

## ВАЖКІ МЕТАЛИ У ҐРУНТАХ БОРОВИХ ЛІСІВ ПІСЛЯ ПІРОГЕННОГО ВПЛИВУ

**Буц Юрій Васильович,**

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри загальної та регіональної географії  
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка  
ORCID ID: 0000-0003-0450-2617  
Scopus Author ID: 57207909304  
Web of Science Researcher ID: AAY-8426-2021

**Крайнюк Олена Володимирівна,**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності  
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету  
ORCID ID: 0000-0001-9524-040X  
Web of Science Researcher ID: AAI-7974-2020

**Сенчихін Юрій Миколайович,**

кандидат технічних наук, професор,  
професор кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт  
Національного університету цивільного захисту України  
ORCID ID: 0000-0002-5983-2747

*Експериментальні дослідження дозволили виявити наслідки постпірогенної трансформації ґрунтів після пірогенного впливу, як від нещодавньої пожежі, так і через тривалий проміжок часу. Спостерігається певна залежність постпірогенної трансформації від давності впливу пожежі на ґрунт. Відносно недавні наслідки пожежі середньої інтенсивності на ґрунт відзначено чіткою реакцією комплексу їх властивостей.*

*Фізико-хімічні властивості ґрунтів у після пожежний період погіршуються через те, що суттєво знижується кількостей поживних елементів у ґрунті: згорає гумус, зменшується вміст нітратного азоту. Отже, пожежі, з одного боку, покращують умови проникнення насіння у ґрунт, але погіршують умови проростання, зростання та розвитку хвойних деревних порід.*

*Кислотно-лужна реакція за показником рН у ґрунтах, які зазнали впливу пожежі, зміщується до нейтральної, що слід пояснити насиченням поглинаючого комплексу ґрунтів лужноземельними елементами.*

*Лісові низові пожежі суттєво трансформують морфологічний вигляд верхньої частини ґрунтового профілю. У підсумку змінюються поверхневі горизонти ґрунтів, зокрема, сформовується новий пірогенний горизонт, котрий за фізико-хімічними властивостями та вмістом зольних елементів певним чином відрізняється від природних аналогів. Під впливом пожежі відбуваються зміни таких показників, як: рН, вміст обмінних катіонів, валових і рухомих форм азоту та ін. Також слід враховувати, що поведінка і вміст важких металів у лісовій підстилці обумовлена, окрім впливу пожежі, і геохімічною станом регіону – швидкістю водної міграції і біологічного поглинання, рельєфом місцевості.*

*Концентрація важких металів у поверхневих горизонтах ґрунтів борових лісів зростає в кілька разів і перевищує фонові концентрації внаслідок мінералізації лісової підстилки і трав'янистої рослинності від згорання та подальшої міграції хімічних елементів, що являє екологічну небезпеку.*

**Ключові слова:** важкі метали, низові пожежі, біогеохімічні властивості ґрунтів, фізико-хімічні властивості ґрунтів.

### ***Buts Yuriy, Kraynyuk Olena, Senchykhin Yurii. Heavy metals in soils of pine forests after pyrogen influence***

*Experimental studies allowed revealing the consequences of the post-pyrogenic transformation of the physical and chemical parameters of soils after the pyrogenic factor, both the recent influence of fires and after a long period of time. There is a definite dependence of the postpyrogenic transformation on the age of the fire impact on the soil. Relatively recent consequences of a fire of medium intensity on the soil are marked by a clear reaction of the complex of their properties.*

*Physical-chemical properties of soils during the fire period deteriorate due to the fact that the amount of nutrients in the soil is significantly reduced: humus burns, the content of nitrate nitrogen decreases. Consequently, fires, on the one hand, improve the conditions for the penetration of seeds into the soil, but worsen the conditions for the growth, growth and development of coniferous tree species.*

*The acid-alkaline reaction according to the pH indicator in soils exposed to fires shifts to neutral, which should be explained by the saturation of the absorbing complex of soils with alkaline earth elements.*

