

Романчук Л. Д., д.с.-г.н., професор (Поліський національний університет, м. Житомир), **Ціпан Ю. Р., аспірант** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, ludmilaromanchuck14@gmail.com; y.r.tsipan@nuwm.edu.ua)

ДИНАМІКА КАТАЛАЗНОЇ АКТИВНОСТІ ҐРУНТУ У ПОСТПІРОГЕННІЙ ЕКОСИСТЕМІ ЛІСУ

Відстеження та аналіз екологічного відновлення лісових екосистем після пожеж у регіонах, де історично такі явища траплялись нечасто, є актуальним завданням у контексті глобального потепління. Чутливим діагностичним критерієм при цьому є ферментативна активність ґрунту, яка тісно пов'язана з фізико-хімічними властивостями ґрунту, його мікробною біомасою та рослинністю, які зазнають суттєвих змін та перетворень у постпірогенний період. Метою наших досліджень було відстеження динаміки каталазної активності ґрунту в межах суборів південно-східної частини Волинського Полісся після пожежі середньої інтенсивності. Дослідження тривали з червня 2021 р. по листопад 2022 р. на ділянці лісу з розрідженим деревостаном. Відбір проб ґрунту для визначення активності ферменту каталази проводили кожен місяць. Одночасно, на місці відбору проб проводили інструментальне визначення температури, вологості та рН ґрунту для відстеження впливу на ферментативну активність сезонних змін абіотичних факторів середовища. Впродовж вісімнадцяти місяців спостережень було відмічено зростання активності ферменту каталази в 3 рази: від $0,92 \pm 0,2$ мгO₂/г/хв до $2,10 \pm 0,17$ мгO₂/г/хв, із піком значень у вересні 2022 р. $3,13 \pm 0,31$ мгO₂/г/хв. Було підтверджено статистичну значимість лінійної залежності дії температури ґрунту ($r=0,58$), вологості ґрунту ($r=0,57$) та рН ґрунту ($r=0,64$) на його каталазну активність. Багатофакторна регресійна залежність одночасної цих же факторів мала тісний зв'язок ($r=0,97$). Зроблено припущення, що серед усіх проаналізованих абіотичних факторів на процеси відновлення каталазної активності післяпожежного лісового ґрунту визначальний вплив має зміна рН на фоні сезонних температурних

коливань та відповідних змін вологості ґрунту. Продовження подібних досліджень може мати цінність з огляду розробки інструментів ранньої діагностики відновлення постпірогенного ґрунту лісової екосистеми південно-східної частини Волинського Полісся, що є важливим завданням у програмах управління та відновлення післяпожежних територій України.

Ключові слова: ґрунт; каталазна активність; постпірогенна лісова екосистема; абіотичні фактори.

Вступ. Серед причин світових втрат лісів за період останнього тридцятиріччя близько 25% припадає на долю лісових пожеж [1]. Фактори, що їх спричинюють, все більше пов'язують зі змінами клімату в контексті глобального потепління. Повідомляється, що майбутня мінливість клімату лише підвищить ризики та масштаби лісових пожеж у різних частинах планети [2]. Саме тому нині зростає інтерес до відстеження та аналізу екологічного відновлення лісових екосистем після пожеж. Особливо актуальними ці завдання виявляються в регіонах, де пожежі історично були відсутні або виникали рідко.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Через знищення рослинності та підстилки, лісові пожежі залишають ґрунт оголеним, що змінює вміст органічних речовин, стійкість агрегатів, склад мікробної спільноти, водовідштовхувальні властивості та ерозійну стійкість [3–6]. Наслідки пожеж в основному залежать від ступеня горіння ґрунту [7], який безпосередньо пов'язаний із кількістю та типом лісового палива (біомаса рослин, сухостій тощо) [6, С. 10; 8], а також характеристиками пожеж (частота, тривалість, інтенсивність) [9; 10]. Допожежний стан ґрунту відновлюється через кілька років після пожеж легкої та середньої інтенсивності [3], або кілька десятиліть, коли інтенсивність пожеж була надзвичайно високою [11]. Одночасно, існують докази, що невеликі пожежі збільшують багатство та різноманітність лісової рослинності [12].

