

al buckwheat nectar compared to the selection varieties of buckwheat was insignificant, averaged 0,03 mg of sugar per flower. The fertility of pollen fluctuated within 87,5–96,8%, depending on the weather conditions. The real seed productivity of perennial buckwheat varied from 26,7 to 186,0 seeds per plant. As a result of the study the authors have concluded that perennial buckwheat can be grown in the conditions of the Middle Volga Region as an annual crop.

Keywords: *Fagopyrum cymosum* Meissn.; perennial buckwheat; plant morphology; thyrus; flower; flower formula; variants of flower structure; reproductive biology; bloom; pollination; sugariness of nectar; fertility of pollen; hydrothermal coefficient; real seed production.

УДК 631.46

DOI 10.24411/2309-4370-2018-14109

Статья поступила в редакцию 25.08.2018

ВЛИЯНИЕ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

© 2018

Кожевников Николай Владимирович, аспирант кафедры ботаники

Заушинцева Александра Васильевна, доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники

Кемеровский государственный университет (г. Кемерово, Российская Федерация)

Романов Василий Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук,

ведущий научный сотрудник отдела агротехнологий

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН» (г. Красноярск, Российская Федерация)

Аннотация. В настоящее время широкое распространение получили современные ресурсосберегающие системы обработки почвы. В связи с недостаточным научным обеспечением необходимо исследование новых технологий обработки почвы в различных почвенно-климатических условиях. В статье рассматривается влияние ресурсосберегающих технологий основной обработки на ферментативную активность чернозема обыкновенного Красноярской лесостепи. В работе рассмотрены три системы обработки почвы: классическая зяблевая вспашка на глубину 22 см, минимальная обработка на глубину на 8–10 см и технология прямого посева. Для изучения динамики биологической активности анализировали активность инвертазы, уреазы, фосфатазы, каталазы и дегидрогеназы. Обработка чернозема обыкновенного опытно-производственного хозяйства «Минино» привела к снижению активности почвенных ферментов. Активность каталазы уменьшилась на 9,88%, активность уреазы на 28,78%, активность дегидрогеназы на 29,95%, активность фосфатазы на 30,30%. Наиболее сильные различия отмечены для активности инвертазы – 39,94%. Применение энергосберегающих технологий возделывания зерновых культур повышает активность почвенных ферментов, за исключением каталазы. Более высокая активность дегидрогеназы, уреазы, фосфатазы и инвертазы установлена на вариантах с минимальной технологией. Возделываемые культуры не оказали существенного влияния на активность почвенных ферментов.

Ключевые слова: минимальная обработка почвы; прямой посев; чернозем обыкновенный; зерновые культуры; ферментативная активность; Красноярская лесостепь.

Введение

В настоящее время под влиянием антропогенного воздействия происходит значительное усиление техногенной деградации агрогенных экосистем. Ухудшение экологического состояния пахотных почв сопровождается негативными изменениями и приводит к снижению комплексной функции плодородия [1].

Обработка почв – важнейший элемент технологии возделывания культурных видов растений, от которого зависят факторы почвенного плодородия [2].

Применение классической системы обработки с оборотом пласта сопровождается агрофизической деградацией и значительным снижением содержания органического вещества почвы, что приводит к снижению почвенного плодородия и урожайности выращиваемых культур [3].

В настоящее время большое внимание уделяется современным сельскохозяйственным методам, которые способствуют улучшению качества агрогенных почв и приводят к устойчивому развитию сельского хозяйства. При разработке новых систем земледелия необходимо учитывать их влияние на биологические свойства почвы, характеризующие состояние почвенного плодородия [4; 5].

Благодаря высокой чувствительности к любым внешним неблагоприятным изменениям, биологические параметры являются основными индикаторами экологического состояния почвы. По показателям биологической активности, почвенные ферменты быстрее реагируют на незначительные изменения окружающей среды и отражают изменения, происходящие в состоянии агрогенных почв [6].

Ферменты образуются живыми организмами и являются биологическими катализаторами белковой природы. Определяя направленность и интенсивность биохимических процессов в почве, ферментативная активность является важнейшим биологическим показателем, определяющим почвенное плодородие [7; 8].

В настоящее время для экологических исследований нет единого решения в выборе почвенных ферментов и методов их определения. Некоторые авторы предлагают при оценке общей биологической активности определять инвертазу, амилазу, уреазу, фосфатазу, каталазу, дегидрогеназу [9], другие рекомендуют использовать инвертазу, уреазу, дегидрогеназу и каталазу [10]. Ряд зарубежных авторов для

оценки качества почвы используют деятельность дегидрогеназы и уреазы [11; 12].

Для оценки биологического состояния агрогенных почв при проведении комплексных экологических исследований рекомендуется анализировать динамику нескольких групп ферментов [5; 13]. В наших исследованиях для оценки влияния ресурсосберегающих способов основной обработки чернозема обыкновенного определяли активность ферментов класса гидролаз – инвертазу, уреазу и фосфатазу, класса оксидоредуктаз – каталазу и дегидрогеназу.

Цель и объекты исследования

Цель наших исследований заключалась в оценке влияния ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы на ферментативную активность чернозема обыкновенного в условиях Красноярской лесостепи.

