Июль (2)	2,7±0,8	$t_1t_3 > t_{0,5}$	2,6±1,9	$t_1t_3 > t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	4,8±0,7	$t_2t_3 > t_{0,5}$	5,5±1,04	$t_2t_3 < t_{0,5}$
2. Минимальная обработка (дискование)	Июнь (1)	2,9±0,4	$t_1t_2 > t_{0,5}$	3,7±0,8	$t_1t_3 > t_{0,5}$
	Июль (2)	4,3±0,9	$t_1t_3 > t_{0,5}$	4,8±1,4	$t_1t_3 > t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	4,8±0,6	$t_2t_3 < t_{0,5}$	4,7±0,5	$t_2t_3 > t_{0,5}$
3. Плоскорезная обработка (культивация)	Июнь (1)	3,3±0,2	$t_1t_2 > t_{0,5}$	3,4±0,2	$t_1t_2 > t_{0,5}$
	Июль (2)	4,7±0,7	$t_1t_3 > t_{0,5}$	5,5±1,04	$t_1t_3 < t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	4,3±0,8	$t_2t_3 < t_{0,5}$	4,2±1,3	$t_2t_3 < t_{0,5}$

Здесь и далее: жирным выделены достоверные различия между сроками наблюдений.

На безотвальных фонах изменения оценивались незначительным внутрисезонным варьированием. В посевах ячменя, следовавшего за яровой пшеницей, также отмечалась существенная дисперсия активности. Обозначенное диагностирует значимое влияние метеорологических условий на процессы трансформации растительного опада и формирование гумусовых веществ в почве. Так, по данным [11], глав-

ными абиотическими драйверами разложения органического вещества почвы и растительных остатков являются температура и влажность.

Полученные значения коэффициента гумусонакопления указывали на формирование условий, складывающихся под воздействием изучаемых обработок почвы, определяющих направленность процессов превращения легкоминерализуемых гумусовых веществ (табл. 3).

Таблица 3

Условный коэффициент накопления гумуса в слоях почвы, %

Способ обработки	Слой, см	2017		2018			2019		
		Июль	Сентябрь	Июль	Июль	Сентябрь	Июль	Июль	Сентябрь
Отвальная (st)	0–10	0,8	1,2	1,1	0,9	1,7	0,6	0,5	0,9
	10–20	0,8	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	0,5	0,9
Минимальная (дискование)	0–10	0,8	0,7	1,0	1,4	0,7	0,7	0,7	0,9
	10–20	1,1	1,0	0,9	0,9	1,4	0,5	0,8	1,0
Плоскорезная	0–10	0,8	1,2	0,9	1,4	1,5	0,5	0,9	0,6
	10–20	0,7	1,1	0,8	1,2	1,0	0,5	0,9	0,6

Значения коэффициента гумусонакопления меньше 1,0 обнаруживались в период вегетации ячменя. Максимумы найдены в почве обрабатываемой плоскорезами под яровой пшеницей. Существенное влияние на этот процесс оказывали засушливые погодные условия, предшествующие фазе кушения яровых зерновых

(см. табл. 1). Результатом данных превращений стало увеличение коэффициента гумусонакопления к фазе цветения яровой пшеницы на безотвальных фонах в сравнении с отвальной вспашкой. К фазе полной спелости происходило выравнивание показателя в почве исследуемых вариантов обработки. Максимальные положи-

тельные зависимости между активностью полифенолоксидазы и коэффициентом гумусонакопления обнаруживались в варианте с плоскорезным рыхлением (табл. 4).

Данные пероксидазной активности свидетельствовали о существенной аккумуляции про-

дуктов окисления к середине периодов вегетации культур при применении отвальной обработки. Использование дискаторов сопровождалось иной динамикой. Причем изменчивость активности пероксидазы было статистически значимо (табл. 5).