Одними з діагностичних критеріїв відновлення лісової екосистеми після пожеж є рівні ферментативної активності ґрунту, які тісно пов'язані з фізико-хімічними властивостями ґрунту (рН, вологість, температура, кількість органічної речовини), їх мікробною біомасою [13; 14] та рослинністю (включаючи тип, склад та вік насаджень) [15]. Ґрунтові ферменти, в основному синтезовані та

секретовані ґрунтовими мікробами та кореневою системою рослин, надають цінну інформацію про здоров'я ґрунту та функціонування біотичних співтовариств [16; 17]. Тому аналізи ґрунтових ферментів зазвичай використовуються для прямого зв'язку мікробної активності з екосистемними процесами.

Наприклад, ферментативна активність гідролаз та оксидоредуктаз відображає інтенсивність перетворення різних органічних та неорганічних поживних речовин, а також швидкість мінералізації легкодоступних поживних речовин у ґрунті [18]. Фосфотаза – це фермент, який каталізує кругообіг та перетворення фосфору в ґрунтових екосистемах, а її активність чинить значний вплив на здатність до мінералізації органічного фосфору та може розглядатись як біологічний предиктор якості фосфору в ґрунті [19]. Уреаза є ключовим компонентом розкладу та трансформації азоту в ґрунті, який здатен поглинатись та засвоюватись рослинами [20]. Ґрунтова целюлаза є важливим ферментом циклу вуглецю [21], а пероксидаза окислює перекис водню, феноли, аміни та інші з'єднання в хінон та прискорює розклад органічної речовини у ґрунтовій екосистемі [22].

Попри численні дослідження участі ферментативної активності ґрунтів у кругообігу поживних речовин та підтриманні стійкості екосистем на землях різного призначення, процеси відновлення цих механізмів у постпірогенний період лісових ґрунтів вивчались значно рідше. Так, відносно обмеженою є інформація щодо екологічних особливостей та тривалості періодів відновлення окремих типів ґрунту на випалених лісових територіях у межах України.

Мета, завдання та методики проведення досліджень. Метою наших досліджень було відстеження динаміки каталазної активності дерново-середньопідзолистого поверхнево-оглеєного суглинкового типу ґрунту суборів південно-східної частини Волинського Полісся в постпірогенний період.

Дослідження тривали з червня 2021 р. по листопад 2022 р. поблизу с. Іванівка Соснівської селищної громади Рівненської області на ділянці лісу з розрідженим деревостаном після пожежі середньої інтенсивності, що відбулась у травні 2021 р. Відбір проб ґрунту проводили в зоні ризосфери трав'янистої рослинності (0–30 см від поверхні) щомісяця з дотриманням нормативних вимог [23]. Одночасно на місці відбору проб проводили трикратне визначення:

температури ґрунту за допомогою електронного термометра TP-101; вологості ґрунту за допомогою професійного портативного вологоміру WALCOM MS-350; рН ґрунту за допомогою професійного портативного аналізатору ґрунту FLO 89000. Після доставки відібраних проб у лабораторію, їх висушування, просіювання та підготовки наважок, проводили газометричне визначення каталазної активності ґрунту [24] у трикратній повторності. Активність каталази виражали в міліграмах кисню, що виділявся за 1 хвилину на 1 г досліджуваного ґрунту ($\text{мгO}_2/\text{г/хв}$).

Статистичне опрацювання отриманих результатів досліджень зводилося до отримання середніх значень та похибок вимірювань, встановлення кореляційних лінійних залежностей та багатфакторного регресійного аналізу за допомогою програмного пакету Statistica 8.0.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проведені визначення каталазної активності ґрунту на досліджуваній постпірогенній ділянці лісової екосистеми дозволили відмітити помітне зростання її значень у період вісімнадцяти місяців (рис. 1).

