

UDC 631.465

Rieznik S. V., postgraduate  
Havva D. V., Cand. Sci. (Agric.)  
Sotnykov Yu. O., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor  
Kharkiv National Agrarian University named after V. V. Dokuchayev

## ENZYME CATALASE ACTIVITY OF CHORNOZEMS TYPICAL OF THE LEFT BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE FOR VARIOUS FARMING SYSTEMS

**Aim.** In the soil a certain "pool" of enzymes is accumulated qualitative and quantitative composition of which is characteristic of this type of soils, but the intensity of enzymatic processes depends on specific conditions: substrate, microbiological activity, content of organic substances, pH, humidity and so on. In studies of soil enzymes, particular importance is given to determining the activity of the catalase enzyme involved in the cleavage of hydrogen peroxide to molecular oxygen and water. The study of soil catalase activity is due to the fact that the activity of this enzyme can be considered as a diagnostic indicator of different genetic types of soils, level of cultivation, evaluation of the influence of various anthropogenic factors on the state of soil systems.

**Methods.** Chernozems typical for various uses was investigated: organic farming system (siderat), where in winter winter wheat was grown after siderata spring vines, and in 2019 - winter peas; fallow (more than 20 years without cultivation), organic farming system (compost), where in 2018 corn was grown for grain, where compost was introduced (20 t / ha) and in 2019 - oats; intensive system of agriculture (mineral fertilizers), where in 2018 corn was grown using mineral fertilizers ( $N_{130}P_{30}K_{30}$ ), and in 2019 - sunflower using mineral fertilizers ( $N_{35}P_{15}K_{30}$ ). The activity of the catalase enzyme was determined by the gasometric method according to A. Sh. Galstyan.

**Results.** According to the conducted researches it is possible to construct a series of activity of catalase enzyme: organic farming system (siderate); organic farming system (compost); fallow; intensive farming system (mineral fertilizers). The activity of the catalase enzyme of the soil under study depends to a large extent on soil moisture, which fluctuated throughout the year (especially in 2019) and on farming systems. The highest activity of catalase was observed in the organic farming system (siderate) and the lowest in the intensive farming system (mineral fertilizers).

**Conclusions.** The release of enzymes to the soil environment by microbes and plant root systems is characterized by the adaptation of living organisms to the presence of a substrate for the enzyme to work, so the activity of soil enzymes can act as a diagnostic indicator of biological activity. Almost all farming systems contributed to the average supply of the catalase enzyme.

**Keywords:** chernozem typical, enzyme, catalase, organic farming system, intensive farming system.

УДК 631.465

**Резник С. В., аспирант**  
**Гавва Д. В., канд. с.-х. наук**  
**Сотников Ю. А., канд. экон. наук, доцент**  
*Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева*

### **КАТАЛАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМОВ ТИПИЧНЫХ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

*Исследована ферментативная активность каталазы черноземов типичных глубоких среднесуглинковых на лесах различного использования: органическая система земледелия (сидерат), перелог (больше 20 лет без обработки), органическая система земледелия (компост), интенсивная система земледелия (минеральные удобрения). Показано, что активность фермента каталаза исследуемых почв в значительной степени зависит от влажности почвы, которая колебалась в течение года (особенно в 2019 году.) и от систем земледелия. Наибольшая активность каталазы наблюдалась в варианте органической системы земледелия (сидерат), а наименьшая – в варианте интенсивной системы земледелия (минеральные удобрения). Практически все системы земледелия способствовали среднему обеспечению на фермент каталаза.*

**Ключевые слова:** чернозем типичный, фермент, каталаза, органическая система земледелия, интенсивная система земледелия.

УДК 631.465

**Резнік С. В., аспірант**  
**Гавва Д. В., канд. с.-г. наук**  
**Сотников Ю. О., канд. экон. наук, доцент**  
*Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва*

### **КАТАЛАЗНА АКТИВНІСТЬ ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ ЛІВОБЕРЕЖЖЯ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ЗЕМЛЕРОБСТВА**

*Досліджено ферментативну активність каталази чорноземів типових глибоких середньосуглинкових на лесах різного використання: органічна система землеробства (сидерат), переліг (понад 20 років без обробітку), органічна система землеробства (компост), інтенсивна система землеробства (мінеральні добрива). Висвітлено, що активність ферменту каталаза досліджуваних ґрунтів значною мірою залежить від вологості ґрунту, яка коливалася протягом року (особливо у 2019 р.) та від систем землеробства. Найбільша активність каталази спостерігалася у варіанті органічної системи землеробства (сидерат), а найменша – у варіанті інтенсивної системи землеробства (мінеральні*

добрива). Практично всі системи землеробства сприяли середньому забезпеченню на фермент каталаза.

