

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК (UDC): 502.2:614.84:502.17(043.5)

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-04>

Ю. В. БУЦ¹, д-р техн. наук, доц., О. В. КРАЙНЮК², канд. техн. наук, доц.,
Н. В. ДІДЕНКО², канд. техн. наук, В. В. БАРБАШИН³, канд. техн. наук, доц.

¹Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
проспект Науки, 9А, м. Харків, 61000, Україна

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61000, Україна

³Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 13, Харків, 61000, Україна

e-mail: butsyura@ukr.net

alenauvarova@ukr.net

nataly.v.didenko@gmail.com

barbachyn@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0450-2617>

<https://orcid.org/0000-0001-9524-040X>

<https://orcid.org/0000-0003-3318-438X>

<https://orcid.org/0000-0003-3262-8305>

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЕКОСИСТЕМ ПІСЛЯ ПОЖЕЖІ

Мета. Пошук способів покращення властивостей ґрунту лісових екосистем після дії пірогенного чинника: запропонувати технологічні заходи з відновлення якостей та покращення властивостей ґрунту екосистеми, довести ефективність використання глини в очищенні ґрунту в якості сорбенту.

Методи. Запропоновано внесення глини, як потенційного сорбенту для очищення природних ґрунтів від важких металів (ВМ). Мінеральний склад якої визначено за допомогою рентгенофазового аналізу. Також використовувався метод фітореMediaції за допомогою кульбаби звичайної для концентрування ВМ. Концентрацію іонів ВМ визначали атомно-адсорбційним методом.

Результати. Завданням експериментального дослідження стало обґрунтування застосування дешевої природної глинистої сировини без попередньої її активації для вилучення ВМ з ґрунтового розчину. Для проведення експерименту вибрана глина Харківського регіону. Доведено ефективність як використання глини в очищенні ґрунту в якості сорбенту, так і фітореMediaції кульбаби звичайної по відношенню до важких металів. Запропоновані технологічні заходи з відновлення якостей та покращення властивостей ґрунту екосистеми: виконання проектно-вишукувальних робіт, включаючи польові дослідження; виконання державного екологічного дослідження (моніторингу); очищення постраждалої ділянки від пошкоджених дерев; рекультивування родючості ґрунтів відновлюваних територій, що передбачені проектуванням відновлення, в залежності від характерних особливостей ушкоджень ділянок і подальшого застосування відновлювальних територій.

Висновки. При постпірогенній релаксії екосистем, в умовах техногенного навантаження, доведено ефективність використання глини як сорбента в очищенні ґрунту та фітореMediaції за допомогою кульбаби звичайної по відношенню до важких металів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: важкі метали, лісові пожежі, фітоекстракція, фітореMediaція, сорбція, глина

Buts Y. V.¹, Krainyuk O. V.², Didenko N. V.², Barbashin V. V.³

¹Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, 9A, Prospect Science, Kharkiv, 61000, Ukraine

²Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo St., Kharkiv, 61002, Ukraine

³O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 17, Marshal Bazhanov St., Kharkiv, 61002, Ukraine

RECOMMENDATIONS FOR ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF ECOSYSTEM RESTORATION AFTER FIRE

Purpose. To find ways to improve the soil properties of forest ecosystems after the action of the pyrogenic factor: to propose technological measures to restore the quality and improve the soil properties of the ecosystem; to prove the effectiveness of using clay in soil cleaning as a sorbent.

© Буц Ю. В., Крайнюк О. В., Діденко Н. В., Барбашин В. В., 2020



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Methods. The introduction of clay as a potential sorbent for cleaning fertile soils from trace metals is proposed. The mineral composition of the clay was determined by X-ray phase analysis. Clay materials can be successfully used in adsorption cleaning technologies. The method of phytoremediation with the help of dandelion to concentrate trace metal was used also. The concentration of trace metal was determined by atomic adsorption analysis.

Results. The task of the experimental study was to substantiate the possibility of using cheap natural clay raw materials without its prior activation to remove trace metals from the soil solution. In the case of post-pyrogenic relaxation of ecosystems under conditions of man-caused load, the soil in the restored area may be contaminated with VM and other hazardous substances. The clay of the Kharkiv region was chosen for the experiment. The experiment proved the effectiveness of the use of clay in soil purification as a sorbent, and phytoremediation of dandelion in relation to heavy metals. Thus, both technical and biological methods of VM sorption to prepare the soil for planting can be recommended for the restoration of the forest ecosystem after a fire. The proposed technological measures to restore the quality and soil properties of the ecosystem include the implementation of design and survey work, including field research; implementation of the state ecological research (monitoring); cleaning the affected area from damaged trees; reclamation of soil fertility of regenerative territories, provided by design of restoration, depending on characteristic features of damages of sites and the subsequent application of regenerative territories.

Conclusions. At postpyrogenic relaxation of ecosystems, in the conditions of technogenic loading, the efficiency of using clay in soil cleaning as a sorbent and phytoremediation with dandelion in relation to heavy metals has been proved.