Исследования проведены в период 2015–2017 гг. на территории опытно-производственного хозяйства «Минино», расположенного в 4 км от г. Красноярск. Почвы стационарного полевого опыта представлены среднесуточными среднесуглинистыми обыкновенными черноземами. При исследовании уровня и характера динамики биологической активности почв в качестве эталона принят соответствующий почвенный аналог целины.

В работе рассмотрены три способа основной обработки почвы: «классическая» зяблевая вспашка на глубину 20–22 см и предпосевная культивация весной; «минимальная», состоящая из осеннего и весеннего дискования тяжелой бороной на 8–10 см, и «нулевая» (технология no-till) без механической обработки.

Исследования проведены на вариантах с посевами пшеницы (Новосибирская 29), овса (Саян), ячме-

ня (Буян). Перед посевом культур производилось внесение 1 ц/га аммиачной селитры.

Для изучения динамики ферментативной активности почвенные образцы отбирались в разные периоды развития полевых культур – фазу кущения, трубкования и перед уборкой яровых зерновых. Отбор образцов на опытных вариантах и целинном аналоге производился одновременно на глубину 0–20 см.

Определение ферментативной активности почв проводилось на основе учета количества переработанного в процессе реакции субстрата или образования продукта реакции в оптимальных условиях реакции среды, температуры, концентрации субстрата и навески почвы. Активность каталазы, уреазы и фосфатазы измеряли по методикам Галстяна, инвертазы и дегидрогеназы – по методам Галстяна в модификации Хазиева [14].

Результаты исследований и их обсуждение

Климатические условия являются наиболее важными из факторов, регулирующих почвенные процессы. Оказывая влияние на деятельность почвенных организмов и растений, гидротермический режим в значительной степени определяет интенсивность биохимических процессов в почве [13].

Агрометеорологические условия в годы проведения исследований получены с метеорологической станции пос. Минино. В 2015 г. погодные условия вегетационного периода характеризовались как недостаточно влажные, а в 2016–2017 гг. как избыточно влажные и теплые, с превышением среднемесячных температур многолетних показателей. Распределение среднесуточных температур и осадков за вегетационный период АМС «Минино» по годам исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Гидротермические условия за вегетационный период на территории опытно-производственного хозяйства «Минино»

Год	Месяц				Май-август	Процент к норме
	май	июнь	июль	август		
Среднесуточная температура воздуха, °С						
2015	11,4	17,4	20,1	17,2	16,5	110,0
2016	8,7	19,3	20,6	16,7	16,3	108,6
2017	11,2	19,8	18,8	16,4	16,5	110,0
Среднепогодные	10,0	15,0	19,0	16,0	15,0	–
Осадки, мм						
2015	24,8	70,5	52,7	42,2	190,2	95,6
2016	51,6	38,3	147,4	56,1	293,4	147,4
2017	36,0	48,0	61,0	154,0	299,0	150,2
Среднепогодные	29,0	43,0	66,0	61,0	199,0	–

На целинном аналоге активность ферментов в течение вегетационного периода превышала данные, полученные с опытного поля, независимо от варианта обработки и возделываемой культуры. Эти данные неоднократно отмечены как в целом для почв России [5; 13], так и для лесостепи Средней Сибири [15].

В пахотных почвах сокращается поступление растительных остатков, вследствие механической обработки почвы происходит усиление процессов минерализации, эрозии и дефляции. Совокупность этих факторов приводит к уменьшению запасов гумуса и снижению биологической активности агрогенных почв [16; 17].

Обработка чернозема обыкновенного опытно-производственного хозяйства «Минино» привела к снижению активности почвенных ферментов. Активность каталазы уменьшилась на 9,88%, активность уреазы на 28,78%, активность фосфатазы на 30,30% и активность дегидрогеназы на 29,95%. Наиболее значимые различия отмечены для инвертазной активности – 39,94%. Такая зависимость объясняется связью активности инвертазы с содержанием гумуса, значительно снижающимся при распашке.

Каталазная активность практически не зависела от изучаемых факторов. В среднем за годы исследований наиболее высокая активность каталазы наблю-

далась в 3-й срок наблюдения, а наименьшая в 1-й срок определения. Весной каталазная активность почвы на вариантах опытного поля составила в среднем: по вспашке – 3,67, дискованию – 3,32 и прямом посеве – 3,26 O_2 см³/г за 1 мин. Разница между вариантами составила 11%.

В середине вегетационного периода средняя активность каталазы изменялась незначительно от 4,00 до 4,31 O_2 см³/г за 1 мин., разница между вариантами

составила 7%. Наиболее выраженные изменения наблюдались осенью перед уборкой зерновых культур. При вспашке активность этого фермента достигла 5,08, при дисковании 4,66 и прямом посеве 4,17 O_2 см³/г за 1 мин. Разница между вариантами 18%. Средняя динамика каталазной активности в зависимости от основной обработки почвы представлена на рисунке 1.