**Ключові слова:** чорнозем типовий, фермент, каталаза, органічна система землеробства, інтенсивна система землеробства.

**Вступ.** Розклад рослинних і тваринних решток, а також вивільнення та зв'язування елементів живлення відбуваються під дією ферментних систем ґрунтових мікроорганізмів. У розкладанні органічних речовин здебільшого беруть участь актиноміцети, бактерії та гриби, які і продукують позаклітинні ферменти. Ґрунтові тварини як консументи впливають на структуру популяцій мікробіоти, її активність і чисельність. Мікробіологічна активність містить метаболічні процеси і реакції, які відбуваються у ґрунті за участю мікробіоти і мікрофауни. До основних показників мікробіологічної активності належать чисельність і біомаса мікроорганізмів, ґрунтове “дихання” (виділення CO<sub>2</sub>) і ферментативна активність. Ферментативний потенціал ґрунтів значною мірою залежить від життєдіяльності ґрунтової біоти, тому будь-які зміни мікробоценозу відображаються на ферментативній активності. Наявність у ґрунтах ферментів визначає швидкість і напрямок протікання процесів розкладання рослинного опаду і синтезу гумусових речовин (Хазиев Ф.Х., 2005).

Комплекси ферментів, представлені в різних типах ґрунтів, істотно відрізняються за активністю біокаталітичних реакцій і відповідної реакції на зовнішні впливи, що дозволяє використовувати параметри ферментативної активності для характеристики ґрунтів і оцінки їхнього екологічного стану. У цьому аспекті здебільшого увага приділяється оцінці активності ферментів в ґрунтах, що належать до класу оксидоредуктаз (Тульская Е.М., 1979). Це обумовлено тим, що ці ферменти відіграють провідну роль в окислювально-відновних реакціях, які складають основу синтезу гумусових речовин (Тульская Е.М., 1980; Heger, T.J., 2012).

Під час досліджень ґрунтових ферментів особливу у вагу приділяють визначенню активності ферменту каталази, яка бере участь у розщепленні перекису водню до молекулярного кисню і води. Активність ферменту каталаза є досить стійким та інформативним показником під час ензимологічної діагностики ґрунтових різниць (Семиколенных А.А., 2001; Даденко Е.В., 2009). Дослідження каталазної активності ґрунтів зумовлене тим, що активність цього ензиму можна розглядати як діагностичний показник різних генетичних типів ґрунтів, рівня окультурення, оцінки впливу різних антропогенних чинників на стан ґрунтових систем тощо (Bautista-Cruz A.O., 2015), що є важливим для вирішення питань прикладного ґрунтознавства. Зменшення кількості цього ферменту у ґрунті може свідчити про анаеробні умови, зниження мікробіологічної активності та низький уміст органічної речовини у ґрунті (Хазиев, Ф.Х., 1983; Bell, T.H., 2010).

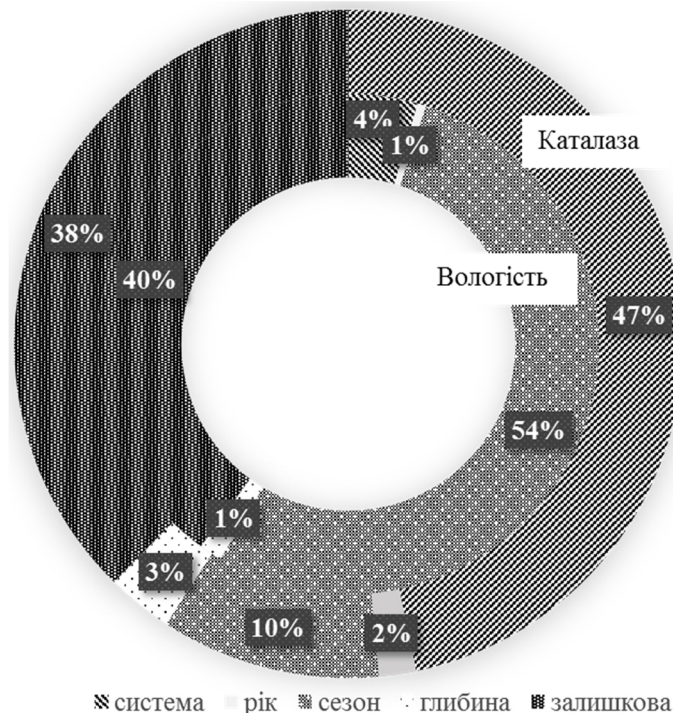
У науковій літературі зафіксовано недостатньо даних стосовно впливу