KEYWORDS: heavy metals, forest fires, phytoextraction, phytoremediation, sorption, clay

Буц Ю. В.¹, Крайнюк Е. В.², Диденко Н. В.², Барбашин В. В.³

¹*Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецца,*
пр Науки, 9А, г. Харьков, 61000, Украина

²*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,*
ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, 61000, Украина

³*Харьковский национальный университет городского хозяйства имени О.Н. Бекетова,*
ул. Маршала Бажанова, 13, Харьков, 61000, Украина

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЭКОСИСТЕМ ПОСЛЕ ПОЖАРА

Цель. Поиск способов улучшения свойств почвы лесных экосистем после воздействия пирогенного фактора: предложить технологические мероприятия по восстановлению качеств и улучшения свойств почвы экосистемы, доказать эффективность использования глины в очистке почвы в качестве сорбента.

Методы. Предложено внесение глины, как потенциального сорбента для очистки природных почв от тяжелых металлов (ТМ). Минеральный состав которой определен с помощью рентгенофазового анализа. Также использовался метод фиторемедиации с помощью одуванчика обычного для концентрирования ВМ. Концентрацию ионов ВМ определяли атомно-адсорбционным методом.

Результаты. Задачей экспериментального исследования стало обоснование применения дешевого природного глинистого сырья без предварительной активации для извлечения ВМ с почвенного раствора. Для проведения эксперимента выбрана глина Харьковского региона. Доказана эффективность как использования глины в очистке почвы в качестве сорбента, так и фиторемедиации одуванчика обычного по отношению к тяжелым металлам. Предложенные технологические мероприятия по восстановлению качеств и улучшения свойств почвы экосистемы: выполнение проектно-исследовательских работ, включая полевые исследования; выполнение государственного экологического исследования (мониторинга) очистки пострадавшего участка от поврежденных деревьев рекультивацию плодородия почв возобновляемых территорий, предусмотренных проектированием восстановления, в зависимости от характерных особенностей повреждений участков и дальнейшего применения восстановительных территорий.

Выводы. При постпирогенной релаксии экосистем в условиях техногенной нагрузки, доказана эффективность использования глины в очистке почвы как сорбента и фиторемедиации с помощью одуванчика обычной по отношению к тяжелым металлам

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тяжелые металлы, лесные пожары, фитоэкстракция, фиторемедиация, сорбция, глина

Вступ

Пожежами у екосистемах пошкоджуються та знищуються лісові насадження, заповідні степові землі, сільськогосподарські угіддя, водно-болотні комплекси. На гасіння

ландшафтних пожеж, відновлення насаджень на місці згарищ, а також за рахунок втрати врожаїв, загибелі представників фауни, витрачаються матеріально-фінансові ресурси,

які могли б бути спрямовані на виконання не менш важливих природоохоронних заходів. При встановленні високої та надзвичайної пожежної небезпеки щоденно виникає значна кількість пожеж в екосистемах (насамперед, у лісових масивах), які у ряді випадків розповсюджуються до рівня надзвичайних ситуацій (НС).

Ґрунт, що зазнав впливу пірогенного чинника, тривалий час не відновлюється, а рослинність на місцях пожеж з'являється лише через довготривалий час, тому повне природне відтворення екосистеми може зайняти кілька десятиліть. Насамперед, треба всі зусилля спрямувати на відновлення якостей ґрунту та покращення його властивостей.

Перед тим як почати виконувати відновлювальні роботи, слід створити і обдумати план відновлення. В основному він виконується на підставі наявних санітарно-гігієнічних, лісгосподарських, водогосподарських та інших норм і стандартів, беручи до особливої уваги природні і кліматичні умови, а також місцезнаходження порушеної земельної ділянки.

Питанням дослідження відновлення лісових систем після пожежі присвячено ряд робіт. На даний момент робіт, є роботи, що присвячені геоекологічному аналізу впливу антропогенних чинників на виникнення лісових пожеж. Одна з них – робота Ю.А. Андрєєва [1], у якій містяться результати вивчення закономірностей виникнення техногенних і природних пожеж. Моделювання і оцінювання факторів, як техногенного так і природного характеру, є вирішальним для розробки методів попередження виникнення надзвичайної ситуації пірогенного характеру [2]. Ряд досліджень присвячено вивченню постпірогенних змін у лісових екосистемах [3-7]. Однак, питанням відтворення екосистем після дії пірогенного чинника не приділяється достатньої уваги. Розгляду екологічної небезпеки при виникненні лісових пожеж присвячено

роботу [8], у якій вивчалася динаміка відновлення біогеоценозів на ґрунтах, які зазнали лісової пожежі. У роботі [9] автори досліджують соціальні аспекти відновлення навоколишнього середовища після пожежі, робиться акцент на тому, що недостатньо знань про чинники, що впливають на екологічне відновлення. Вивчаються дані щодо збереження біорізноманіття, управління видами рослин, умови проживання яких багато в чому залежать від частих пожеж [10]. У роботі [11] представлений досвід відновлення плантацій сосни після пожежі, а в дослідженні [12] – відновлення болотних екосистем. Наукова робота [13] присвячена вивченню поняття значення терміну «стійкість» для управління лісами і пожежами. Представляє науковий інтерес дослідження [14], у якому автори вивчають якість ґрунту після лісових пожеж за допомогою розрахунку індексу якості ґрунту на підставі фізичних, хімічних та біологічних властивостей ґрунту. У попередніх дослідженнях [7, 15, 16] нами розроблено математичні моделі динаміки поведінки ВМ, що засновані на побудові концентраційно-логарифмічних діаграм, які дозволяють прогнозувати здатність сполук хімічних сполук до міграції або акумуляції унаслідок зміни кислотності ґрунтів під дією пірогенного чинника.

