

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ И ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТЬЮ ЧЕРНОЗЕМОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ

Т. В. Минникова, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, Ю. В. Акименко, С. И. Колесников

*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии
им. Д.И. Ивановского,*

344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1

E-mail: loko261008@yandex.ru

Поступила в редакцию 14 сентября 2017 г., принята к печати 26 февраля 2018 г.

В течение вегетационного сезона 2016 г. в черноземах агроценозов Ростовской области выявлена динамика ферментативной активности, которая определяется, в том числе, температурой и влажностью почв. Активность почвенных оксидоредуктаз и гидролаз изменялась в широких пределах в течение сезона, как при использовании почвозащитной технологии прямого посева, так и традиционной технологии обработки почв. Также на протяжении сезона отмечено снижение активности ферментов. Наиболее тесные связи выявлены между температурой почв по всей глубине и активностью каталазы, β -фруктофуранозидазы и дегидрогеназ в июне и июле ($R = -0,66-0,90$). Зависимость ферментативной активности от влажности почв оказалась более сложной. Для различных ферментов в разные сроки отмечены как положительные, так и отрицательные связи. Обнаружена тенденция к повышению ферментативной активности черноземов при переходе на альтернативную почвозащитную технологию. При использовании технологии прямого посева выявлены более тесные связи между гидротермическими показателями и активностью дегидрогеназ и β -фруктофуранозидазы в почвах агроценозов по сравнению с традиционной технологией обработки почвы.

Ключевые слова: прямой посев, черноземы, биологическая активность, сезонная динамика.

ASSESSMENT OF RELATIONSHIPS BETWEEN HYDROTHERMIC INDICATORS AND ENZYMATIC ACTIVITY OF CHERNOZEMS OF ROSTOV REGION UNDER VARIOUS SOIL MANAGEMENT

T. V. Minnikova, G. V. Mokrikov, K. Sh. Kazeev, Yu. V. Akimenko, S. I. Kolesnikov

*Southern Federal University, Academy of biology and biotechnology named after D. I. Ivanovsky,
194/1, Stachki pr., Rostov-on-Don, 344090*

E-mail: loko261008@yandex.ru

During the growing season of 2016, the dynamics of enzymatic activity in the chernozems of the Rostov Region agrocenoses was studied. The enzymatic activity depends, among other factors, of the soil temperature and humidity. The activity of soil oxidoreductases and hydrolases varied widely throughout the season, both when using the soil protection technology of direct sowing and the traditional soil management technology. The activity of enzymes decreased during the growing season. Strong links were revealed between the temperature of the soils at all depths and the activity of catalase, β -fructofuranosidase and dehydrogenases in June and July ($R = -0,66-0,90$). Dependence of enzymatic activity of soil moisture was more complex. For different enzymes and different periods, both positive and negative correlations were calculated. The enzymatic activity of chernozems had a tendency to increase when the alternate soil protection technology was used. The correlation between the hydrothermic indicators and the activity of dehydrogenases and β -fructofuranosidase was stronger when the direct seeding technology was used in comparison with the traditional soil management technology.

Keywords: no-till, direct crops, chernozems, biological activity, seasonal dynamic.

ВВЕДЕНИЕ

Черноземы как самые плодородные почвы юга России нуждаются в постоянном наблюдении и охране (Вальков и др., 2008). Природные процессы почвообразования черноземных почв значительно изменяются при распашке и вовлечении в

сельскохозяйственный оборот (Казеев и др., 2004; Даденко и др., 2014; Мясникова и др., 2015). Искусственная замена нативной растительности сельскохозяйственными культурами приводит к неминуемому изменению биологического круговорота веществ, а также водного и теплового

режимов. В условиях современного земледелия на юге России зачастую происходит потеря влаги и органического вещества (Даденко и др., 2014; Петрова и др., 2015). Указанные факторы могут привести к усилению эродированности почв и значительному снижению плодородия.

Опыт ряда стран Северной и Латинской Америки, Казахстана и некоторых регионов России показал, что технология прямого посева (нулевая технология, или No-till) имеет не только экономические, но и экологические преимущества (López-Garrido et al., 2014; Авдеенко и др., 2015; Петрова и др., 2015), которые заключаются в сохранении почвенной влаги за счет минимизации обработки почвы и использования пожнивных остатков (Белоусова, Белоусов, 2017; Мокриков и др., 2017).