Таблица 4

Корреляционная зависимость между динамикой активности пероксидазы и коэффициентом гумусонакопления

Вариант	Глубина, см	Активность полифенолоксидазы	Активность пероксидазы
Отвальная	0–10	0,53	–0,65
	10–20	0,20	–0,72
Минимальная	0–10	0,51	–0,45
	10–20	0,52	–0,90
Плоскорезная	0–10	0,86	–0,70
	10–20	0,76	–0,75

Таблица 5

Статистические параметры динамики активности пероксидазы, мг 1,4 бензохинона / 1 г / 30 мин ($t_{0,5} = 2,2$ (в июле, сентябре 2019 г. $t_{0,5} = 2,7$))

Вариант	Сроки	$\bar{x} \pm ts_x$	t_ϕ	$\bar{x} \pm ts_x$	t_ϕ
		2017 (0–10 см)		2017 (10–20 см)	
1. Отвальная вспашка (st)	Июнь (1)	–	$t_2 t_3 > t_{0,5}$	–	$t_2 t_3 > t_{0,53}$
	Июль (2)	6,8±0,54		5,5±0,4	
	Сентябрь (3)	2,7±0,3		2,9±0,7	
2. Минимальная обработка (дискование)	Июнь (1)	–	$t_2 t_3 > t_{0,5}$	–	$t_2 t_3 < t_{0,5}$
	Июль (2)	5,9±0,32		5,4±0,3	
	Сентябрь (3)	5,1±0,4		5,6±0,6	
3. Плоскорезная обработка (культивация)	Июнь (1)	–	$t_2 t_3 > t_{0,5}$	–	$t_2 t_3 > t_{0,5}$
	Июль (2)	6,1±0,4		7,7±0,8	
	Сентябрь (3)	3,5±0,3		5,6±0,6	
		2018 (0–10 см)		2018 (10–20 см)	
1. Отвальная вспашка (st)	Июнь (1)	3,1±0,4	$t_1 t_2 > t_{0,5}$	3,2±0,4	$t_1 t_2 > t_{0,5}$
	Июль (2)	6,8±0,5	$t_1 t_3 > t_{0,5}$	5,5±0,4	$t_1 t_3 > t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	4,2±0,3	$t_2 t_3 > t_{0,5}$	4,8±0,6	$t_2 t_3 < t_{0,5}$
2. Минимальная обработка (дискование)	Июнь (1)	5,2±0,4	$t_1 t_2 > t_{0,5}$	6,1±0,5	$t_1 t_2 > t_{0,5}$
	Июль (2)	3,4±0,7	$t_1 t_3 > t_{0,5}$	6,9±0,7	$t_1 t_3 > t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	7,5±0,3	$t_2 t_3 > t_{0,5}$	3,9±0,4	$t_2 t_3 > t_{0,5}$
3. Плоскорезная обработка (культивация)	Июнь (1)	5,7±0,3	$t_1 t_2 > t_{0,5}$	6,4±0,3	$t_1 t_2 > t_{0,5}$
	Июль (2)	3,8±0,3	$t_1 t_3 > t_{0,5}$	5±0,3	$t_1 t_3 < t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	3,7±0,2	$t_2 t_3 < t_{0,5}$	6,1±0,5	$t_2 t_3 > t_{0,5}$
		2019 (0–10 см)		2019 (10–20 см)	
1. Отвальная вспашка (st)	Июнь (1)	5,5±0,6	$t_1 t_2 < t_{0,5}$	4,8±0,7	$t_1 t_2 > t_{0,5}$
	Июль (2)	5,8±1,5	$t_1 t_3 < t_{0,5}$	5,9±1,9	$t_1 t_3 > t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	5,2±0,6	$t_2 t_3 < t_{0,5}$	6,0±1,0	$t_2 t_3 < t_{0,5}$
2. Минимальная обработка (дискование)	Июнь (1)	4,1±0,4	$t_1 t_2 > t_{0,5}$	7,6±0,8	$t_1 t_2 > t_{0,5}$
	Июль (2)	6,2±0,7	$t_1 t_3 > t_{0,5}$	6,2±1,4	$t_1 t_3 > t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	5,1±0,5	$t_2 t_3 > t_{0,5}$	4,7±0,5	$t_2 t_3 > t_{0,5}$
3. Плоскорезная обработка (культивация)	Июнь (1)	6,5±0,8	$t_1 t_2 > t_{0,5}$	6,8±0,2	$t_1 t_2 > t_{0,5}$
	Июль (2)	5,3±0,6	$t_1 t_3 < t_{0,5}$	6,0±1,0	$t_1 t_3 < t_{0,5}$
	Сентябрь (3)	7,0±0,9	$t_2 t_3 > t_{0,5}$	6,9±1,3	$t_2 t_3 < t_{0,5}$