коливань температури та вологості на ферментативну активність у ґрунтах (Fogarty W.M., 2012; Shukla G., 2011). Оскільки температурні показники і вологість здатні вплинути на швидкість синтезу ферментів у ґрунтах через доступність субстрату й активізації мікробіологічної діяльності (Bell T.H., 2011).

**Об'єкти та методи.** Представлені дані (за 2018-2019 рр.) є частиною досліджень біологічної активності чорноземних ґрунтів. Досліджувалися чорноземи типові глибокі середньосуглинкові на лесах Лівобережжя Лісостепу України у межах Зінківського р-ну Полтавської обл., які перебувають під різним використанням, а саме такі варіанти: органічна система землеробства (сидерат), де у 2018 р. вирощували озиму пшеницю після сидерату вики ярої, а у 2019 р. – зимуючий горох; переліг (понад 20 років без обробітку), органічна система землеробства (компост), де у 2018 р. вирощували кукурудзу на зерно, де було внесено компост (20 т/га), а у 2019 р. – овес); інтенсивна система землеробства (мінеральні добрива), де у 2018 р. вирощували кукурудзу на зерно із застосуванням мінеральних добрив (N<sub>130</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>), а у 2019 р. – соняшник із застосуванням мінеральних добрив (N<sub>35</sub>P<sub>15</sub>K<sub>30</sub>).

Активність ферменту каталаза визначено газометричним методом за А. Ш. Галстяном (Хазиев Ф. Х., 2005).

**Результати досліджень.** Проведений дисперсійний аналіз ґрунту засвідчив статистично значущий вплив усіх досліджуваних чинників на вміст каталази й вологості зразків ( $p < 0.05$ ) за 95% рівня довіри. Структура впливу чинників, що досліджували, наведено на рис. 1.



**Рис. 1. Структура статистично значущих чинників на вміст каталази та вологості зразків ( $p < 0.05$ ) за 95% рівня довіри**