*Forest fires significantly transform the morphological appearance of the upper part of the soil profile. As a result, the surface horizons of soils change, in particular, a new pyrogenic horizon is formed, which differs from natural analogues in a certain way in terms of physical and chemical properties and the content of ash elements. Under the influence of fires, there are changes in such parameters as pH, the content of exchangeable cations, gross and mobile forms of nitrogen, etc. It should also be taken into account that the behaviour and content of heavy metals in the forest litter is determined, in addition to the influence of fire, by the geochemical state of the region – the rate of water migration and biological absorption, the topography of the area.*

*The concentration of heavy metals in the surface horizons of the soils of pine forests increases several times and exceeds background concentrations due to the mineralization of the forest floor and grassy vegetation from combustion and the subsequent migration of chemical elements, which represents an ecological hazard.*

**Key words:** heavy metals, bottom fires, biogeochemical properties of soils, physical and chemical properties of soils.

### Вступ.

Вплив пожеж на ґрунти надзвичайно різноманітний, досліджений багатьма науковцями, проте до цих пір неоднозначний. Наразі переважна більшість експериментальних постпірогенних досліджень приділяється рослинності як найважливішому і найбільш потерпілому від вогню динамічному складнику та індикатору екосистем. Проте різноманітний прямий і непрямий вплив пожеж на ґрунтове середовище може бути набагато суттєвіший через постпірогення зміни в складі і структурі та трансформації біогеохімічних властивостей [1–2; 4; 6–11].

**Метою** даного дослідження стало виявлення постпірогенної трансформації біогеохімічних властивостей ґрунтів у соснових лісах Харківської області при техногенному навантаженні.

Еволюція ґрунтів в післяпожежну фазу пов'язана насамперед з пірогенною трансформацією органогенних горизонтів, тому вони служать індикатором впливу пожежі на ґрунт. При горінні органічних речовин у верхніх горизонтах виділяється значна кількість зольних елементів, що відповідно змінює реакцію середовища, вміст гумусу, азоту, суму обмінних катіонів.

Отже, суттєва роль при дослідженні постпірогенної трансформації екосистем повинна приділятися ґрунтам, як літогенній основі будь-якого природного комплексу.

У Харківському регіоні одним з об'єктів лісового господарства, де найбільш суттєві uszkodження лісових масивів, що пов'язані з випадками пожеж при техногенному навантаженні, є ділянки «ДП Жовтневого лісгоспу», що знаходиться поблизу міста Харкова. Протягом останніх років площа пожеж на території даного лісгоспу зросла до 30 га на рік. Саме тому об'єктом дослідження було визначено вигорілу частину лісового масиву в межах цього лісгоспу [2].

Лісовий масив свіжого згарища являє собою вирівняну ділянку слабо нахиленого схилу борової тераси з сірими лісовими опідзоленими ґрунтами під сосновим бором з домінуванням сосни звичайної (*Pinussylvestris L.*) та злаково-різнотравною асоціацією з переважанням у травостої чистотілу звичайного (*Chelidoniummajus L.*), молочаю Вальдштейна (*EuphorbiavirgataWaldst.*), підмаренника справжнього (*Galiumverum L.*) та латук татарського (*Lactucatararica L.*). На ділянці чітко зафіксовані і візуально прослідковуються ознаки пожежі 4-5 річної давнини: сосни обгорілі до висоти 1-2,5 м, лісова підстилка пошкоджена, в деяких місцях сліди осередків пожежі без трав'янистої рослинності. Загальна площа пожежі приблизно 0,5 га. Пожежу віднесено до першого ступеня, оскільки деревостан пошкоджений незначно. Суттєвіших uszkodжень зазнав підріст та чагарниково-трав'янистий покрив [2].