В последние 10 лет на всей территории России широко применяются ресурсосберегающие технологии обработки почвы (Петрова и др., 2015; Турусов и др., 2016). Прямой посев яровой пшеницы, в частности, оказывает благоприятное влияние на плотность почвы Среднего Поволжья и содержание в ней фосфора и калия в обменной форме. В других регионах установлены показатели численности бактерий, актиномицетов и грибов, сходные с соответствующими показателями, полученными при использовании традиционной технологии.

Ферментативная активность почв – важный диагностический показатель, часто используемый, в том числе при оценке состояния почв различных сельскохозяйственных угодий (Даденко и др., 2013; Казеев и др., 2016). Кроме того, показатели ферментативной активности используются как чувствительные индикаторы плодородия почв при оценке разных систем землепользования и степени деградации почвы при антропогенных воздействиях (Галстян, 1974; Казеев и др., 2004). Динамика активности ферментов в течение сезона при использовании

различных агротехнологий в настоящее время мало изучена (Терещенко и др., 2011; Vazquez et al., 2017). Известно, что существует выраженная динамика ферментативной активности черноземов с двумя пиками весной и осенью и минимумом в летний сухой период (Гончарова и др., 1990; Казеев и др., 2004).

Цель работы заключалась в оценке зависимости между гидротермическими показателями и ферментативной активностью черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись агроценозы, на которых применялись ресурсосберегающая почвозащитная технология и традиционная технология обработки почвы. Опытные поля расположены в Октябрьском районе Ростовской области. Почвы исследуемого региона относятся к черноземам обыкновенным (миграционно-сегрегационным) с различной мощностью, степенью выщелоченности профиля от карбонатов и гумусированностью (Вальков и др., 2008). Согласно Международной реферативной базе почвенных ресурсов (World Research Base), исследуемые почвы относятся к Calcic Chernozems. Образцы черноземов были отобраны из верхнего слоя почвы (0–10 см) в течение трех периодов: 3–5 июня, 25–26 июля и 17–18 сентября.

На опытных полях, где применялась почвозащитная технология No-till, выращивались озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта «Зустріч» (поля № 2, 3, 4, 5) и ячмень озимый (*Hordeum vulgare* L.) сорта «Агродеум» (поле № 1). Опытные поля располагались в непосредственной близости друг от друга и на расстоянии 50–100 м от контрольных участков. Контрольные поля, на которых использовалась традиционная технология обработки почв, были засеяны озимой пшеницей (табл. 1).

Таблица 1. Почвенный покров исследуемой территории

№ поля	Тип почв
1 1Г ¹	Чернозем обыкновенный карбонатный среднemocный слабогумусированный

2 2Т	Чернозем обыкновенный выщелоченный среднетощый малогумусный
3 3Т	Чернозем обыкновенный выщелоченный среднетощый малогумусный
4 4К	Чернозем обыкновенный слабовыщелоченный тощый малогумусный
5 5Т	Чернозем обыкновенный смытый среднетощый малогумусный

Примечание: ¹ – традиционная технология обработки почвы.

Температура почв определялась послойно при помощи электронного термометра HANNA СНЕСТЕМР, влажность почвы – в полевых условиях посредством влагомера Fieldsout TDR 100 в 10-кратной повторности на каждом участке.

Ферментативная активность почв определялась по стандартным методикам в 3–6-кратной повторности при естественном рН почв (Казеев и др., 2016), активность каталазы – газометрическим методом, активность дегидрогеназ, уреазы, фосфатазы и β-фруктофуранозидазы (инвертазы) – колориметрическим методом на спектрофотометре UNICO 1201. Результаты изменения активности ферментов использовались при статистических расчетах тесноты связи с гидротермическими показателями по коэффициенту корреляции Пирсона. Статистическая обработка данных

проводилась с использованием пакета программ Statistica 10.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что в исследуемый период почвы существенно различались по своим гидротермическим характеристикам. Была выявлена сезонная динамика хода температуры, достаточно типичная для почв Ростовской области. Влажность почв на всех исследованных полях, определенная при помощи влагомера, варьировалась в диапазоне 38–65% в июне, 45–62% в июле и 8–28% в сентябре (табл. 2). Согласно данным таблицы 2, первый срок исследования (июнь) относится к теплому периоду, второй (июль) – к жаркому, третий (сентябрь) – к прохладному. В первые два периода температура почвы способствовала высокой скорости протекания биологических процессов. Хотя в июне количество выпавших осадков было выше среднемноголетней нормы, средняя температура на глубине 5 и 10 см была высокой (19 и 17°C) в течение всего месяца.