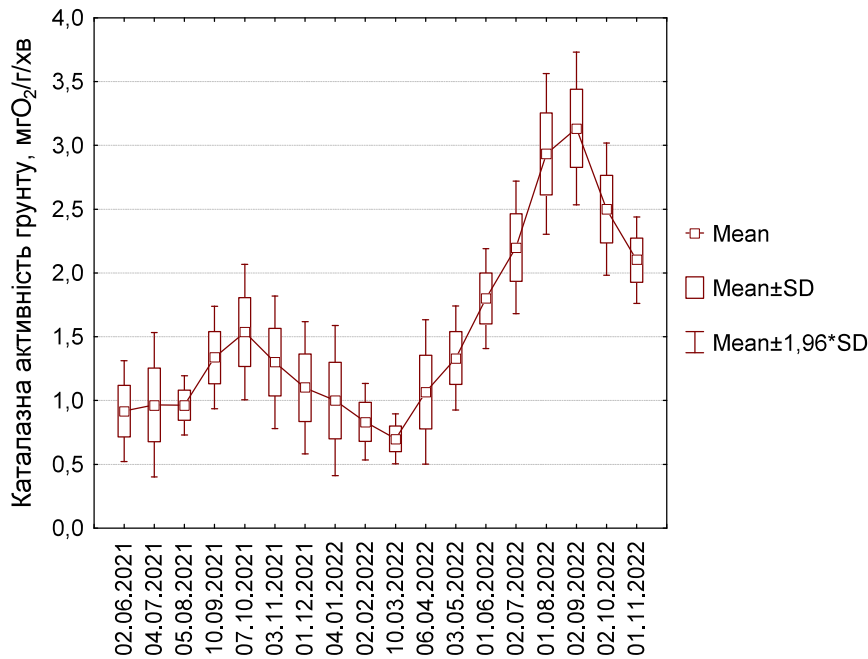


Рис. 1. Динаміка каталазної активності ґрунту у постпірогенній екосистемі лісу

Водночас найсуттєвіше зростання було відмічено через п'ятнадцять місяців від початку спостережень. У перший місяць відбору проб (червень 2021 р.) каталазна активність ґрунту становила $0,92 \pm 0,2$ мгO₂/г/хв. Перший пік підвищення активності ферменту припав на жовтень 2021 р. зі значеннями $1,54 \pm 0,27$ мгO₂/г/хв. У наступні місяці прояв каталазної активності ґрунту знижувався та у березні 2022 р. становив всього $0,70 \pm 0,10$ мгO₂/г/хв, тобто відбулось падіння нижче значення в перший місяць досліджень. У період від березня до вересня 2022 р. каталазна активність ґрунту зростає майже в п'ять разів і становила $3,13 \pm 0,31$ мгO₂/г/хв. У жовтні та листопаді 2022 р. це значення помітно знизилось та становило відповідно $2,50 \pm 0,26$ мгO₂/г/хв та $2,10 \pm 0,17$ мгO₂/г/хв. У цілому, якщо розглядати річний інтервал спостережень, то зміна каталазної активності ґрунту характеризувалась зростанням від $1,34 \pm 0,21$ мгO₂/г/хв у червні 2021 р. до $1,80 \pm 0,20$ мгO₂/г/хв у червні 2022 р. за півторарічний період було відмічено зростання активності ферменту в 3 рази, зокрема в листопаді 2022 р. каталазна активність досліджуваного ґрунту становила $2,10 \pm 0,17$ мгO₂/г/хв.

Очевидно, що подібний прояв динаміки каталазної активності ґрунту певним чином був пов'язаний із сезонною мінливістю ґрунтової мікрофлори та її чутливістю до змін температурних та інших абіотичних факторів. Для перевірки даного припущення нами були проаналізовані залежності між значеннями каталазної активності ґрунту із температурою та вологістю ґрунту.

Так, аналіз лінійної кореляційної залежності каталазної активності ґрунту від температурного фактору в період проведення досліджень свідчить про середню тісноту зв'язку ($r=0,58$, при $p=0,012$) (рис. 2).

Взагалі термічний режим має доведений вплив на всі біологічні процеси ґрунту. В природних умовах температура чинить як прямий, так і опосередкований вплив на ферментативну активність ґрунту, впливаючи також і на інші чинники, тому важливо вивчати прояв інших лімітуючих факторів на діяльність ґрунтової біоти, що відображає реакцію ґрунтів на будь-які екологічні зміни. Серед таких факторів важливе значення також належить вологості ґрунту та рівню концентрації іонів водню в ґрунтовому розчині (рН ґрунту).