В межах цього ж лісового масиву виявлено площу зі слідами «старої» пожежі, що сталася близько десяти

років тому. Наразі про пожежу нагадують лиш обгорілі в окремих випадках, до висоти 2-3 м стовбури сосен. Територія екосистеми є слабо нахиленою ділянкою з сірими лісовими опідзоленими ґрунтами під сосновим бором з сосни звичайної (*Pinussylvestris L.*) та з переважанням домінуванням злакової рослинності (*Gramineae*) та молочаю Вальдштейна (*EuphorbiavirgataWaldst.*) і чистотілу звичайного (*Chelidoniummajus L.*).

Характерною подібністю екосистем є наявність суцільної лісової підстилки товщиною до 10-12 см, що складається з сухих соснових гілок, сухої хвої, шишок та відмерлих залишків трав'янистої злакової рослинності.

### Матеріали та методи.

На кожній з ділянок відібрано по кілька зразків ґрунту, проаналізовані середні значення. Для всіх зразків проведено визначення рН водної витяжки потенціометричним методом, вміст гумусу і валового азоту за методом Тюріна, гранулометричного складу за Качинському, рухомі форми фосфору і калію по Мачигіну. Концентрації вмісту рухомих форм важких металів (ВМ) визначалися атомно-абсорбційним методом [5].

### Результати.

**Кислотність ґрунтів.** При дослідженні кислотності сірих лісових опідзолених ґрунтів виявлена певна закономірність: в підстилках на старому згарищі виявлено кислі значення рН, на свіжому – величина рН, ближче до нейтральної. В цілому спостерігається післяпожежна трансформація сірих лісових опідзолених ґрунтів в органогенних горизонтах, яка полягає в тенденції переважання в лужному напрямі. Результати дослідження кислотно-лужних умов у вивчених ґрунтах виявили підвищення показника рН у ґрунтах, що піддалися впливу пожежі (табл. 1).

Тобто відмічено, зростання рН середовища ґрунтів після пожежі і через 4-5 років з моменту пожежі все ще перевищує фонові показники.

Для ґрунтів через 10 років з моменту пожежі реакція середовища все ще не досягла фонових значень.

Отже, в результаті пожежі величина рН у верхньому шарі сірих лісових опідзолених ґрунтів (0-10 см) змістилася у бік нейтральної до 4,8 проти 4,3 у контролі. В інших горизонтах на більшій глибині значення цього показника наближаються до фонових.

Тенденція до зростання значень рН у ґрунтах після пожеж пояснюється тим, що зольні водорозчинні сполуки, проникаючи у ґрунт, насичують поглинаючий комплекс лужноземельними елементами і викликають зміщення реакції середовища до нейтрального діапазону. Значну роль у встановленні значень рН відіграє вік згарища. У ґрунтах старих згарищ значення рН наближаються до фонових.

**Фізико-хімічні властивості ґрунтів.** Загальновідомо, що сприятливі умови для зростання лісу складаються при насиченості ґрунтів основами на 50–80%,

## Кислотність та фізико-хімічні властивості ґрунтів

Показник		Значення
4-5 років після пожежі		
рН		4,8
Обмінні катіони, мг.-екв./100г ґрунту	Ca <sup>2+</sup>	7,2
	Mg <sup>2+</sup>	4,1
Гумус		0,9
Азот		0,4
10 років після пожежі		
рН		4,6
Обмінні катіони, мг.-екв./100г ґрунту	Ca <sup>2+</sup>	9,2
	Mg <sup>2+</sup>	4,4
Гумус		1,1
Азот		0,2
фонові значення		
рН		4,3
Обмінні катіони, мг.-екв./100г ґрунту	Ca <sup>2+</sup>	10,2
	Mg <sup>2+</sup>	5,6
Гумус		1,8
Азот		0,2

вміст легкорозчинних сполук калію та фосфору більш ніж 5 мг на 100 г ґрунту. Добре зростання сосни відзначено при ємності поглинання 7–12 мг-екв. При цьому зріст переважної кількості видів деревних порід пригнічується на сильно кислих або лужних ґрунтах.

У ґрунті на свіжому згарищі відбувається збільшення вмісту катіонів кальцію в органічних горизонтах (табл. 1).