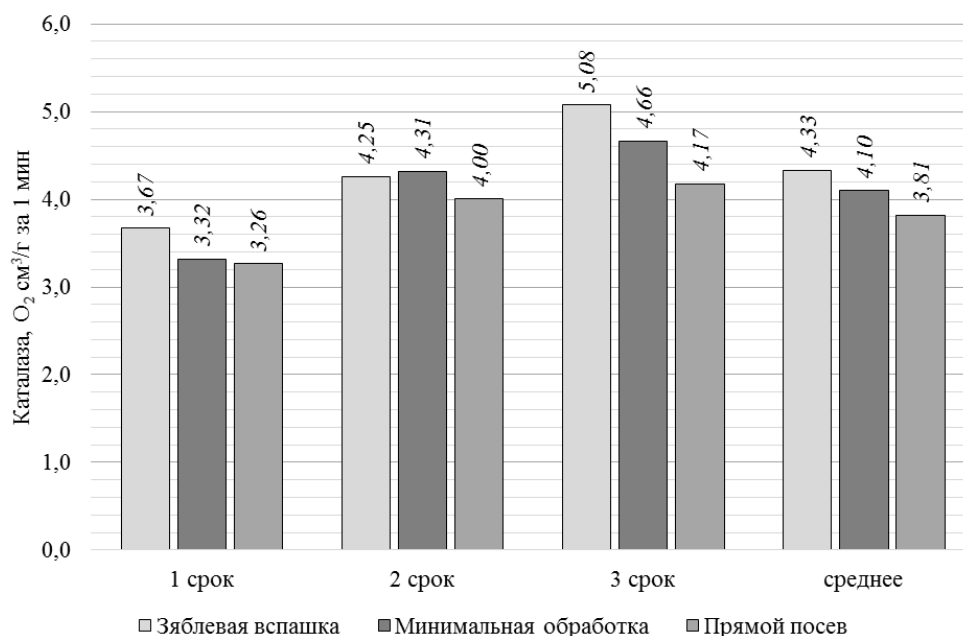


Рисунок 1 – Средняя динамика каталазной активности в зависимости от основной обработки почвы, 2015–2017 гг.

На варианте с прямым посевом наблюдается небольшое снижение каталазной активности, что, возможно, связано с уплотнением почвы и ухудшением условий для развития аэробной микрофлоры. Наибольшая интенсивность каталазной активности отмечается в 2016 и 2017 гг. Более высокая активность по сравнению с предшествующим 2015 годом исследований обусловлена переувлажнением почвы на фоне повышенной среднемесячной температурой. В среднем в годы с достаточным увлажнением активность каталазы повышалась на 15,6% на варианте с прямым посевом, 16,0% с дискованием и 20,1% на варианте прямого посева. Стоит отметить, что наименьшие изменения отмечены на целинном аналоге – изменения составили 10,5%. Каталаязная активность на вариантах опытного поля в зависимости от основной обработки представлена в таблице 2.

Таким образом, наибольшие значения каталазной активности в начале вегетации отмечались в варианте с отвальной вспашкой, наименьшие – при прямом посеве. В конце вегетации, при общем увеличении ферментативной активности, влияние способов основной обработки почвы было более существенным.

Наиболее высокое содержание уреазы в течение вегетационного периода зерновых культур наблюдается весной. На варианте с дискованием ее активность составила в среднем 19,32 мг NH_4 на 10 г за 24 ч., на варианте с вспашкой и прямым посевом активность этого фермента почти не различалась и составила 17,71 и 18,05 мг NH_4 на 10 г за 24 ч. соответственно.

В середине вегетационного периода уреазная активность снижается по всем вариантам обработки. К

3-му сроку отбора отмечается увеличение уреазной активности почвы. В конце вегетационного периода активность этого фермента максимальна на варианте прямого посева и достигает 17,68 мг NH_4 на 10 г за 24 ч. Средняя динамика уреазной активности в зависимости от основной обработки почвы представлена на рисунке 2.

Таблица 2 – Средняя каталазная активность почв в посевах зерновых культур в зависимости от основной обработки почвы, O_2 см³/г за 1 минуту

Культура	Система обработки почвы	Год определения			Среднее значение
		2015	2016	2017	
Пшеница	Зяблевая вспашка	3,60	4,71	4,28	4,20
	Минимальная обработка	4,04	4,45	4,20	4,23
	Прямой посев	3,72	4,09	4,21	4,01
Овес	Зяблевая вспашка	3,96	4,80	4,46	4,41
	Минимальная обработка	3,10	4,59	4,32	4,01
	Прямой посев	2,93	4,23	3,99	3,72
Ячмень	Зяблевая вспашка	4,00	4,75	4,43	4,39
	Минимальная обработка	3,74	4,38	4,05	4,06
	Прямой посев	3,15	4,07	3,93	3,71
Целинный аналог		4,20	4,69	4,70	4,53
НСР ₀₅		0,90	0,60	0,31	0,46