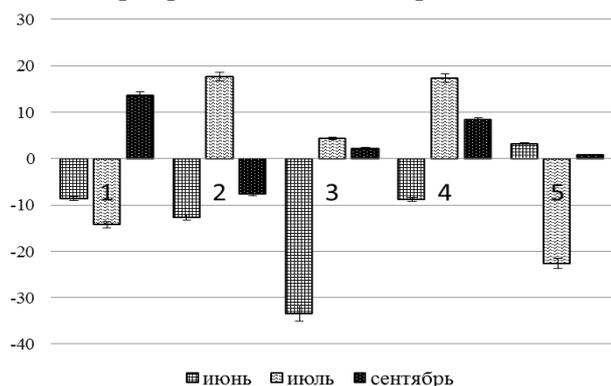
Таблица 2. Изменение влажности и температуры черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий

№ поля	Влажность, слой 0–10см, %			Температура почв, °С					
				на глубине 5 см			на глубине 10 см		
	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
1	38,6	61,9	8,6	16,0	24,2	20,7	14,0	23,5	19,2
1Т ¹	44,2	35,4	14,3	18,0	23,2	20,4	17,0	22,5	не опр.
2	60,2	45,1	20,4	20,0	21,1	20,3	18,0	21,0	не опр.
2Т	56,5	50,6	18,5	22,0	21,5	17,7	19,0	20,5	не опр.
3	55,4	55,9	23,2	18,0	22,8	18,2	17,0	21,3	17,8
3Т	54,6	36,9	14,1	21,0	23,5	21,5	20,0	21,3	не опр.
4	65,0	61,0	17,2	22,0	22,3	19,8	20,0	21,3	19,0
4К	60,5	53,7	17,8	19,0	23,3	20,8	17,0	22,1	не опр.
5	55,9	45,1	28,6	22,0	25,7	15,5	19,0	24,8	16,0
5Т	66,9	не опр.	23,1	19,0	не опр.	15,6	17,0	не опр.	15,8

Примечание: ¹ – традиционная технология обработки почвы.

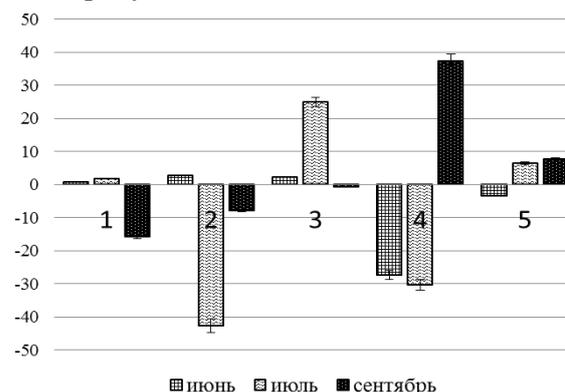
Максимальные значения температуры почвы установлены в июле, что согласуется с данными другого исследования, в рамках которого изучалось влияние нулевой и традиционной обработок, применяющихся как отдельно, так и в комплексе с кальцийсодержащими мелиорантами, на температуру и влажность типичных сероземов окрестностей г. Канамеро на юго-западе Испании (Vazquez et al., 2017). В сентябре вследствие снижения температуры и нарастающего иссушения почв биологические процессы стали протекать менее интенсивно.

Активность окислительно-восстановительных ферментов в течение вегетационного сезона изменялась в широких диапазонах: активность каталазы на полях, где применялась технология No-till, варьировалась в пределах 7,2–



а) каталаза

12,0 мл O_2 1 г^{-1} 1 мин^{-1} , на контрольных полях – 7,6–11,9 мл O_2 1 г^{-1} 1 мин^{-1} (рис. 1а). Подобная динамика активности была характерна для дегидрогеназ: на полях, где применялась технология No-till, активность изменялась в диапазоне 12,4–34,0 мг ТФФ 1 г 24 часа^{-1} , на контрольных полях – 13,3–33,9 ТФФ 1 г^{-1} 24 часа^{-1} (рис. 1б). Однако активность каталазы в июне в почвах опытных полей была ниже на 9–33%, чем в почвах контрольных полей. Указанные тенденции сохранились в течение второго периода наблюдения (июль), когда было отмечено снижение активности ферментов в почвах участков № 1 и № 5 на 14 и 23% соответственно, что связано с высокой степенью аэрации пахотных почв, достигаемой при традиционной технологии обработки и стимулирующей активность оксидоредуктаз.