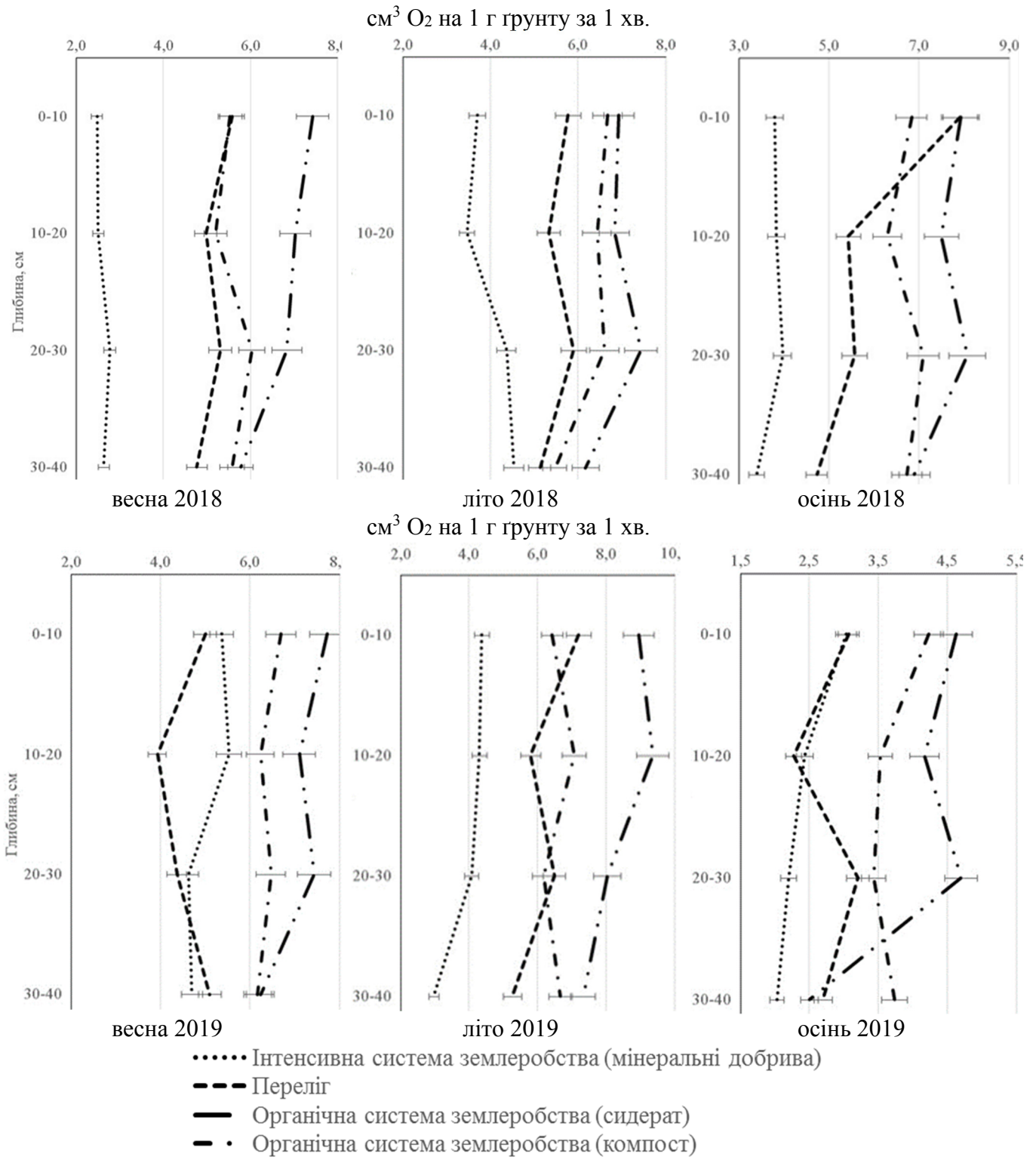
Аналіз отриманих даних активності ферменту каталаза (табл. 1, рис. 2) у чорноземних ґрунтах засвідчив, що у 2018 р. найбільшу активність ферменту зафіксовано восени на рівні 3,4-8,1 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв., найменшу активність ферменту спостерігали навесні (2,5-7,4 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв.), а влітку активність каталази мала середні значення та зафіксовано на рівні 3,5-7,4 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв.

У 2018 р. найбільша активність ферменту каталаза (табл.1, рис. 2) була у варіанті органічної системи землеробства (сидерат) та сягала значень 5,8-8,1 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв., тоді як найменша активність була у варіанті інтенсивної системи землеробства (2,5-4,5 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв.). Показники активності ферменту у варіантах органічної системи землеробства (компост) та перелогу мали проміжний характер і коливалися відповідно у межах 5,2-7,1 та 4,7-7,9 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв.