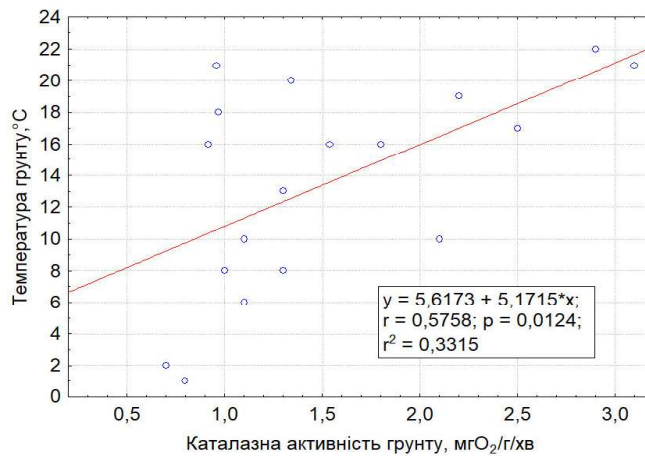


Рис. 2. Зміна каталазної активності залежно від термічного режиму ґрунту у постпірогенній екосистемі лісу

Наприклад, вміст води в ґрунті регулює виживання та смертність ґрунтової біоти, активність ґрунтових мікробів, кількість доступного для них кисню та переміщення газу та розчинених речовин до місця мікробної активності.

Відстеження рівнів вологості досліджуваного ґрунту дозволило нам встановити, що їх кореляційна лінійна залежність із каталазною активністю ґрунту в період спостережень також проявлялась на рівні середньої ($r=0,57$, при $p=0,014$) (рис. 3).

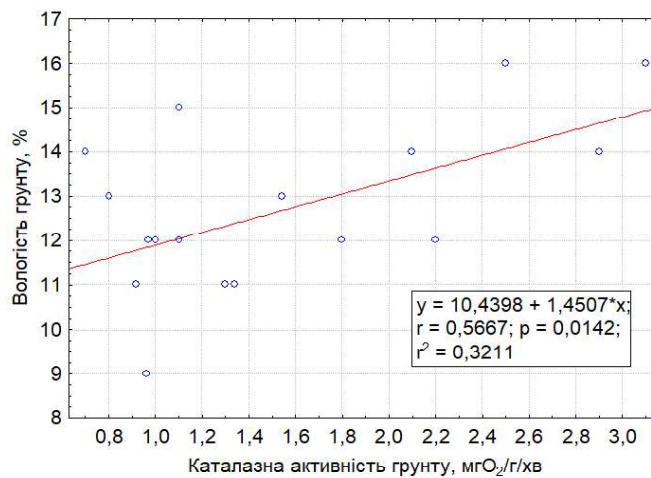


Рис. 3. Зміна каталазної активності залежно від вологості ґрунту у постпірогенній екосистемі лісу

Зафіксовані рівні рН ґрунту в період досліджень мали дещо помітніший лінійний зв'язок із каталазною активністю, про що свідчить встановлений коефіцієнт кореляції $r=0,64$, при $p=0,004$ (рис. 4).

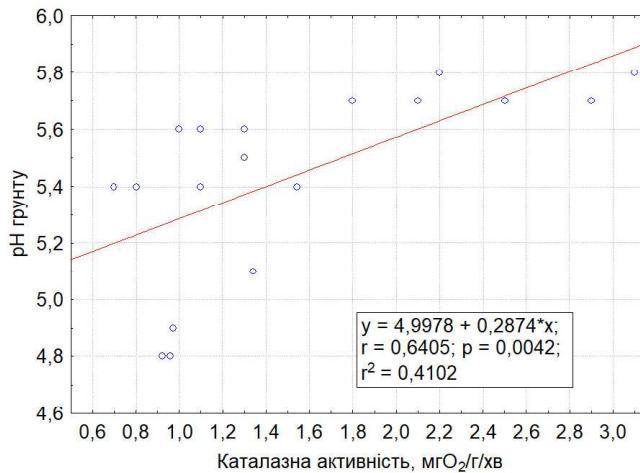


Рис. 4. Зміна каталазної активності залежно від рН ґрунту у постпірогенній екосистемі лісу

Як було зазначено вище, дія абіотичних факторів проявляється в комплексі, тобто одночасно, саме тому нами був проведений багатофакторний регресійний аналіз комплексного впливу температури (T , $^{\circ}\text{C}$), вологості (B , $\%$) та реакції середовища (рН) ґрунту на формування рівнів його каталазної активності (КА) (таблиця).