б) дегидрогеназы

Рис. 1. Изменение активности оксидоредуктаз (в процентах от активности ферментов при традиционной технологии).

В сентябре наряду с общим снижением ферментативной активности в почвах всех полей была отмечена стабильность активности каталазы. Вероятно, это связано со снижением температуры и влажности почв. Активность дегидрогеназ в течение сезона слабо зависела от периода наблюдения. Снижение активности установлено в июне и июле в почвах участков № 2 и № 4, на которых использовалась технология No-till.

Активность гидролаз черноземов как ферментов, отвечающих за гидролиз и превращение органических веществ, изменялась в широком диапазоне. Как видно из табл. 3, активность фосфатазы при технологии No-till изменялась в течение

сезона в диапазоне 1,7–5,7 мг P_2O_5 100 г^{-1} 1 час^{-1} , при традиционной технологии – 1,6–7,7 мг P_2O_5 100 г^{-1} 1 час^{-1} . Выявлено незначительное изменение активности фермента в течение периода наблюдений в зависимости от температуры и влажности почв. Активность уреазы в агроценозах при технологии No-till варьировалась в пределах 3,1–22,2 мг NH_3 10 г^{-1} 24 часа^{-1} , при традиционной технологии – 1,0–91,9 мг NH_3 10 г^{-1} 24 часа^{-1} . Активность β -фруктофуранозидазы при технологии No-till изменялась в диапазоне 4,2–7,9 мг глюкозы 1 г^{-1} 24 часа^{-1} , при традиционной технологии – 3,1–7,8 мг глюкозы 1 г^{-1} 24 часа^{-1} .

В июле было отмечено незначительное снижение активности гидролаз и усиление активности оксидоредуктаз.

Для установления связи между гидротермическими показателями и ферментативной активностью были рассчитаны коэффициенты корреляции для влажного теплого (июнь), влажного жаркого (июль) и холодного сухого периодов (сентябрь) (табл. 4). Так, в июне активность каталазы тесно коррелировала с температурой почвы по всей глубине ($R = 0,73$; $0,68$; $0,68$), в то время как

активность дегидрогеназ имела обратные связи с влажностью ($R = -0,64$) и температурой на глубине 5 и 10 см ($R = -0,65$ – $0,66$). Активность гидролаз также имела тесные обратные корреляционные связи с температурой и влажностью почв: установлена тесная связь с влажностью почв ($R = -0,77$) и температурой на поверхности ($R = -0,62$) и на глубине 10 см ($R = -0,67$). Наиболее тесные связи выявлены между температурой почв на глубине 5–10 см и активностью β -фруктофуранозидазы.

Таблица 3. Изменение активности гидролаз черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий

№ поля	Активность фосфатазы, мг P_2O_5 100 г ⁻¹ час ⁻¹			Активность уреазы, мг NH_3 10 г ⁻¹ 24 часа ⁻¹			Активность β -фруктофуранозидазы, мг глюкозы 1 г ⁻¹ 24 часа ⁻¹		
	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
1	3,5	2,5	2,3	22,2	6,2	11,0	7,9	5,6	7,7
1Т	3,8	3,2	1,6	91,9	8,3	8,5	5,7	5,6	3,1
2	5,7	1,8	2,9	16,5	5,7	15,0	6,3	6,0	4,7
2Т	7,7	2,5	4,1	24,8	2,5	13,8	6,1	6,2	4,5
3	5,4	1,2	4,0	9,1	7,2	16,5	7,7	7,1	6,6
3Т	4,8	3,9	5,4	21,7	1,0	21,2	5,1	7,0	7,8
4	5,5	2,7	3,2	8,5	3,1	9,0	7,3	6,0	4,2
4Т	3,6	2,0	2,7	25,7	11,1	16,0	5,3	4,9	5,1
5	1,7	2,5	2,6	16,6	2,2	9,4	5,1	5,3	4,0
5Т	2,9	2,4	2,3	1,0	19,6	13,5	5,6	5,4	4,9

Примечание: ¹ – традиционная технология обработки почвы.