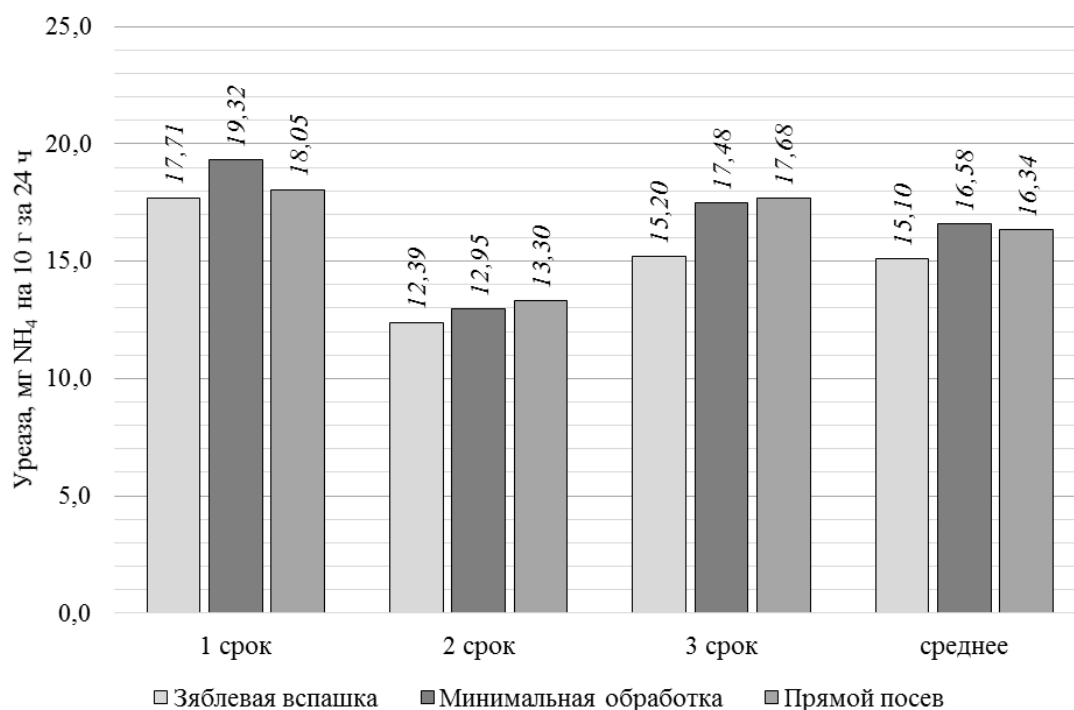


Рисунок 2 – Средняя динамика уреазной активности в зависимости от основной обработки почвы, 2015–2017 гг.

При снижении механической нагрузки на почву происходит повышение активности уреазы. Такое распределение может свидетельствовать о высоком уровне азотного обмена почвы. Уровень уреазной активности тесно связан с численностью микроорганизмов [15]. Поэтому повышение уреазной активности чернозема обыкновенного при минимизации обработки может быть также связано с увеличением на этих вариантах доли общей биогенности [18].

При анализе уреазной активности в годы с разными гидротермическими условиями следует отметить увеличение активности фермента в более благоприятные 2015 и 2016 гг. В 2016 и 2016 годах на фоне повышенного температурного режима и достаточного увлажнения в активность уреазы увеличилась в среднем на 15,7%. Уреазная активность на вариантах опытного поля в зависимости от основной обработки почвы представлена в таблице 3.

Активность дегидрогеназы в течение сезона динамична, с минимумом в середине и максимумом в конце вегетации зерновых. Наименьшая активность фермента наблюдается в срок, соответствующий фазе трубкования зерновых культур, и составляет 16,56 мг ТТФ на 10 г за 24 ч. на варианте с вспашкой, 18,77 на варианте с дискованием и 17,62 на варианте с прямым посевом. В весенний и осенний период наблюдается возрастание дегидрогеназы. Осенью этот показатель значительно возрастает и достигает максимума на варианте с дискованием до 25,99 мг ТТФ на 10 г. Средняя динамика дегидрогеназной активности в зависимости от основной обработки почвы представлена на рисунке 3.

Анализ активности фермента пахотного горизонта почвы показал положительное влияние минимизации обработки почвы на активность дегидрогеназы. Более высокая активность дегидрогеназы отмечается на варианте с дискованием, независимо от выращиваемой культуры. В конце вегетационного периода активность фермента составляет 22,73 мг ТТФ на 10 г за 24 ч. на варианте с вспашкой, 24,14 на вари-

анте с прямым посевом и 25,99 мг ТТФ на 10 г за 24 ч. на варианте с дискованием.

Таблица 3 – Средняя уреазная активность почв в посевах зерновых культур в зависимости от основной обработки почвы, мг NH₄ на 10 г за 24 ч.

Культура	Система обработки почвы	Год определения			Среднее значение
		2015	2016	2017	
Пшеница	Зяблевая вспашка	13,68	15,58	16,23	15,16
	Минимальная обработка	15,29	17,16	16,64	16,36
	Прямой посев	14,51	18,30	15,94	16,25
Овес	Зяблевая вспашка	13,55	15,93	15,86	15,11
	Минимальная обработка	15,04	17,60	17,45	16,69
	Прямой посев	14,40	17,92	17,67	16,66
Ячмень	Зяблевая вспашка	13,44	15,32	16,29	15,02
	Минимальная обработка	15,12	18,10	16,87	16,70
	Прямой посев	14,16	17,64	16,53	16,11
Целинный аналог		20,41	23,86	23,06	22,44
НСР ₀₅		1,24	2,62	2,23	1,49

В 2016 и 2017 годах с достаточным увлажнением дегидрогеназная активность увеличилась в среднем на 14,9% на всех вариантах опытного поля. Наибольшие изменения до 16,0% отмечены на варианте с зяблевой вспашкой. Динамика дегидрогеназной активности в зависимости от основной обработки почвы представлена в таблице 4.