Таблиця

Результати багатофакторного регресійного аналізу залежності каталазної активності ґрунту від абіотичних факторів середовища в постпірогенній екосистемі лісу

	Статистичні параметри					
	Beta	Std. Err.	B	Std. Err.	t(14)	p-level
Intercept*			-7,7198	0,89706	-8,6056	$5,8 \cdot 10^{-7}$
рН	0,54615	0,08853	1,2173	0,19731	6,1692	$2,4 \cdot 10^{-5}$
T , $^{\circ}\text{C}$	0,69901	0,06997	0,0778	0,00779	9,9895	$9,5 \cdot 10^{-8}$
B , $\%$	0,31919	0,08831	0,1247	0,03449	3,6144	$2,8 \cdot 10^{-3}$

*Примітка: Intercept – статистичні параметри вільного члена рівняння регресії.

За підсумками регресійного аналізу, можна стверджувати, що комплексна дія абіотичних факторів є статистично достовірною: $F=61,13$; $df=3,14$; $p=1,8 \cdot 10^{-8}$; $r=0,97$. Підтверджується також статистична достовірність кожного окремого члена регресії. Зокрема довірчі рівні всіх встановлених коефіцієнтів регресії (p -level) знаходяться в межах $< 0,01$. Таким чином, загальний вигляд регресійного рівняння залежності каталазної активності ґрунту від абіотичних факторів середовища в постпірогенній екосистемі лісу має вигляд:

$$KA, \text{ мг}O_2 = -7,72 + 1,21(pH) + 0,08(T, \text{ }^\circ\text{C}) + 0,12(B, \text{ \%}).$$

Відстежена в ході наших досліджень динаміка каталазної активності ґрунту в постпірогенній екосистемі лісу відображає тенденцію до відновлення ґрунтової мікробіоти вже в перші вісімнадцять місяців після дії полум'я. Водночас простежуються коливання значень у різні місяці спостережень та їх залежність від дії окремих абіотичних факторів середовища.

Оскільки за своєю природою та принципом дії каталаза є антиоксидантним ферментом, його присутність у ґрунті є чутливим індикатором на зовнішній оксидативний стрес ґрунтової біоти. Для ґрунтових мікробних угруповань активні форми кисню виникають внаслідок впливу ультрафіолетового випромінювання, окиснювачів та висихання, а також внаслідок аеробного дихання та фотосинтезу [23]. Чим вищі рівні каталазної активності ґрунту, тим більшою є чисельність мікроорганізмів, а отже, потенціал підтримки гомеостазу ґрунтової екосистеми є надійнішим. Знищена пожежею мікробіота здатна поступово повторно заселяти ґрунт та в процесі своєї фізіологічної діяльності прискорювати процеси його відновлення. Результати наших досліджень дозволяють стверджувати, що серед усіх абіотичних факторів на процеси відновлення каталазної активності післяпожежного лісового ґрунту визначальний вплив має зміна рН на фоні сезонних температурних коливань та відповідних змін вологості ґрунту. Очевидно, що поряд із дією досліджених факторів мають місце і ряд інших процесів, пов'язаних із розсіюванням у ґрунті продуктів горіння, зміною шпаруватості та об'ємної щільності ґрунту, наявною біомасою коріння рослин, трансформацією органічної речовини тощо. Однак, продовження наших досліджень може мати цінність з огляду розробки інструментів ранньої діагностики відновлення постпірогенного ґрунту

лісової екосистеми південно-східної частини Волинського Полісся, що є важливим завданням у програмах управління та відновлення післяпожежних територій України.

Висновки. Динаміка каталазної активності дерново-середньопідзолистого поверхнево-оглеєного суглинкового типу ґрунту суборів південно-східної частини Волинського Полісся в постпірогенний період відображає відновлення ферментативної діяльності мікробіоти вже в перші вісімнадцять місяців. Відмічається середня лінійна кореляційна залежність каталазної активності ґрунту від дії окремих абіотичних факторів середовища: $r=0,58$ для температури ґрунту; $r=0,57$ для вологості ґрунту; $r=0,64$ для рН ґрунту. Багатофакторна регресійна залежність одночасної дії наведених факторів має тісний зв'язок ($r=0,97$) при підтвердженій статистичній достовірності. Отримані результати можуть мати діагностичну цінність у програмах відновлення післяпожежних територій.