Таблица 4. Корреляционная связь между гидротермическими показателями и ферментативной активностью черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий

R		W ¹	t ₅	t ₁₀
Активность каталазы	июнь	<u>0,47</u>	<u>0,68**2</u>	<u>0,68**</u>
		-0,12	0,44	<u>0,79**</u>
	июль	<u>0,09</u>	<u>-0,90***</u>	<u>-0,77**</u>
		-0,49	-0,13	0,40
	сентябрь	<u>-0,42</u>	<u>0,22</u>	<u>0,51</u>
		0,31	0,08	-0,13
Активность дегидрогеназ	июнь	<u>-0,64**</u>	<u>-0,66**</u>	<u>-0,65**</u>
		-0,03	<u>-0,51*</u>	-0,08
	июль	<u>0,18</u>	<u>0,80*</u>	<u>0,67*</u>
		<u>-0,84</u>	0,42	<u>0,65</u>
	сентябрь	<u>-0,74</u>	<u>0,95</u>	<u>0,84</u>
		<u>-0,50</u>	0,24	-0,07
Активность фосфатазы	июнь	<u>0,44</u>	<u>-0,10</u>	<u>0,12</u>
		-0,20	<u>0,86***</u>	<u>0,65**</u>
	июль	<u>0,23</u>	0,38	<u>0,49</u> **
		<u>-0,91**</u>	0,38	-0,02

Активность уреазы	сентябрь	<u>0,36</u> -0,29	-0,11 0,27	-0,01 0,43**
	июнь	<u>-0,77**</u>	-0,46	<u>-0,67*</u>
		<u>-0,50*</u>	-0,47	-0,25
	июль	<u>0,27</u>	-0,42	-0,46
		0,20	0,28	<u>0,75*</u>
	сентябрь	<u>-0,21</u> 0,57	<u>0,19*</u> 0,34	<u>0,01</u> 0,54
Активность β-фруктофуранозидазы	июнь	<u>-0,37</u>	<u>-0,70**</u>	<u>-0,56**</u>
		<u>-0,68**</u>	0,22	-0,17
	июль	<u>0,19</u>	<u>-0,52**</u>	<u>-0,71**</u>
		0,35	-0,08	<u>-0,58*</u>
	сентябрь	<u>0,56</u>	<u>0,43</u>	<u>0,49</u>
		0,70*	0,33	0,60*

Примечание:

¹ W – влажность почв, %; t₅ – температура почв на глубине 5 см, °C; t₁₀ – температура почв на глубине 10 см, °C.

² числитель – обработка почвы по технологии No-till, знаменатель – обработка почв по традиционной технологии.

Полужирным шрифтом выделены значения коэффициента корреляции выше 0,50.

Достоверность отличия от контроля: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

Для второго периода (июль) наиболее тесные связи были установлены между активностью оксидоредуктаз и температурой на глубине 5 (R = -0,90) и 10 см (R = -0,77) при технологии No-till. Тесные связи при технологии No-till выявлены также между активностью фосфатазы и влажностью (R = -0,91) и между активностью β-фруктофуранозидазы и температурой на глубине 5 (R = -0,52) и 10 см (R = -0,71). Также установлена сильная зависимость между гидротермическими показателями почвы и активностью оксидоредуктаз на полях, где применялась почвозащитная технология, и активностью фосфатазы в почвах, обрабатываемых по традиционной технологии.

Более тесные связи выявлены между активностью дегидрогеназ и фосфатазы и влажностью почв, на которых применялась традиционная технология, а также между активностью каталазы и дегидрогеназ и температурой почв, обрабатываемых по технологии No-till. Это может быть обусловлено увеличением окислительно-восстановительного потенциала почв, поскольку при повышении температуры и оптимальной влажности почв происходит снижение интенсивности протекания окислительно-восстановительных процессов.

Для третьего периода отбора наиболее тесные связи были выявлены между активностью дегидрогеназ, влажностью (R = -0,74) и температурой на поверхности и глубине 5 см и 10 см (R = 0,72–0,95). Активность β-фруктофуранозидазы имела наиболее тесную связь с влажностью почв как при прямом посеве, так и при традиционной технологии обработки почвы.