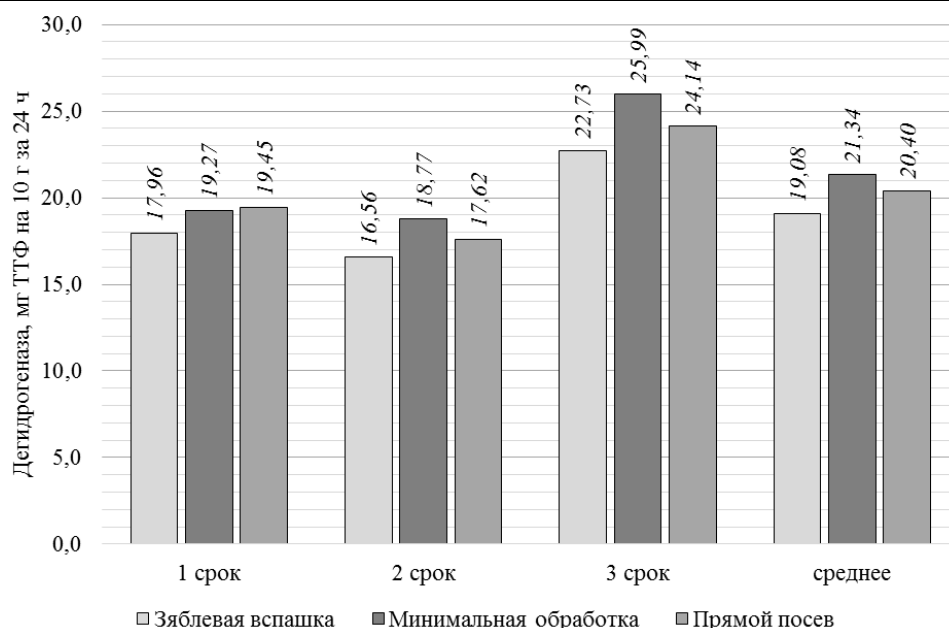


Рисунок 3 – Средняя динамика дегидрогеназной активности в зависимости от основной обработки почвы, 2015–2017 гг.

Таблица 4 – Средняя дегидрогеназная активность почв в посевах зерновых культур в зависимости от основной обработки почвы, мг ТТФ на 10 г за 24 ч.

Культура	Система обработки почвы	Год определения			Среднее значение
		2015	2016	2017	
Пшеница	Зяблевая вспашка	17,79	20,16	20,57	19,51
	Минимальная обработка	19,53	22,02	22,87	21,48
	Прямой посев	19,18	20,70	22,03	20,64
Овес	Зяблевая вспашка	16,63	20,78	19,34	18,91
	Минимальная обработка	19,14	23,08	22,17	21,46
	Прямой посев	17,81	22,08	21,63	20,51
Ячмень	Зяблевая вспашка	16,78	19,91	19,80	18,83
	Минимальная обработка	18,92	22,55	21,78	21,08
	Прямой посев	18,69	20,22	21,29	20,07
Целинный аналог		25,72	30,04	30,65	28,80
НСР ₀₅		1,91	2,18	1,48	1,50

Максимум активности инвертазы наблюдался весной и осенью, а минимум в середине вегетационного периода. Значения активности инвертазы в весенний период находились в интервале 19,36–20,71 мг глюкозы на 1 г за 24 ч. Летом происходило понижение ее уровня в 1,4 раза до 13,10–15,10 мг глюкозы на 1 г за 24 ч. Средняя динамика инвертазной активности в зависимости от основной обработки почвы представлена на рисунке 4.

Повышение активности инвертазы весной и осенью свидетельствует об усилении в эти периоды гидролитических процессов. Это подтверждают литературные данные о повышении интенсивности гидролитических процессов с увеличением влажности [19].

Наиболее низкие показатели инвертазной активности наблюдались на поле с традиционной техноло-

гией обработки почвы по всем исследованным культурам. В вариантах с дискованием и прямым посевом происходит увеличение активности инвертазы.

В недостаточно влажном и жарком 2015 году в целом активность инвертазы снижается, особенно в летний период. В 2016 и 2017 годах с благоприятными гидротермическими условиями активность инвертазы увеличилась в среднем на 20,6%. Инвертазная активность на вариантах опытного поля в зависимости от основной обработки почвы представлена в таблице 5.

Сезонная изменчивость фосфатазной активности проявляется в снижении этого показателя в середине вегетационного периода. Значения активности фосфатазы в весенний период значительно не отличались по вариантам опыта и находились в интервале 4,62–4,84 мг P₂O₅ на 10 г за 1 ч. Средняя динамика фосфатазной активности в зависимости от основной обработки почвы представлена на рисунке 5.

Интенсивность фосфатазной активности в летний период снижалась до 3,94–4,31 мг P₂O₅ на 10 г за 1 ч. В конце вегетационного периода активность фермента составляет 5,55 мг P₂O₅ на 10 г за 1 ч. на варианте с зяблевой вспашкой, 6,17 на варианте с прямым посевом и 6,69 мг P₂O₅ на 10 г за 1 ч. на варианте с дискованием.

В наших исследованиях наиболее низкие показатели фосфатазной активности наблюдаются на вариантах с зяблевой вспашкой по всем исследованным культурам. На вариантах с минимальной обработкой и прямым посевом более высокая активность объясняется большим поступлением растительных остатков, являющихся субстратами почвенных фосфатаз, и повышенной микробиологической активностью [20].