1. The state of the World's Forests. Forests, biodiversity and people. FAO, UNEP. Rome. 2020. 214 p. URL: <https://www.fao.org/3/ca8642en/ca8642en.pdf> (дата звернення: 14.11.2022).
2. Burrell A. L., Sun Q., Baxter R., Kukavskaya E. A. Climate change, fire return intervals and the growing risk of permanent forest loss in boreal Eurasia. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 831. P. 154885.
3. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 2005. Vol. 143(1). P. 1–10.
4. Zema D. A. Influence of forest stand age on soil water repellency and hydraulic conductivity in the Mediterranean environment. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 753. P. 142006.
5. Zema D. A. Effects of stand composition and soil properties on water repellency and hydraulic conductivity in Mediterranean forests. *Ecohydrology*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1002/eco.2276> (дата звернення: 10.11.2022).
6. Пірогенна трансформація сосняків України / Ворон В. П., Коваль І. М., Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Ткач О. М., Борисенко В. Г., Тимошук І. В., Бологов О. Ю. Харків : ТОВ «Планета-Прінт». 2021. 286 с.
7. Wagenbrenner J. W., Ebel B. A., Bladon K. D., Kinoshita A. M. Post-wildfire hydrologic recovery in Mediterranean climates: A systematic review and case study to identify current knowledge and opportunities. *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 602. P. 126772.
8. Robichaud P. R., Ashmun L. E., Sims B. D. Post-fire treatment effectiveness for hillslope stabilization. Ft. Collins, CO U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2010. URL: <https://doi.org/10.2737/rmrs-gtr-240> (дата звернення: 10.11.2022).
9. Про

затвердження Правил пожежної безпеки в лісах України : Наказ Держ. ком. ліс. госп-ва України від 27.12.2004 р. № 278. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-05#Text> (дата звернення: 10.11.2022).

10. Smirnova E., Bergeron Y., Brais S. Influence of fire intensity on structure and composition of jack pine stands in the boreal forest of Quebec: Live trees, understory vegetation and dead wood dynamics. *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 255(7). P. 2916–2927. **11.** Glenn N. F., Finley C. D. Fire and vegetation type effects on soil hydrophobicity and infiltration in the sagebrush-steppe: I. Field analysis. *Journal of Arid Environments*. 2010. Vol. 74(6). P. 653–659. **12.** Marozas V., Racinskas J., Bartkevicius E. Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal *Pinus sylvestris* forests. *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol. 250(1–2). P. 47–55. **13.** Temperature effects on soil organic carbon, soil labile organic carbon fractions, and soil enzyme activities under long-term fertilization regimes / Qi R., Li J., Lin Z., Li Z., Li Y., Yang X., Zhang J., Zhao B. *Applied Soil Ecology*. 2016. Vol. 102. P. 36–45. **14.** Kivlin S. N., Treseder K. K. Soil extracellular enzyme activities correspond with abiotic factors more than fungal community composition. *Biogeochemistry*. 2013. Vol. 117(1). P. 23–37. **15.** Kooch Y., Sanji R., Tabari M. Increasing tree diversity enhances microbial and enzyme activities in temperate Iranian forests. *Trees*. 2018. Vol. 32. № 3. P. 809–822. **16.** Banerjee S., Bora S., Thrall P. H., Richardson A. E. Soil C and N as causal factors of spatial variation in extracellular enzyme activity across grassland-woodland ecotones. *Applied Soil Ecology*. 2016. Vol. 105. P. 1–8. **17.** Burns R. G., DeForest J. L., Marxsen J., Sinsabaugh R. L. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. Vol. 58. P. 216–234. **18.** Soil enzyme response to permafrost collapse in the Northern Qinghai-Tibetan Plateau / Xu H., Liu G., Wu X., Smoak J. M., Mu C. *Ecological Indicators*. 2018. Vol. 85. P. 585–593. **19.** Krämer S. Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate in a semiarid woodland. *Soil Biology and Biochemistry*. 2000. Vol. 32(2). P. 179–188. **20.** Brockett B. F. T., Prescott C. E., Grayston S. J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada. *Soil Biology and Biochemistry*. 2012. Vol. 44(1). P. 9–20. **21.** The enzymatic and physiological response of the microbial community in semiarid soil to carbon compounds from plants / Torres I. F., García C., Ruiz-Navarro A., Hernández T., Bastida F. *European Journal of Soil Science*. 2016. Vol. 67(4). P. 456–469. **22.** Patterns of soil microorganisms and enzymatic activities of various forest types in coastal sandy land / Fan L., Tarin M. W. K., Zhang Y., Han Y., Rong J. *Global Ecology and Conservation*. 2021. Vol. 28. e01625. 11 p. **23.** Simple kinetics, assay, and trends for soil microbial catalases / Georgiou C. D., Sun H. J., McKay C. P., Grintzalis K., Papapostolou I., Zisimopoulos D., Panagiotidis K., Zhang G. S.,