### 1. Активність ферменту каталаза чорноземів типових за різних систем землеробства

Варіант	Глибина, см	Каталаза, см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв.							
		2018 р.				2019 р.			
		весна	літо	осінь	середнє за рік	весна	літо	осінь	середнє за рік
Органічна система землеробства (сидерат)	0-10	7,43±0,29*	6,93±0,29	7,93±0,79	7,43±0,36	7,73±0,80	8,96±0,76	4,63±0,29	7,11±1,50
	10-20	7,03±0,29	6,83±0,63	7,50±0,50	7,12±0,26	7,10±0,86	9,37±0,76	4,17±0,29	6,88±1,75
	20-30	6,83±0,52	7,43±0,29	8,07±0,38	7,44±0,42	7,43±0,63	8,03±0,76	4,70±0,00	6,72±1,19
	30-40	5,77±0,52	6,17±0,14	6,90±0,66	6,28±0,40	6,23±0,76	7,33±0,76	2,50±0,25	5,36±1,70
Переліг	0-10	5,57±0,29	5,77±0,63	7,90±0,50	6,41±0,87	5,00±0,50	7,20±0,43	3,07±0,29	5,09±1,38
	10-20	4,97±0,14	5,33±0,14	5,43±0,38	5,24±0,18	3,93±0,29	5,80±0,43	2,27±0,63	4,00±1,18
	20-30	5,30±0,43	5,90±0,43	5,57±0,38	5,59±0,23	4,37±0,52	6,50±0,43	3,20±0,66	4,69±1,12
	30-40	4,77±0,38	5,13±0,38	4,73±0,14	4,88±0,17	5,10±1,50	5,27±0,94	2,70±0,25	4,36±0,99
Органічна система землеробства (компост)	0-10	5,53±0,14	6,67±0,63	6,83±0,63	6,34±0,49	6,70±0,99	6,43±0,38	4,23±0,14	5,79±0,92
	10-20	5,20±1,31	6,43±0,14	6,30±0,50	5,98±0,50	6,23±0,29	7,07±0,14	3,53±0,72	5,61±1,24
	20-30	6,03±0,29	6,60±0,25	7,10±0,00	6,58±0,36	6,47±0,38	6,17±0,72	3,43±0,29	5,36±1,12
	30-40	5,57±0,52	5,47±0,63	6,73±0,14	5,92±0,49	6,17±0,14	6,67±0,38	3,73±0,14	5,52±1,05
Інтенсивна система землеробства (мінеральні добрива)	0-10	2,47±0,38	3,70±0,25	3,80±0,25	3,32±0,50	5,37±0,87	4,37±0,52	3,03±0,38	4,26±0,80
	10-20	2,50±0,50	3,47±0,29	3,83±0,14	3,27±0,48	5,53±0,63	4,30±1,12	2,43±0,29	4,09±1,06
	20-30	2,77±0,14	4,37±0,29	3,97±0,14	3,70±0,56	4,63±0,38	4,07±0,14	2,20±0,25	3,63±0,85
	30-40	2,63±0,29	4,53±0,29	3,40±0,50	3,52±0,64	4,70±0,43	2,97±0,14	2,03±0,14	3,23±0,90

\*±Δ – границі достовірних інтервалів від середнього арифметичного ( $p < 0,05$ )



**Рис. 2.** Сезонна (весна, літо, осінь) активність ферменту каталази чорноземів типових за різних систем землеробства,  $\text{cm}^3 \text{O}_2$  на 1 г ґрунту за 1 хв.

Згідно з профільним розподілом у Н горизонті активності каталази у 2018 р. за більшістю досліджуваних варіантів спостерігалась тенденція збільшення активності ферменту у шарах ґрунтів 20-30 см до рівня значень

активності у 0-10-сантиметрових шарах, окрім варіанта інтенсивної системи землеробства (мінеральні добрива), де внаслідок традиційного обробітку ґрунту (оранка до 30 см) навесні (2,5-2,8 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв.) та восени (3,4-4,0 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв.) активність ферменту каталаза зафіксовано майже на одному рівні за досліджуваними шарами ґрунтів, а влітку зафіксовано зменшення активності каталази у 0-10-, 10-20-сантиметрових шарах, що пояснюється нижчими показниками польової вологості (12,8-14,6 %) (табл. 2).

## 2. Польова вологість чорноземів типових за різних систем землеробства

Варіант	Глибин а, см	Вологість, %					
		2018 р.			2019 р.		
		весна	літо	осінь	весна	літо	осінь
Органічна система землеробства (сидерат)	0-10	20,1	19,5	19,5	22,7	8,0	24,8
	10-20	22,6	21,8	18,7	20,4	13,7	20,5
	20-30	24,1	19,6	18,4	17,9	13,8	14,5
	30-40	25,1	14,6	18,9	17,2	13,5	14,5
Переліг	0-10	23,2	13,8	26,1	32,3	16,1	28,2
	10-20	25,0	15,5	16,4	27,1	17,0	24,1
	20-30	26,2	15,7	16,4	26,1	16,8	23,1
	30-40	26,3	17,7	15,8	27,8	16,4	15,0
Органічна система землеробства (компост)	0-10	26,3	20,2	24,7	25,6	9,5	21,2
	10-20	24,5	19,9	25,7	27,5	14,7	21,1
	20-30	28,6	19,0	17,5	24,9	14,4	15,8
	30-40	27,7	17,8	16,7	27,7	14,9	15,7
Інтенсивна система землеробства (мінеральні добрива)	0-10	17,6	12,8	16,5	22,2	12,1	22,9
	10-20	22,2	14,6	24,6	25,9	14,5	24,1
	20-30	25,8	16,2	22,0	26,4	16,2	18,7
	30-40	26,5	16,0	17,6	24,3	15,9	17,7