В 2016 и 2017 годах с благоприятными гидротермическими условиями в период вегетации зерновых культур активность фосфатазы превышала данные, полученные в 2015 г., в среднем на 13,9% на всех вариантах опытного поля. Наименьшие изменения отмечены на целинном аналоге 5,7%. Фосфатазная активность на вариантах опытного поля в зависимости от основной обработки почвы представлена в табл. 6.

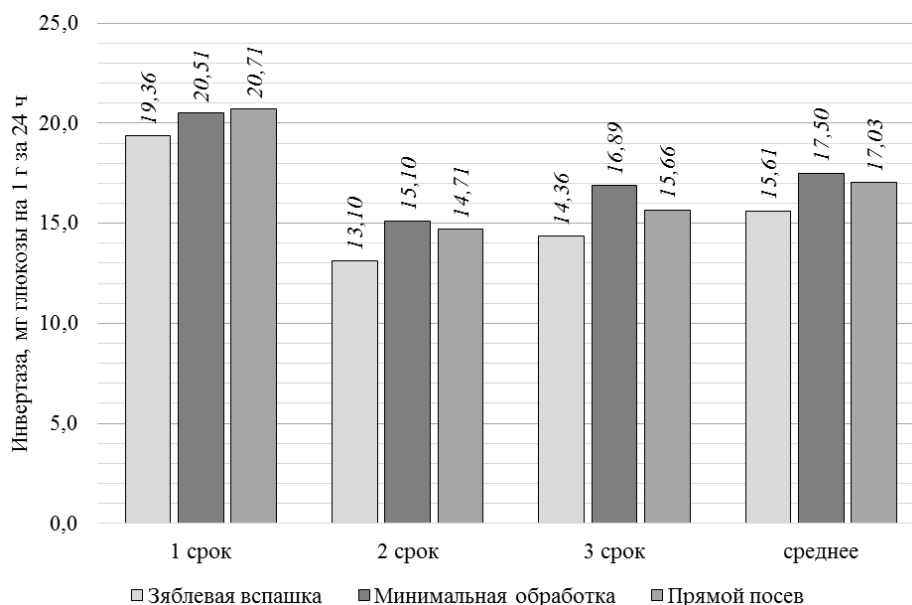


Рисунок 4 – Средняя динамика инвертазной активности в зависимости от основной обработки почвы, 2015–2017 гг.

Таблица 5 – Средняя активность инвертазы в посевах зерновых культур в зависимости от основной обработки почвы, мг глюкозы на 1 г за 24 ч.

Культура	Система обработки почвы	Год определения			Среднее значение
		2015	2016	2017	
Пшеница	Зяблевая вспашка	13,22	16,69	18,25	16,05
	Минимальная обработка	15,02	17,93	19,89	17,61
	Прямой посев	15,04	16,83	18,61	16,83
Овес	Зяблевая вспашка	13,05	16,11	18,00	15,72
	Минимальная обработка	14,32	17,96	19,76	17,34
	Прямой посев	15,49	16,34	18,96	16,93
Ячмень	Зяблевая вспашка	12,73	15,37	17,07	15,05
	Минимальная обработка	14,33	18,81	19,50	17,55
	Прямой посев	14,82	17,91	19,23	17,32
Целинный аналог		22,73	30,07	30,56	27,78
НСР ₀₅		1,30	1,68	1,29	0,94

Минимализация и отсутствие обработки позволили накопить на поверхности почвы мульчирующий слой из растительных остатков и измельченной соломы. Образование мульчирующего слоя, при применении ресурсосберегающих технологий обработки, активизируют почвенную микрофлору и синтез почвенных ферментов.

Культурные виды растений по-разному стимулируют активность почвенных ферментов. Высокая активность ферментов в ризосфере различных культур свидетельствует об интенсивности биохимических процессов, содействующих образованию легкоусвояемых растениями питательных веществ [21].

В наших исследованиях активность ферментов в большей степени повышалась под овсом и ячменем. Высокая ферментативная активность под этими культурами определяется большей кустистостью, фитомассой и более мощной корневой системой. В

целом активность ферментов практически не зависела от возделываемой культуры.

В связи с высокой динамичностью биохимических процессов, протекающих в почве, показатели биологической активности отличаются высокой изменчивостью [13]. Для оценки взаимосвязи между изучаемыми показателями был проведен линейный корреляционный анализ по средним значениям биохимических показателей по вариантам каждого срока отбора проб.

Высокая положительная корреляционная зависимость наблюдается между активностью уреазы и инвертазой ($r = 0,807$), дегидрогеназой и фосфатазой ($r = 0,946$), а также активностью дегидрогеназы и инвертазы ($r = 0,716$). Активность каталазы находится в отрицательной зависимости от инвертазной активности ($r = -0,739$).

Таблица 6 – Средняя активность фосфатазы в посевах зерновых культур в зависимости от основной обработки почвы, мг P₂O₅ на 10 г за 1 ч.