В третий период наблюдений при технологии прямого посева тесных связей между активностью остальных ферментов и гидротермическими показателями не выявлено. Следует отметить, что более тесные связи установлены в почвах агроценозов, на которых применялся прямой посев, по сравнению с почвами, обрабатываемыми по традиционной технологии. Вероятно, это обусловлено разложением растительных остатков и интенсификацией процессов образования органического вещества, что ранее было установлено при исследовании целинных и залежных почв (Галстян, 1974; Даденко и др., 2014; Мясникова и др., 2015), и нитрификационной активности черноземов при использовании различных агротехнологий (Минникова и др., 2017). В настоящем исследовании жаркому (июнь) и холодному (сентябрь) периодам соответствовала максимальная активность гидролаз (уреазы, фосфатазы и β-

фруктофуранозидазы), сухому жаркому (июль) периоду – минимальная, что непосредственно связано с корневыми выделениями сорных растений, влияющими на ферментативную активность почв, и выделением токсических веществ, в том числе природных антибиотиков, подавляющих ферментативную активность (Галстян, 1974; Гончарова и др., 1990). Такой эффект проявляется в почве во второй половине лета и затем в осенние месяцы, что подтверждают результаты настоящего исследования. Для каталазы и дегидрогеназ характерна противоположная динамика активности: чем выше температура и ниже влажность почв (июль), тем выше активность. Вероятно, активизация данных процессов связана с образованием при использовании технологии No-till мульчирующего слоя из органического вещества растительных остатков, которые оптимизируют влажность и температуру почв. Так, в исследовании Т. Ge с соавт. (2017) установлено положительное воздействие высокой температуры почв на активность почвенной фосфатазы и хитиназы в течение вегетационного сезона. Сходная сезонная динамика ферментативной активности характерна также для почв под кукурузой (Zhu et al., 2017). Несмотря на то, что при возделывании ячменя и пшеницы отмечается низкая активность ризосферных микроорганизмов, растительные остатки, оставшиеся на поле после сбора урожая, оказывают на протяжении всего периода исследований стимулирующее воздействие на активность ферментов (Ge et al., 2017; Zhu et al., 2017). Это связано с процессом восполнения запасов органических веществ в почве, имеющим, судя по литературным данным, тенденцию к снижению во второй половине лета. Особенно тесные связи установлены между нитратами и влажностью чернозема и каштановой почвы в период с апреля по октябрь (Галстян, 1974). Результаты предыдущей работы авторов подтверждают, что нитрификационная активность снижается в июле и постепенно

повышается в сентябре (Минникова и др., 2017).

В исследовании Г.В. Мокрикова с соавт. (2017) отмечаются хорошая оструктуренность черноземов и оптимальные значения плотности, сопротивления пенетрации и содержания гумуса в мае-июне при использовании технологии No-till. В период с мая по июнь выявлено повышение активности почвенных бактерий и микромицетов с постепенным снижением во второй половине лета (конец июля). В настоящем исследовании максимальная ферментативная активность также установлена в июне.

По данным Е. Vazquez с соавт. (2017), снижение в июле активности таких почвенных ферментов, как уреазы, фосфатазы и инвертазы, обусловлено уменьшением влажности почвы, доступности для микроорганизмов основных субстратов, таких как NH_3 и NO_3 , и подвижной части органического вещества почв, а не снижением численности бактерий (Blagodatsky, Smith, 2012; Petersen et al., 2012). Результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что гидротермические условия в течение вегетационного сезона оказывают отрицательное влияние на активность гидролаз и незначительное стимулирующее воздействие на активность оксидоредуктаз.

ВЫВОДЫ

В рамках настоящего исследования установлено варьирование гидротермических показателей (влажности и температуры почв) в зависимости от технологии обработки почвы. Выявлено, что при технологии прямого посева влажность варьировалась по периодам в пределах 8,6–65,0%, при традиционной технологии – 14,1–66,9%, температура на глубине 5 см – 15,5–22,0°C при прямом посеве и 15,6–21,0°C при традиционной технологии, температура на глубине 10 см – 14,0–20,0°C при No-till и 15,8–22,5°C при традиционной технологии.

Установлены тесные связи между температурой и ферментативной активностью почв в течение всего сезона

при технологии прямого посева, а также зависимость ферментативной активности от температуры почвы на глубине 5–10 см в июне и июле ($R = -0,66-0,90$).

Влажность почв при использовании обеих агротехнологий оказывает отрицательное влияние на активность дегидрогеназ в сентябре и уреазы в июне и положительное – на активность β -фруктофуранозидазы в сентябре. При

применении традиционной технологии возделывания отмечается отрицательное влияние влажности на активность дегидрогеназ и фосфатазы в июле.