Примечательно, что в почве всех вариантов отмечалась обратная зависимость между активностью пероксидазы и коэффициентом гумусонакопления. Причем применение плоскорезного рыхления обнаруживало «сильную» корреляцию. Поиск корреляционных зависимостей

между динамикой содержания органических соединений почвы и пероксидазой подтверждает ее участие в биохимических процессах минерализации преимущественно в условиях отвальной обработки почвы (рис. 1, А).

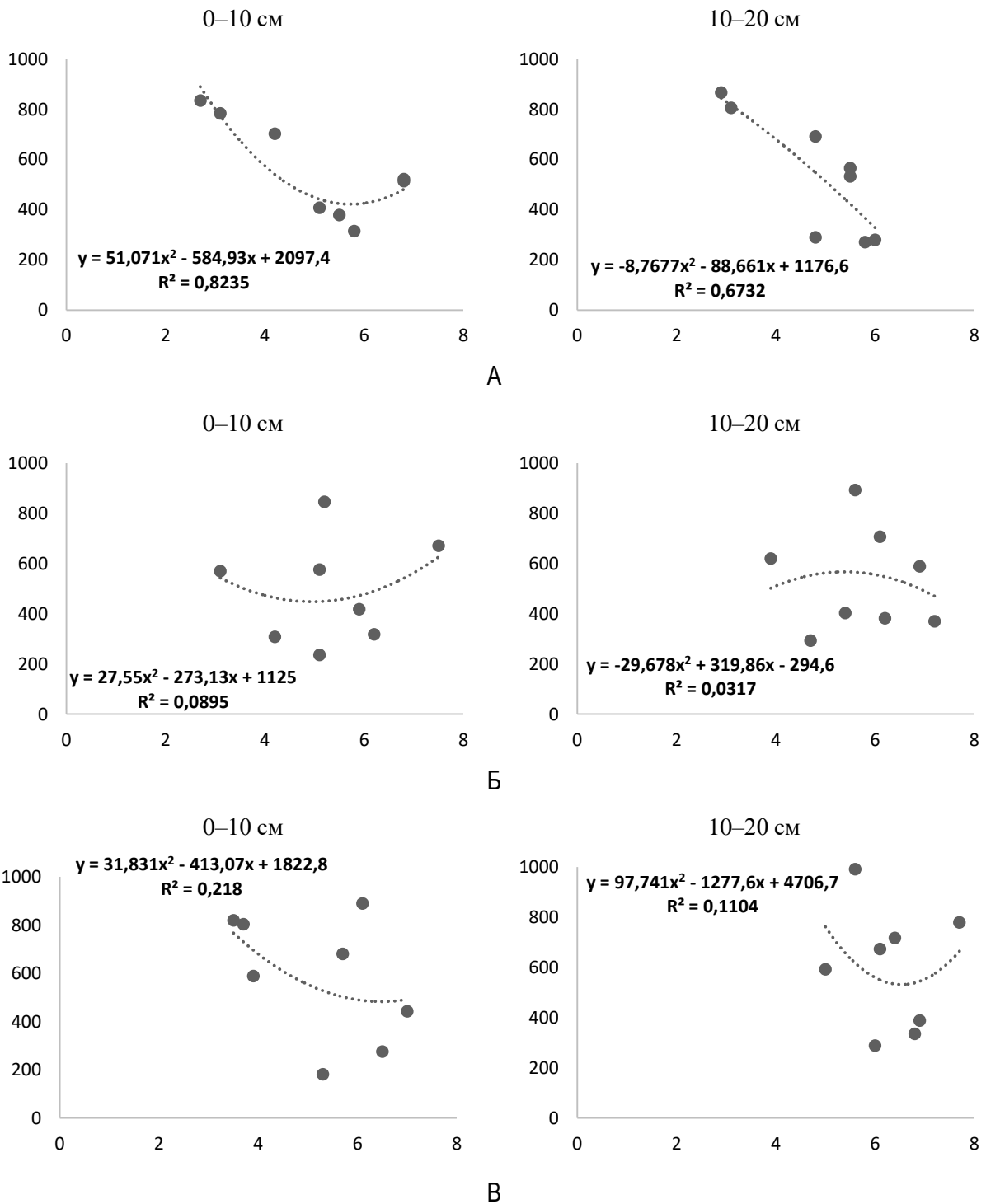


Рис. 1. Зависимость содержания углерода органических соединений, мг С/100 г, от активности пероксидазы, мг 1,4 бензохинона / 1 г/ 30 мин: А – отвальная обработка почвы; Б – плоскорезная обработка почвы; В – минимальная обработка почвы

В условиях применения безотвальных технологий отмеченных зависимостей не наблюдалось. По мнению [12, 13], подобные результаты свидетельствуют, что при отсутствии оборота пласта пероксидаза в большей степени принимает участие в синтезе гумусовых веществ, а не в их минерализации. Данные активности анализируемых ферментов свидетельствуют о благоприятных условиях для гумификации растительного материала и накопления гумусоподобных веществ в почве при размещении яровой пшеницы по пару в условиях применения безотвальных технологий.

Заключение. Выявлена существенная внутрисезонная динамика активности ферментов углеродного цикла. На безотвальных фонах изменчивость полифенолоксидазы отличалась меньшим варьированием. Минимальные значения коэффициента гумусонакопления обнаружены на первоначальном этапе внедрения исследуемых технологий обработки во время парования, а также в период вегетации ячменя, максимальные – в почве под посевами яровой пшеницы. Применение культиваторов-плоскорезов выявило сильную зависимость активности полифенолоксидазы от коэффициента гумусонакопления. В почве всех вариантов отмечалась обратная зависимость активности пероксидазы и коэффициента гумусонакопления. Участие пероксидазы в биохимических процессах минерализации проявлялось преимущественно в условиях отвальной обработки агрочерноземов.

Список источников

1. Белоусов А.А. Ферментативная активность чернозема обыкновенного в звеньях севооборотов и целине // Вестник КрасГАУ. 2001. № 7. С. 93–100.
2. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 2003. 204 с.
3. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Влияние почвозащитных технологий на содержание подвижного органического вещества и ферментативную активность почвы // Агрoхимия. 2022. № 5. С. 30–37.
4. Марковская Г.К., Кирясова Н.Л. Влияние минимизации обработки почвы на ее био-