Koutsopoulou E., Christidis G. E., Margiolaki I. *Analytical Biochemistry*. 2020. Vol. 610. P. 113901.

REFERENCES:

1. The state of the World's Forests. Forests, biodiversity and people. FAO, UNEP. Rome. 2020. 214 p. URL: <https://www.fao.org/3/ca8642en/ca8642en.pdf> (data zvernennia: 10.11.2022).
2. Burrell A. L., Sun Q., Baxter R., Kukavskaya E. A. Climate change, fire return intervals and the growing risk of permanent forest loss in boreal Eurasia. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 831. P. 154885.
3. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 2005. Vol. 143(1). P. 1–10.
4. Zema D. A. Influence of forest stand age on soil water repellency and hydraulic conductivity in the Mediterranean environment. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 753. P. 142006.
5. Zema D. A. Effects of stand composition and soil properties on water repellency and hydraulic conductivity in Mediterranean forests. *Ecohydrology*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1002/eco.2276> (data zvernennia: 10.11.2022).
6. Pirohenna transformatsiia sosniakiv Ukrainy / Voron V. P., Koval I. M., Sydorenko S. H., Melnyk Ye. Ye., Tkach O. M., Borysenko V. H., Tymoshchuk I. V., Bolohov O. Yu. Kharkiv : TOV «Planeta-Print». 2021. 286 s.
7. Wagenbrenner J. W., Ebel B. A., Bladon K. D., Kinoshita A. M. Post-wildfire hydrologic recovery in Mediterranean climates: A systematic review and case study to identify current knowledge and opportunities. *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 602. P. 126772.
8. Robichaud P. R., Ashmun L. E., Sims B. D. Post-fire treatment effectiveness for hillslope stabilization. Ft. Collins, CO U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2010. URL: <https://doi.org/10.2737/rmrs-gtr-240> (data zvernennia: 10.11.2022).
9. Pro zatverdzhennia Pravyl pozhezhnoi bezpeky v lisakh Ukrainy : Nakaz Derzh. kom. lis. hosp-va Ukrainy vid 27.12.2004 r. № 278. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-05#Text> (data zvernennia: 10.11.2022).
10. Smirnova E., Bergeron Y., Brais S. Influence of fire intensity on structure and composition of jack pine stands in the boreal forest of Quebec: Live trees, understory vegetation and dead wood dynamics. *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 255(7). P. 2916–2927.
11. Glenn N. F., Finley C. D. Fire and vegetation type effects on soil hydrophobicity and infiltration in the sagebrush-steppe: I. Field analysis. *Journal of Arid Environments*. 2010. Vol. 74(6). P. 653–659.
12. Marozas V., Racinskas J., Bartkevicius E. Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal *Pinus sylvestris* forests. *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol. 250(1–2). P. 47–55.
13. Temperature effects on soil organic carbon, soil labile organic carbon fractions, and soil enzyme activities under long-term fertilization regimes / Qi R., Li J., Lin Z., Li Z., Li Y., Yang X., Zhang J., Zhao B. *Applied Soil Ecology*. 2016. Vol. 102. P. 36–45.