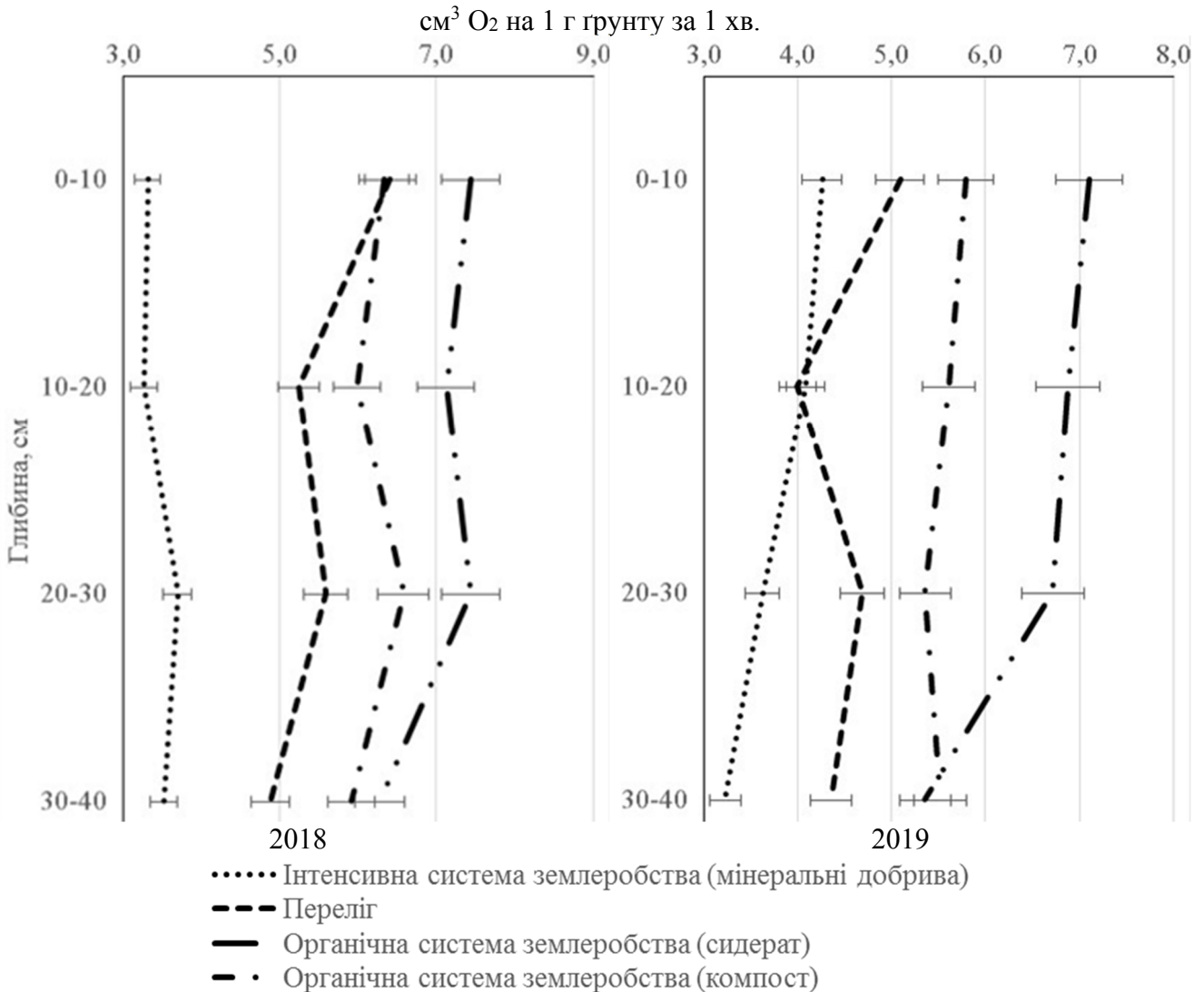
У 2019 р. спостерігали подібну тенденцію розподілу каталазної активності за досліджуваними варіантами, але відмітимо більшу неоднорідність активності ферменту за порами року, а також максимальні значення відмічено влітку на відміну від 2018 р., де максимальні показники були восени. Максимальні значення активності ферменту каталаза у 2019 р. зафіксовано у варіанті органічної системи землеробства (сидерат) – 2,5-9,4 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв., дещо меншими значеннями характеризувалися варіанти органічної системи землеробства (компост) – 3,4-7,1 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв. та перелігу – 2,3-7,2 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв., а найменшу активність ферменту було зафіксовано у варіанті інтенсивної системи землеробства (мінеральні добрива) – 2,0-5,5 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв.