- логическую активность // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 1. С. 16–17.
5. Сергатенко С.Н., Федорова И.Л., Игнатова Т.Д. Влияние нефтяного загрязнения на активность почвенных ферментов классов оксидоредуктаз и гидролаз // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3 (59). С. 83–88.
6. Зинченко М.К., Зинченко С.И. Ферментативная активность серой лесной почвы при различных приемах основной обработки // Достижение науки и техники АПК. 2021. № 4. С. 17–21.
7. Хабиров И.К., Сайфуллин Р.Р. Эрозия почв и ферментативная активность // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. Ч. 1. № 1 (115). С. 150–152.
8. Belousov A.A., Belousova E.N., Stepanova E.V. The influence of processing technologies on the differentiation of soil layers by the content of mobile components of organic matter / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk, 2022. P. 032032.
9. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
10. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
11. Зависимость разложения органического вещества почвы и растительных остатков от температуры и влажности в длительных инкубационных экспериментах / В.М. Семенов [и др.] // Почвоведение. 2022. № 7. С. 860–875.
12. Гулько А.Е., Хазиев Ф.Х. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность // Почвоведение. 1992. № 11. С. 55–67.
13. Козунь Ю.С., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние климата на ферментативную активность лесных почв Северного Кавказа // Лесоведение. 2022. № 3. С. 262–269.

References

1. Belousov A.A. Fermentativnaya aktivnost' chernozema obyknovennogo v zven'yah sevooborotov i celine // Vestnik KrasGAU. 2001. № 7. S. 93–100.
2. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. Biologicheskaya diagnostika i indikaciya pochv: metodologiya i metody issledovaniy. Rostov n/D.: Izd-vo Rost. un-ta, 2003. 204 s.

3. *Belousova E.N., Belousov A.A.* Vliyanie pochvozaschitnykh tehnologij na sodержanie podvzhnogo organicheskogo veschestva i fermentativnuyu aktivnost' pochvy // *Agrohimiya*. 2022. № 5. S. 30–37.
4. *Markovskaya G.K., Kiryasova N.L.* Vliyanie minimizacii obrabotki pochvy na ee biologicheskuyu aktivnost' // *Dostizheniya nauki i tehniki APK*. 2007. № 1. S. 16–17.
5. *Sergatenko S.N., Fedorova I.L., Ignatova T.D.* Vliyanie neftyanogo zagryazneniya na aktivnost' pochvennykh fermentov klassov oksidoreduktaz i gidrolaz // *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. 2022. № 3 (59). S. 83–88.
6. *Zinchenko M.K., Zinchenko S.I.* Fermentativnaya aktivnost' seroj lesnoj pochvy pri razlichnykh priemah osnovnoj obrabotki // *Dostizhenie nauki i tehniki APK*. 2021. № 4. S. 17–21.
7. *Habirov I.K., Sajfullin R.R.* `Eroziya pochv i fermentativnaya aktivnost' // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2022. Ch. 1. № 1 (115). S. 150–152.
8. *Belousov A.A., Belousova E.N., Stepanova E.V.* The influence of processing technologies on the differentiation of soil layers by the content of mobile components of organic matter / *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Krasnoyarsk, 2022. P. 032032.
9. *Vorob'eva L.A.* Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv. M.: GEOS, 2006. 400 s.
10. *Haziev F.H.* Metody pochvennoj `enzimologii. M.: Nauka, 2005. 252 s.
11. Zavisimost' razlozheniya organicheskogo veschestva pochvy i rastitel'nyh ostatkov ot temperatury i vlazhnosti v dlitel'nykh inkubacionnykh `eksperimentah / *V.M. Semenov [i dr.]* // *Pochvovedenie*. 2022. № 7. S. 860–875.
12. *Gul'ko A.E., Haziev F.H.* Fenoloksidazy pochv: produkcirovanie, immobilizaciya, aktivnost' // *Pochvovedenie*. 1992. № 11. S. 55–67.
14. *Kozun' Yu.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I.* Vliyanie klimata na fermentativnuyu aktivnost' lesnyh pochv Severnogo Kavkaza // *Lesovedenie*. 2022. № 3. S. 262–269.

Статья принята к публикации 24.04.2024 / The article accepted for publication 24.04.2024.

Информация об авторах:

Елена Николаевна Белоусова¹, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

Александр Анатольевич Белоусов², доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

Elena Nikolaevna Belousova¹, Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Docent

Alexander Anatolyevich Belousov², Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Docent