Культура	Система обработки почвы	Год определения			Среднее значение
		2015	2016	2017	
Пшеница	Зяблевая вспашка	4,34	4,78	4,80	4,64
	Минимальная обработка	4,79	5,70	5,44	5,31
	Прямой посев	4,64	5,21	5,28	5,04
Овес	Зяблевая вспашка	4,38	4,83	5,11	4,77
	Минимальная обработка	4,38	5,63	5,56	5,19
	Прямой посев	4,32	5,21	5,26	4,93
Ячмень	Зяблевая вспашка	4,36	4,80	4,91	4,69
	Минимальная обработка	4,80	5,70	5,43	5,31
	Прямой посев	4,85	5,48	5,56	5,30
Целинный аналог		6,90	7,26	7,37	7,18
НСР ₀₅		0,44	0,45	0,59	0,46

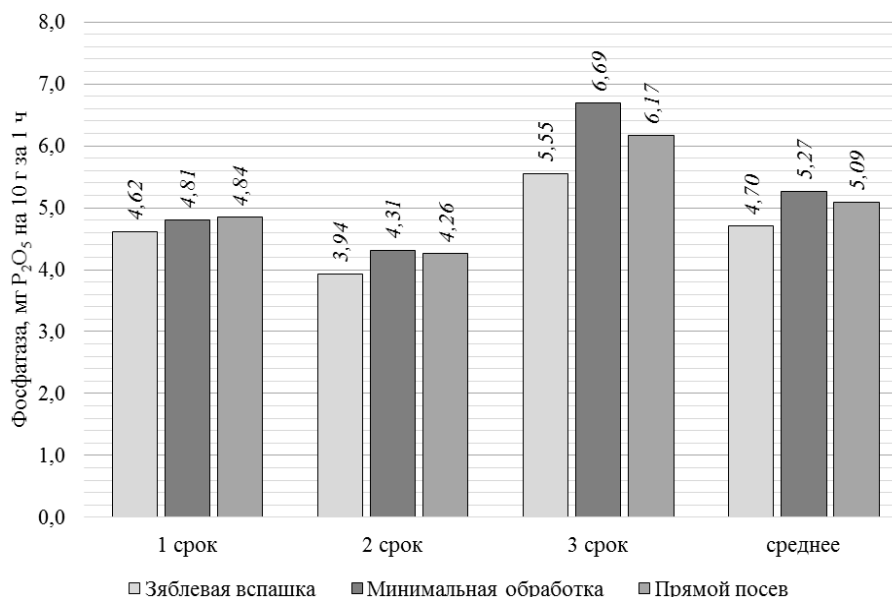


Рисунок 5 – Средняя динамика фосфатазной активности в зависимости от основной обработки почвы, 2015–2017 гг.

Сопоставляя результаты корреляционного анализа, отметили тесную связь между содержанием органического вещества и изучаемыми показателями биологической активности. Содержание гумуса в наибольшей степени коррелировало с содержанием инвертазы ($r = 0,841$), дегидрогеназы ($r = 0,790$) и фосфатазы ($r = 0,719$). Следует отметить высокую отрицательную связь между содержанием органического вещества и активностью каталазы ($r = -0,892$).

Найденная зависимость между активностью инвертазы и содержанием гумуса ($r = 0,841$) объясняется приуроченностью фермента к органическому веществу почвы. Инвертазная активность характеризует наличие в почве подвижного гумуса, поэтому активность этого фермента рекомендуется использовать как дополнительный показатель плодородия почвы.

При изучении связи биологических показателей с урожайностью зерновых культур не установлено четких закономерностей. Можно проследить положительную связь урожайности культур с активностью инвертазы ($r = 0,557$) и содержанием гумуса ($r = 0,510$), отрицательную с активностью каталазы ($r = -0,517$).

Для оценки влияния фактора обработки почвы и фактора полевой культуры на показатели ферментативной активности проведен двухфакторный дисперсионный анализ (таблица 7).

Таблица 7 – Двухфакторный дисперсионный анализ для оценки влияния систем обработки почвы и полевой культуры на показатели биологической активности почв

Показатель	Влияние, %	
	фактор А полевой культуры	фактор В обработки почвы
Активность каталазы	0,556	12,711
Активность уреазы	0,180	6,831
Активность дегидрогеназы	0,512	8,851
Активность инвертазы	0,198	8,910
Активность фосфатазы	0,423	7,136

Значительное влияние фактор обработки почвы оказывает на активность каталазы 12,71%, дегидрогеназы 8,85% и инвертазы 8,91%. Фактор полевой культуры не оказывает значительного влияния на биохимические показатели. Самое большое влияние зерновые культуры оказывают на активность каталазы – 0,556%.

Выводы

1. Обработка чернозема обыкновенного опытно-производственного хозяйства «Минино» привела к снижению активности почвенных ферментов. Активность каталазы уменьшилась на 9,88%, активность уреазы на 28,78%, активность дегидрогеназы на 29,95%, активность фосфатазы на 30,30%. Наиболее сильные различия отмечены для активности инвертазы – 39,94%.

2. Применение ресурсосберегающих систем обработки повышает активность почвенных ферментов, за исключением каталазы. Более высокая активность дегидрогеназы, уреазы, фосфатазы и инвертазы установлена на вариантах с минимальной обработкой. Возделываемые культуры не оказали существенного влияния на активность ферментов.

3. Значительное влияние на почвенные ферменты оказали гидротермические условия. В годы с благоприятными гидротермическими условиями активность ферментов превышала данные, полученные в 2015 г., на всех вариантах опытного поля. Повышенная влажность в 2017 году привела к снижению ферментативной активности почвы.