14. Kivlin S. N., Treseder K. K. Soil extracellular enzyme activities correspond with abiotic factors more than fungal community composition. *Biogeochemistry*. 2013. Vol. 117(1). P. 23–37. **15.** Kooch Y., Sanji R., Tabari M. Increasing tree diversity enhances microbial and enzyme activities in temperate Iranian forests. *Trees*. 2018. Vol. 32. № 3. P. 809–822. **16.** Banerjee S., Bora S., Thrall P. H., Richardson A. E. Soil C and N as causal factors of spatial variation in extracellular enzyme activity across grassland-woodland ecotones. *Applied Soil Ecology*. 2016. Vol. 105. P. 1–8. **17.** Burns R. G., DeForest J. L., Marxsen J., Sinsabaugh R. L. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. Vol. 58. P. 216–234. **18.** Soil enzyme response to permafrost collapse in the Northern Qinghai-Tibetan Plateau / Xu H., Liu G., Wu X., Smoak J. M., Mu C. *Ecological Indicators*. 2018. Vol. 85. P. 585–593. **19.** Krämer S. Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate in a semiarid woodland. *Soil Biology and Biochemistry*. 2000. Vol. 32(2). P. 179–188. **20.** Brockett B. F. T., Prescott C. E., Grayston S. J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada. *Soil Biology and Biochemistry*. 2012. Vol. 44(1). P. 9–20. **21.** The enzymatic and physiological response of the microbial community in semiarid soil to carbon compounds from plants / Torres I. F., García C., Ruiz-Navarro A., Hernández T., Bastida F. *European Journal of Soil Science*. 2016. Vol. 67(4). P. 456–469. **22.** Patterns of soil microorganisms and enzymatic activities of various forest types in coastal sandy land / Fan L., Tarin M. W. K., Zhang Y., Han Y., Rong J. *Global Ecology and Conservation*. 2021. Vol. 28. e01625. 11 p. **23.** Simple kinetics, assay, and trends for soil microbial catalases / Georgiou C. D., Sun H. J., McKay C. P., Grintzalis K., Papapostolou I., Zisimopoulos D., Panagiotidis K., Zhang G. S., Koutsopoulou E., Christidis G. E., Margiolaki I. *Analytical Biochemistry*. 2020. Vol. 610. P. 113901.

Romanchuk L. D., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (Polissia National University, Zhytomyr), **Tsipan Yu. R., Post-graduate Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

DYNAMICS OF SOIL CATALASE ACTIVITY IN THE POST-PYROGENIC FOREST ECOSYSTEM

It is important to track and analyze the ecological restoration of forest ecosystems after fires. This is especially relevant in regions where historically such phenomena have occurred infrequently. Global warming increases the relevance of such research. A sensitive

diagnostic criterion is the enzymatic activity of the soil. This is closely related to the physico-chemical properties of the soil, its microbial biomass and vegetation, which undergo significant changes and transformations in the post-pyrogenic period. The aim of our research was to track the dynamics of catalase activity in the soil within the sub-forests of the south-eastern part of the Volyn Polissia after a medium-intensity fire. The research lasted from June 2021 to November 2022 in a forest area with sparse stands. Sampling of soil to determine the activity of catalase enzyme was carried out every month. At the same time, instrumental determination of soil temperature, humidity, and pH was carried out at the sampling site. This made it possible to monitor the effect of seasonal changes in abiotic environmental factors on enzymatic activity. During eighteen months of observation, a 3-fold increase in the activity of the catalase enzyme was noted: from 0.92 ± 0.2 mgO₂/g/min to 2.10 ± 0.17 mgO₂/g/min, with peak values in September 2022, which was at the level of 3.13 ± 0.31 mgO₂/g/min. The statistical significance of the linear dependence of soil temperature ($r=0.58$), soil moisture ($r=0.57$) and soil pH ($r=0.64$) on its catalase activity was confirmed. The multivariate regression dependence of the same factors simultaneously had a close relationship ($r=0.97$). It is assumed that among all analyzed abiotic factors, the change in pH against the background of seasonal temperature fluctuations and corresponding changes in soil moisture has a decisive influence on the processes of restoration of catalase activity of post-fire forest soil. Continuation of such research may be valuable in view of the development of tools for early diagnosis of recovery of the post-pyrogenic soil of the forest ecosystem of the southeastern part of the Volyn Polissia. This is also an important task in the management and restoration programs of Ukraine's post-fire territories.

Keywords: soil; catalase activity; post-pyrogenic forest ecosystem; abiotic factors.