*Исследование выполнено при поддержке
Министерства образования и науки
Российской Федерации (5.5735.2017/БЧ) и
Президента Российской Федерации
(НШ-9072.2016.11).
.11).*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белюсова Е. Н., Белоусов А. А. Агрофизические свойства чернозема выщелоченного в условиях нулевой технологии // Агрофизика. 2017. № 1. С. 1–10.
- Вальков В. Ф., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во Эверест, 2008. 276 с.
- Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.
- Гончарова Л. Ю., Безуглова О. С., Вальков В. Ф. Сезонная динамика содержания гумуса и ферментативной активности чернозема обыкновенного карбонатного // Почвоведение. 1990. № 10. С. 86–93.
- Даденко Е. В., Мясникова М. А., Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // Почвоведение. 2014. № 6. С. 724–733.
- Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биология почв Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.
- Казеев К. Ш., Колесников С. И., Акименко Ю. В., Даденко Е. В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
- Минникова Т. В., Мокриков Г. В., Казеев К. Ш., Акименко Ю. В., Колесников С. И. Влияние технологии No-Till на нитрификационную активность черноземов Ростовской области // Агрехимия. 2017. № 9. С. 33–38.
- Мокриков Г. В., Казеев К. Ш., Акименко Ю. В., Колесников С. И. Влияние технологии прямого посева на эколого-биологические свойства черноземов // Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2017. № 2. С. 68–74.
- Мясникова М. А., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Влияние возраста залежей на биологические свойства постагрогенных почв Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2015. 130 с.
- Петрова Л. Н., Дридигер В. К., Кашаев Е. А. Влияние технологий возделывания сельскохозяйственных культур на содержание продуктивной влаги и плотность почвы в севообороте // Земледелие. 2015. № 5. С. 16–18.
- Турусов В. И., Гармашов В. М., Нужная Н. А., Гармашова Л. В. Влияние обработки почвы, удобрений и гербицидов на микробный ценоз чернозема обыкновенного // Агрофизика. 2016. № 2. С. 10–17.
- Bini D., Alcantara dos Santos C., Priscila Toledo Bernal L., Andrade G., Antonio Nogueira M. Identifying indicators of C and N cycling in a clayey Ultisol under different tillage and uses in winter // Applied Soil Ecology, 2014, v. 76, pp. 95–101.
- Blagodatsky S., Smith P. Soil physics meets soil biology: towards better mechanistic prediction of greenhouse gas emissions from soil // Soil Biology and Biochemistry, 2012, no. 47, pp. 78–92.
- Ge T., Wei X., Razavi B. S., Zhu Zh., Hu Ya., Kuzyakov Ya., Jones D. L., Wu J. Stability and dynamics of enzyme activity patterns in the rice rhizosphere: Effects of plant growth and temperature // Soil Biology & Biochemistry, 2017, no. 113, pp. 108–115.
- Mbuthia L. W., Acosta-Martínez V., DeBruyn J., Schaeffer S., Tyler D., Odoi E., Mphesha M., Walker F., Eash N. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality // Soil Biology & Biochemistry, 2015, v. 89, pp 4–34.
- Vazquez E., Teutscheroва N., Almorox J., Navas M., Espejo R., Benito M. Seasonal variation of microbial activity as affected by tillage practice and sugar beet foam amendment under Mediterranean climate // Applied Soil Ecology, 2017, v. 117–118, pp. 70–80.
- Zhu L., Xiao Q., Cheng H., Shi B., Shen Y., Li Sh. Seasonal dynamics of soil microbial activity after biochar addition in a dryland maize field in North-Western China // Ecological Engineering, 2017, v. 104, part A, pp. 141–149.

REFERENCES

- Belousova E. N., Belousov A. A. Агрофизические свойства чернозема выщелоченного в условиях нулевой технологии [Agrophysical properties of the chernozem leached in the conditions of zero technology] // Агрофизика, 2017, no. 1, pp. 1–10.