Улітку 2019 р. було зафіксовано відхилення від загальних тенденцій активності ферменту каталаза у варіантах органічних систем землеробства, де у зв'язку зі зниженням умісту вологи (табл. 2) у шарі ґрунту 0-10 см (8,0-9,5 %) зафіксовано зменшення вмісту ферменту до рівня 6,4-9,0 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за



1 хв.

Згідно з аналізом середньорічних даних за 2018-2019 рр. (табл. 1, рис. 3) у 2018 р. зафіксовано більшу активність ферменту каталаза ( $3,3-7,4 \text{ см}^3 \text{ O}_2$  на 1 г ґрунту за 1 хв.) ніж у 2019 р. ( $3,2-7,1 \text{ см}^3 \text{ O}_2$  на 1 г ґрунту за 1 хв.).



**Рис. 3. Середньорічна активність ферменту каталаза чорноземів типових за різних систем землеробства,  $\text{см}^3 \text{ O}_2$  на 1 г ґрунту за 1 хв.**

За результатами (табл. 1, рис. 3) досліджень, проведених у 2018-2019 рр., сформовано ряд за зменшенням активності ферменту каталаза (у  $\text{см}^3 \text{ O}_2$  на 1 г ґрунту за 1 хв.): органічна система землеробства (сидерат) –  $5,4-7,4$ ; органічна система землеробства (компост) –  $5,4-6,6$ ; переліг –  $4,0-6,4$ ; інтенсивна система землеробства (мінеральні добрива) –  $3,2-4,3$ .

Згідно з оцінною шкалою табл. 3 майже всі досліджувані варіанти мали середню забезпеченість ферментом каталаза ( $3-10 \text{ см}^3 \text{ O}_2$  на 1 г ґрунту за 1 хв.). Виключення становить варіант інтенсивної системи землеробства, де навесні 2018р. було зафіксовано зниження активності ферменту каталази до значень



2,5-2,8 см<sup>3</sup> О<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв. та восени 2019 р. – 2,0-3,0 см<sup>3</sup> О<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв., що відповідає бідному забезпеченню на фермент каталаза (1-3 см<sup>3</sup> О<sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв.).

### 3. Шкала забезпеченості ґрунтів ферментами (за Звягінцевим, 1978)

Забезпеченість ґрунтів	см <sup>3</sup> О <sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв.
Дуже бідні	<1
Бідні	1-3
Середня забезпеченість	3-10
Багаті	10-30
Дуже багаті	>30

**Висновки.** 1. Виділення ферментів до ґрунтового середовища мікробами та кореневими системами рослин характеризується адаптацією живих організмів на наявність субстрату для роботи ферменту, тому активність ферментів ґрунту може виступати як діагностичний індикатор біологічної активності. На основі проведених досліджень можна побудувати ряд за активністю ферменту каталаза: органічна система землеробства (сидерат); органічна система землеробства (компост); переліг; інтенсивна система землеробства (мінеральні добрива). 2. Активність ферменту каталаза досліджуваних ґрунтів значною мірою залежить від вологості ґрунту, яка коливалася протягом року (особливо у 2019 р.) та від систем землеробства. Найбільша активність каталази спостерігалася у варіанті органічної системи землеробства (сидерат), а найменша – у варіанті інтенсивної системи землеробства (мінеральні добрива). 3. Практично всі системи землеробства сприяли середньому забезпеченню на фермент каталаза.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

**Хазиев Ф. Х.** Методы почвенной энзимологии. Ин-т биологии Уфим. НЦ. Москва: Наука, 2005. 252 с.

**Тульская Е. М., Звягинцев Д. Г.** Сравнительное изучение каталазной и каталитической активности верхних горизонтов почв. *Почвоведение*, 1979. № 10. С. 92-97.

**Тульская Е. М., Звягинцев, Д. Г.** Имобилизация каталазы и специфика каталазной активности. *Почвоведение*, 1980. № 1. С. 90-96.

**Heger, T. J. (ed.), Imfeld, G. (ed.), Mitchell, E. A. D. (ed.).** Bioindication in Soil Ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, 2012. Vol. 49. P. 1-118.

**Семиколенных А. А.** Каталазная активность почв северной тайги (Архангельская область). *Почвоведение*, 2001. № 1. С. 90-96.