Для ґрунтів характерним є невисокий вміст гумусу у верхньому акумулятивному горизонті. З глибиною вміст його суттєво знижується, що власне характерно для сірих лісових опідзолених ґрунтів. Найбільші значення загального азоту притаманне для органічних горизонтів. Ґрунт у після пожежний період збіднюється, вміст гумусу знижується. З кожним роком плавно кількість гумусу збільшується. На низову пожежу гумусові горизонти ґрунтів відповідають втратою азоту у результаті часткового згоряння органічних сполук.

У досліджених зразках ґрунту вміст гумусу на згарищах обох ділянок протягом тривалого часу нижчий, ніж у фоновому зразку.

Таким чином, зі зростанням віку згарищ значення рН, вміст обмінних катіонів і гумусу зменшуються. Це пов'язано з тим, що реакція ґрунтів на пірогенний вплив поступово згасає.

Згідно з отриманими даними, у ґрунтах, що зазнали впливу пожежі відносно нещодавно, концентрації рухомих форм всіх проаналізованих важких металів (ВМ) мають підвищені значення, порівняно з ґрунтами незайманим вогнем та ґрунтами ураженими пожежею більш ніж 10 років тому. Наприклад, вміст Pb після пожежі у верхньому ґрунтовому горизонті 0–15 см підвищився майже у 8 разів, Ni в понад 6 разів, Zn майже в 3 рази. Менше зростають концентрації Cu, Cr і Fe (від 1,7 до 1,1).

Показовими для постпірогенних геохімічних трансформацій у досліджених ґрунтах є результати атомно-абсорбційного аналізу (рис. 1).

Оскільки дослідження передбачали проведення порівняльного аналізу вмісту ВМ у фонових екосистемах та їх техногенних модифікаціях, застосовано коефіцієнт концентрації, який розраховують як відношення концентрації хімічного елементу у забрудненому ґрунті до його вмісту у аналогічному ґрунті фонових територій ( $K_c$ ) [3].

Зазначений коефіцієнт відображає ступінь концентрації хімічного елементу у дослідженому об'єкті до його фонового вмісту у компонентах екогеосистем.

За коефіцієнтом концентрації рухомі форми ВМ у досліджених ґрунтах згарища після свіжої пожежі і ґрунтах згарища після давньої пожежі перевищують фонові значення у всіх проаналізованих зразках. Найвищі показники  $K_c$  відзначено для Cr, Ni та Pb.

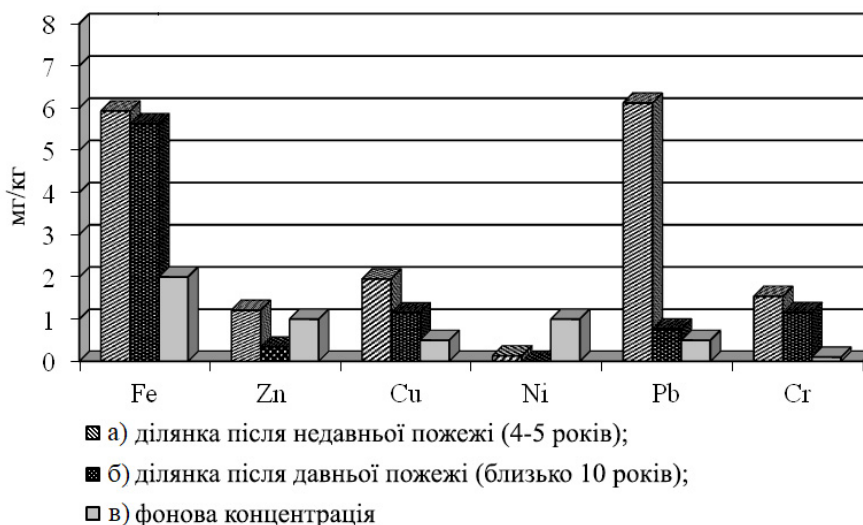


Рис. 1. Вміст рухомих форм важких металів та їх фонові значення у сірих лісових опідзолених ґрунтах [10]