- Val'kov V. F., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. *Pochvy Yuga Rossii* [Soils of the South of Russia]. Rostov-na-Donu: Publishing house Everest, 2008. 276 p.
- Galstyan A. SH. *Fermentativnaya aktivnost' pochv Armenii* [Enzymatic activity of soils of Armenia]. Erevan: Ajastan, 1974. 275 p.
- Goncharova L. Yu., Bezuglova O. S., Val'kov V. F. Sezonnaya dinamika sodержaniya gumusa i fermentativnoj aktivnosti chernozema obyknovennogo karbonatnogo [Seasonal dynamics of content of a humus and enzymatic activity of the chernozem of ordinary carbonate] // *Pochvovedenie*, 1990, no. 10, pp. 86–93.
- Dadenko E. V., Myasnikova M. A., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Val'kov V. F. Biologicheskaya aktivnost' chernozema obyknovennogo pri dlitel'nom ispol'zovanii pod pashnyu [Biological activity of the chernozem ordinary at long use under an arable land] // *Pochvovedenie*, 2014, no. 6, pp. 724–733.
- Kazeev K. Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. *Biologiya pochv YUGa Rossii* [Biology of soils of the South of Russia]. Rostov-na-Donu: Publishing house CVVR, 2004. 350 p.
- Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Akimenko Yu. V., Dadenko E. V. *Metody biodiagnostiki nazemnykh ehkosistem* [Methods of biodiagnostics of land ecosystems]. Rostov-na-Donu: Publishing house YUFU, 2016. 356 p.
- Minnikova T. V., Mokrikov G. V., Kazeev K. Sh., Akimenko Yu. V., Kolesnikov S. I. Vliyanie tekhnologii No-Till na nitrifikatsionnyu aktivnost' chernozemov Rostovskoj oblasti [Influence of No-Till technology on nitrifikatsionny activity of chernozems of the Rostov region] // *Agrohimiya*, 2017, no. 9, pp. 33–38.
- Mokrikov G. V., Kazeev K. Sh., Akimenko Yu. V., Kolesnikov S. I. Vliyanie tekhnologii pryamogo poseva na ehkologo-biologicheskie svoystva chernozemov [Influence of technology of direct crops on ecological and biological properties of chernozems] // *Izvestiya Vysshih uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region*, 2017, no. 2, pp. 68–74.
- Myasnikova M. A., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. *Vliyanie vozrasta zalezhej na biologicheskie svoystva postagrogennykh pochv Rostovskoj oblasti* [Influence of age of deposits on biological properties of post-agrogene soils of the Rostov region]. Rostov-na-Donu: Publishing house Yuzhnij Federal university, 2015. 130 p.
- Petrova L. N., Dridiger V. K., Kashchaev E. A. Vliyanie tekhnologij vozdeleyvaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur na sodержanie produktivnoj vlagi i plotnost' pochvy v sevooborote [Influence of technologies of cultivation of crops on the content of productive moisture and density of the soil in a crop rotation] // *Zemledelie*, 2015, no. 5, pp. 16–18.
- Turusov V. I., Garmashov V. M., Nuzhnaya N. A., Garmashova L. V. Vliyanie obrabotki pochvy, udobrenij i herbicidov na mikrobnij cenoz chernozema obyknovennogo [Influence of processing of the soil, fertilizers and herbicides on a microbic tsenoz of the chernozem ordinary] // *Agrofizika*, 2016, no. 2, pp. 10–17.
- Bini D., Alcantara dos Santos C., Priscila Toledo Bernal L., Andrade G., Antonio Nogueira M. Identifying indicators of C and N cycling in a clayey Ultisol under different tillage and uses in winter // *Applied Soil Ecology*, 2014, v. 76, pp. 95–101.
- Blagodatsky S., Smith P. Soil physics meets soil biology: towards better mechanistic prediction of greenhouse gas emissions from soil // *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, no. 47, pp. 78–92.
- Ge T., Wei X., Razavi B. S., Zhu Zh., Hu Ya., Kuzyakov Ya., Jones D. L., Wu J. Stability and dynamics of enzyme activity patterns in the rice rhizosphere: Effects of plant growth and temperature // *Soil Biology & Biochemistry*, 2017, no. 113, pp. 108–115.
- Mbuthia L. W., Acosta-Martínez V., DeBruyn J., Schaeffer S., Tyler D., Odoi E., Mphesha M., Walker F., Eash N. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality // *Soil Biology & Biochemistry*, 2015, v. 89, pp. 24–34.
- Vazquez E., Teutscherova N., Almorox J., Navas M., Espejo R., Benito M. Seasonal variation of microbial activity as affected by tillage practice and sugar beet foam amendment under Mediterranean climate // *Applied Soil Ecology*, 2017. v. 117–118, pp. 70–80.
- Zhu L., Xiao Q., Cheng H., Shi B., Shen Y., Li Sh. Seasonal dynamics of soil microbial activity after biochar addition in a dryland maize field in North-Western China // *Ecological Engineering*, 2017, v. 104, part A, pp. 141–149.