Список литературы:

- Хазиев Ф.Х. Почва и экология // Вестник Академии наук РБ. 2017. Т. 24, № 3. С. 29–38.
- Рябов Е.И. Ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур (Минимальная почвозащитная обработка, удобрения, пестициды, машины и орудия). Ставрополь: Изд-во СтГАУ «Агрис», 2003. 152 с.
- Baishya K. Impact of Agrochemicals application on Soil Quality Degradation – A Review // International

Journal of Science Technology and Management. 2015. № 4 (1). P. 220–228.

4. Пилецкая О.А. Биологическая активность черноземовидной почвы при использовании различных систем удобрения: дис. ... канд. биол. наук. Благовещенск, 2015. 152 с.

5. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. 260 с.

6. Utobo E.B., Tewari L. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status // *Applied Ecology and Environmental Research*. 2015. Vol. 13. P. 147–169.

7. Karaca A., Cetin S.C., Turgay O.C., Kizilkaya R. Soil enzymes as indicator of soil quality // *Soil Enzymology*. 2011. Vol. 22. P. 119–148. DOI: 10.1007/978-3-642-14225-3-7.

8. Gianfreda L., Ruggiero P. Enzyme activities in soil // *Nucleic Acids and Proteins in Soil, Soil Biology* / Eds P. Nannipieri, K. Smalla. 2006. Vol. 8. P. 257–311.

9. Puglisi E., Del Re A.A.M., Rao M.A., Gianfreda L. Development and validation of numerical indexes integrating enzymatic activities of soils // *Soil Biology and Biochemistry*, 2006. Vol. 38. P. 1673–1681.

10. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // *Поволжский экологический журнал*. 2013. № 4. С. 385–393.

11. Januszek K. The enzymatic activity of selected forest soils of southern Polish in the light of field studies and laboratory (in Polish with English summary) // *Scientific books, AR Krakow, Books 250*. 1999. P. 5–132.

12. Lasota J. Biochemical indicator of mountain forest soil fertility // *Soil Science Annual*. 2005. Vol. 56. P. 42–52.

13. Даденко Е.В. Методические аспекты применения показателей ферментативной активности в биодиагностике и биомониторинге почв: дис. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2004. 158 с.

14. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.

15. Данилова А.А. Биологические свойства чернозема выщелоченного при многолетней минимизации механической обработки: дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.27. Новосибирск, 2006. 250 с.

16. Семёнов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.

17. Багаутдинов Ф.Я., Пермякова Н.В., Казыханова Г.Ш. Изменение содержания состава органического вещества и продуктивности черноземов выщелоченных при сельскохозяйственном использовании // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2012. № 4 (24). С. 5–6.

18. Заушинцева А.В., Романов В.Н., Кожевников Н.В. Влияние ресурсосберегающих способов основной обработки чернозема обыкновенного на показатели общей биологической активности и урожайность зерновых культур // *Самарский научный вестник*. 2018. Т. 7, № 3 (24). С. 41–48.

19. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во ЦБВР, 2003. 350 с.

20. Даденко Е.В., Прудникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Применение показателей ферментативной активности при оценке состояния почв под сельскохозяйственными угодьями // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2013. Т. 15, № 3 (4). С. 1274–1277.

21. Лариков А.А. Влияние растений на ферментативную активность почв Юга России: дис. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2010. 154 с.

INFLUENCE OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES OF BASIC CULTIVATION ON THE ENZYMATIC ACTIVITY OF CHERNOZEM IN THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

© 2018

Kozhevnikov Nikolay Vladimirovich, postgraduate student of Botany Department

Zaushintsena Alexandra Vasilyevna, doctor of biological sciences, professor of Botany Department
Kemerovo State University (Kemerovo, Russian Federation)

Romanov Vasily Nikolaevich, doctor of agricultural sciences, leading researcher of Agrotechnology Department
*Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS»
(Krasnoyarsk, Russian Federation)*

Abstract. Currently, much attention is paid to modern resource-saving soil treatment systems. In connection with insufficient scientific provision, it is necessary to study new technologies for tillage in various soil and climatic conditions. The paper considers the influence of resource-saving technologies of basic cultivation on fermentative activity of chernozem of the ordinary Krasnoyarsk forest-steppe. Three soil treatment systems have been examined as well – classical autumn plowing to a depth of 22 cm, minimum cultivation to a depth of 8–10 cm and direct seeding technology. To study the dynamics of biological activity, the activity of invertase, urease, phosphatase, catalase and dehydrogenase have been analyzed. The chernozem cultivation of experimental production facility «Minino» led to a decrease in the activity of soil enzymes. Catalase activity got decreased by 9,88%, urease activity – by 28,78%, dehydrogenase activity – by 29,95%, phosphatase activity – by 30,30%. The strongest differences were noted for the invertase activity – 39,94%. The use of energy-saving technologies for the cultivation of grain crops increases the activity of soil enzymes with the exception of catalase. The higher activity of dehydrogenase, urease, phosphatase and invertase is established in versions with minimal technology. Cultivated crops had no significant effect on the activity of soil enzymes.

Keywords: minimal tillage; direct sowing; common black chernozem; cereals; enzymatic activity; Krasnoyarsk forest-steppe.