Збільшення концентрації ВМ у ґрунтах досліджених екосистем, на наш погляд, можуть бути спричинені техногенними викидами підприємств міста Харкова та автотранспорту. Щодо надмірних концентрацій ВМ у ґрунтах, що зазнали впливу низової пожежі відносно недавно (4-5 років), даний факт потрібно пов'язати з мінералізацією лісової підстилки та трав'янистої рослинності від згорання, з подальшою міграцією хімічних елементів у поверхневі горизонти ґрунту.

В цілому, з урахуванням токсичності ВМ та близькості досліджених ділянок соснових лісів до населених пунктів, можемо констатувати екологічну небезпеку для вивчених екосистем, у тому числі для людини.

#### Висновки.

1. Наведено постпірогенну трансформацію фізико-хімічних показників ґрунтів, що слід назвати не лише їх відповідною реакцією на пірогенний вплив, а певним показником, який відображає стан ґрунтів як від нещодавнього впливу після пожеж, з урахуванням їх сили і інтенсивності, так і через тривалий проміжок часу. Загалом, спостерігається певна залежність постпірогенної трансформації від давності впливу пожежі на ґрунт. Відносно недавні наслідки пожежі середньої інтенсивності на ґрунт відзначено чіткою реакцією комплексу їх властивостей. Для ґрунту на 5-річному згарищі характерна менша реакція досліджених показ-

ників. При відсутності пожежі через 10 років у ґрунтах прояви пірогенного чинника практично відсутні.

2. Кислотно-лужна реакція за показником рН у ґрунтах, які зазнали впливу пожеж, зміщується до нейтральної, що слід пояснити насиченням поглинаючого комплексу ґрунтів лужноземельними елементами.

3. Фізико-хімічні властивості ґрунтів у післяпожежний період погіршуються через те, що суттєво знижується кількість поживних елементів у ґрунті: згорає гумус, зменшується вміст нітратного азоту. Отже, пожежі, з одного боку, покращують умови проникнення насіння у ґрунт, але погіршують умови проростання та розвитку хвойних деревних порід. Вміст гумусу у поверхневому горизонті (0-15 см) сірих лісових опідзолених ґрунтів після пройденої низової пожежі знижується за рахунок згорання органічних речовин у поверхневому ґрунтовому прошарку.

4. Концентрація ВМ у поверхневих горизонтах ґрунтів борових лісів зростає в кілька разів і перевищує фонові концентрації внаслідок мінералізації лісової підстилки і трав'янистої рослинності від згорання та подальшої міграції хімічних елементів, що являє екологічну небезпеку.

Подальші дослідження трансформації властивостей ґрунтів під впливом пірогенних чинників мають суттєве теоретичне та практичне значення у розробці наукових підходів до відновлення екосистем у післяпожежний етап розвитку.