**Даденко Е. В., Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф.** Изменение ферментативной активности при хранении почвенных образцов. *Почвоведение*, 2009. № 2. С. 1481-1486.

**Хазиев Ф. Х., Кабиров И. К.** Физико-географические аспекты и ферментативная активность почв. *Почвоведение*, 1983. № 11. С. 57-65.

**Bell T. H., Klironomos J. N., Henry H. A. L.** Seasonal responses of extracellular enzyme activity and microbial biomass to warming and nitrogen addition. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2010. Vol. 74. P. 820-828.

**Bautista-Cruz A. O., Ortiz-Hernandez Y.D.** Hydrolytic soil enzymes and their response to

fertilization: a short review. *Comunicata Scientiae*, 2015. Vol. 6(3). P. 255-262.

**Fogarty W. M.**, Kelly C. T. *Microbial enzymes and biotechnology*. Springer: Science and Business Media, 2012.

**Shukla G.**, Varma A. *Soil Enzymology*. Springer, 2011.

**Bell T. H.**, Henry H. A. L. Fine scale variability in soil extracellular enzyme activity is insensitive to rain events and temperature in a mesic system. *Pedobiologia*, 2011. Vol. 54. P. 141-146.

**Звягинцев Д. Г.** Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей. *Почвоведение*, 1978. № 6. С. 48-54.

### REFERENCES

**Khaziev, F.Kh.** (2005). *Metody pochvennoy enzimologii* [Methods of soil enzymology]. Institute of Biology Ufim. Scientific Center. Moscow: Science. [In Russian].

**Tulskaya, E.M.**, Zvyagintsev, D.G. (1979). Sravnitel'noye izucheniye katalaznoy i kataliticheskoy aktivnosti verkhnykh gorizontov pochv [A comparative study of the catalase and catalytic activity of the upper horizons of soils]. *Pochvovedeniye – Soil Science*, 10, 92-97. [In Russian].

**Tulskaya, E.M.**, Zvyagintsev, D.G. (1980). Immobilizatsiya katalazy i spetsifika katalaznoy aktivnosti [Catalase immobilization and specificity of catalase activity]. *Pochvovedeniye – Soil Science*, 1, 90-96. [In Russian].

**Heger, T.J.** (ed.), Imfeld, G. (ed.), Mitchell, E.A.D. (ed.). (2012). Bioindication in Soil Ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, 49, 1-118.

**Semikolenny, A.A.** (2001). Katalaznaya aktivnost' pochv severnoy taygi (Arkhangel'skaya oblast') [Catalase activity of soils of the northern taiga (Arkhangelsk region)]. *Pochvovedeniye – Soil Science*, 1, 90-96. [In Russian].

**Dadenko, E.V.**, Kazeev, K.Sh., Kolesnikov, S.I., Valkov, V.F. (2009). Izmeneniye fermentativnoy aktivnosti pri khraneniі pochvennykh obraztsov [Change in enzymatic activity during storage of soil samples]. *Pochvovedeniye – Soil Science*, 2, 1481-1486. [In Russian].

**Khaziev, F.Kh.**, Kabirov, I.K. (1983). Fiziko-geograficheskiye aspekty i fermentativnaya aktivnost' pochv [Physico-geographical aspects and enzymatic activity of soils]. *Pochvovedeniye – Soil Science*, 11, 57-65. [In Russian].

**Bell, T.H.**, Klironomos, J.N., Henry, H.A.L. (2010). Seasonal responses of extracellular enzyme activity and microbial biomass to warming and nitrogen addition. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 74, 820-828.

**Bautista-Cruz, A.O.**, Ortiz-Hernandez, Y.D. (2015). Hydrolytic soil enzymes and their response to fertilization: a short review. *Comunicata Scientiae*, 6(3), 255-262.

**Fogarty, W.M.**, Kelly, C.T. (2012). *Microbial enzymes and biotechnology*. Springer: Science and Business Media.

**Shukla, G.**, Varma, A. (2011). *Soil Enzymology*. Springer.

**Bell, T.H.**, Henry, H.A.L. (2011). Fine scale variability in soil extracellular enzyme activity is insensitive to rain events and temperature in a mesic system. *Pedobiologia*, 54, 141-146.

**Zvyagintsev, D.G.** (1978). Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya otsenki nekotorykh yeye pokazateley [Biological activity of soils and scales for assessing some of its indicators]. *Pochvovedeniye – Soil Science*, 6, 48-54. [In Russian].