#### Література:

1. Буц Ю.В. Пірогенна релаксія геосистем. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. № 1-2. С. 71–76. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-06>.
2. Буц Ю.В. Наслідки впливу пірогенного чинника на біогеохімічні властивості екогеосистем в умовах техногенного навантаження. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 93. № 3. С. 109–116. doi: 10.29295/2311–7257–2018–93–3–115–122.
3. Гуцуляк В.М. Геохімія ландшафту. Чернівці : ЧДУ, 1994. 82 с.
4. Красношеков Ю.Н. Влияние пирогенного фактора на серогумусовые почвы сосновых лесов в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории. *Сибирский лесной журнал*. 2014. № 2. С. 43–52.
5. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Москва : ЦИНАО, 1989. 62 с.
6. Шахматова Е.Ю. Пирогенность – ответная реакция почв сухих сосновых лесов на воздействие пожаров. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 5. С. 260–264.
7. Asotskyi V., Buts Y., Krainyuk O. Post-pyrogenic changes in the properties of grey forest podzolic soils of ecogeosystems of pine forests under conditions of anthropogenic loading *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 2018. 27(2). 175–183. DOI: 10.15421//111843.
8. Buts Y., Asotskyi V., Krainyuk O., Ponomarenko R. Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 2018. 27(1). P. 43–50. DOI: <https://doi.org/10.15421/111829>.
9. Buts Y. Features of geochemical migration of chemical elements after technogenic loading of pyrogenic nature. *Journal of Engineering Sciences*. 2018. Vol. 5, Issue 2. P. H1–H4. doi: [https://10.21272/jes.2018.5\(2\).h1](https://10.21272/jes.2018.5(2).h1).
10. Buts Y., Asotskyi V., Krainyuk O. Dynamics of migration property of some heavy metals in soils in Kharkiv region under the influence of the pyrogenic factor. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 2019. 28(3). P. 409–416. doi: <https://doi.org/10.15421/111938>.
11. Doerr S., Cerda A. Fire effect on soil system functioning: new in sight and future challenges. *International Journal of Wild land Fire*. 2005. Vol. 14. № 4. P. 339–342.

#### References:

1. Buts Y. (2012) Pirohenna relaksiiya geosystem [Pyrogenic relaxation of geosystems]. *Man and environment. Problems of neoeology*. No. 1-2, P. 71–76 [in Ukraine].
2. Buts Y. (2018) Naslidky vplyvu pirohennoho chynnyka na bioheokhimichni vlastyvoli ekoheosystem v umovakh tekhnogennoho navantazhennya [Consequences of the effect of the pyrogenic factor on the biogeochemical properties of ecogeosystems under technogenic load conditions]. *Scientific bulletin of construction*. No. 93(3), P. 109–116. [in Ukraine].
3. Hutsulyak V.M. Heokhimiya landshaftu [Geochemistry of the landscape] (1994). 82 p. [in Ukraine].
4. Krasnoshchekov Yu.N. (2014) Vliyaniye pirogennoho faktora na serogumusovyye pochvy sosnovykh lesov v Tsentral'noy ekologicheskoy zone Baykal'skoy prirodnoy territorii [The effect of the pyrogenic factor on the serohumus

soils of pine forests in the Central Ecological Zone of the Baikal Natural Territory]. *Siberian Forest Journal*. No. 2, P. 43–52 [in Russian].

5. Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodiy i produkcii rasteniyevodstva [Methodical instructions for the determination of heavy metals in agricultural soils and plant production] (1989). 62 [in Russian].

6. Shakhmatova E.Yu. (2015) Pirogennost' – otvetnaya reaktsiya pochv sukhikh osnovnykh lesov na vozdeystviye pozharov [Pyrogenicity is the response of soils of dry pine forests to the impact of fires]. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. No. 5, P. 260–264 [in Russian].

7. Asotskiy V., Buts Y., Kraynyuk O., Ponomarenko R. (2018) Post-pyrogenic changes in the properties of grey forest podzolic soils of ecogeosystems of pine forests under conditions of anthropogenic loading. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. No. 27(2), P.175-183 <https://doi.org/10.15421//111843n> [in English]

8. Buts Y., Asotskiy V., Kraynyuk O., Ponomarenko R. (2018) Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 27(1), P. 43–50. doi: <https://doi.org/10.15421/111829> [in English]

9. Buts Y. (2018) Features of geochemical migration of chemical elements after technogenic loading of pyrogenic nature. *Journal of Engineering Sciences*. Vol. 5, No 2, P. H1–H4 [in English]

10. Buts Y., Asotskiy V., Kraynyuk O., Ponomarenko R., Kovalev P. (2019) Dynamics of migration property of some heavy metals in soils in Kharkiv region under the influence of the pyrogenic factor. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. No 28(3), P. 409–416. [in English]

11. Doerr S., Cerda A. (2005) Fire effect on soil system functioning: new in sight and future challenges. *International Journal of Wild land Fire*. 2005. Vol. 14, No 4, P. 339–342. [in English]