Отже, дослідженню відновлення ґрунтів лісових екосистем приділяється недостатньо належної уваги, у той час, як саме цей чинник є визначальним при висаджуванні молодих рослин для відтворення лісової екосистеми.

Мета дослідження – пошук способів покращення властивостей ґрунту лісових екосистем після дії пірогенного чинника: запропонувати технологічні заходи з відновлення якостей та покращення властивостей ґрунту екосистеми; довести ефективність використання глини в очищенні ґрунту у якості сорбенту.

Об'єкти і методи досліджень

Запропоновано внесення глини, як потенційного сорбенту для очищення родючих ґрунтів від важких металів. Для проведення експерименту обрано глини Харківського регіону, глинисті матеріали яких можна успішно використовувати в адсорбційних технологіях очищення. Завданням експериментального дослідження стало обґрунтування можливості застосування дешевої природної глинистої сировини без

попередньої її активації для вилучення ВМ з ґрунтового розчину.

Об'єктом дослідження обрана глина Пересічниського родовища Харківської області. Сорбційна активність зразків обраної глини вивчалася по відношенню до іонів ВМ: Pb (II), Cu (II), Cr (VI). Хімічний склад глини з розміром глинистих частинок близько 10 мкм представлений наступними оксидами (табл. 1).

Рентгенофазним аналізом встановлено, що масова частка монтморилоніту (спрощена хімічна формула: $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,3}(\text{Al}, \text{Mg})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) у дослідженому зразку глини невелика і становить близько 20 %. Характерною особливістю глин із монтморилонітом є сильне набухання у присутності води. Монтморилонітові глини мають різко виражені колоїдні, у тому числі сорбційні властивості [17].

У Харківському регіоні достатньо родовищ, глина яких, може стати адсорбентом ВМ та інших токсичних компонентів (табл. 2).

Для визначення мінерального складу глини використовували рентгенофазовий аналіз, який проводили на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3.

Для сорбції ВМ можна також рекомендувати сапонітові глини, що виявлені в Україні на західному схилі Українського щита у Хмельницькій області. Сапоніт – природний сорбент, володіє високими адсорбційними, іонообмінними, каталітичними та фільтраційними властивостями. Надзвичайно високі властивості сорбції мають бентонітові глини, яких в Україні 110 родовищ [17].

Таблиця 1

Хімічний склад глини Пересічнянського родовища, мас.% [7]

Компонент	Вміст, %	Компонент	Вміст, %
SiO ₂	55,6	CaO	5,08
Fe ₂ O ₃	5,9	MgO	2,36
K ₂ O	3,3	FeO	1,4
P ₂ O ₅	0,05	Na ₂ O	4,76
Al ₂ O ₃	15,4		

Таблиця 2

Основні родовища глини у Харківському регіоні [17]

Родовище	Використання	Запаси
Басищівське	для бетону, силікатної цегли, будівельних сумішей	24408 тис. м ³
Камплицьке	для силікатної цегли, буд розчинів	91053 тис. м ³
Пересічнянське	для силікатної цегли	10305 тис. м ³
Семенівське	для бетону, будівельних сумішей	15813 тис. м ³
Шебелинське	для силікатної цегли	749 тис. м ³
Суша Кам'янка	глинясті (вохра жовта)	320,6 тис. м ³

У розвинених країнах щорічно використовують сотні тисяч тон сорбентів. У нашій державі природні сорбенти поки не отримали належного визнання. Більшість родовищ природних сорбентів до цього часу не знайшли промислового використання. Кристалічна структура мінералів групи монтморилоніт-сапонітів складається з двох шарів ненасичених форм: двох тетраедричних решіток SiO₂ і однієї октаедричної решітки, розташованої між ними, і яка містить в основному, Al, Mg, Fe. Між цими трьома шарами кристалічної решітки може відбуватися ізоморфний об-

мін. Тому мінерали групи монтморилонітів володіють високими адсорбційними і іонообмінними властивостями [17]. Розчинені іони ВМ адсорбуються на поверхні твердого тіла у вигляді іонів (тобто відбувається іонна адсорбція).

Для визначення адсорбційних властивостей глини, сорбцію ВМ проводили при постійній температурі (20 °С) з розчинів, що містять ґрунт із згарища та глину. Тривалість сорбції була в межах 60 хвилин. Концентрацію іонів ВМ визначали методом атомно-адсорбційного аналізу.

Результати та обговорення

Глина Пересічнянського родовища Харківської області не має яскраво виражених адсорбційних властивостей. Але результати свідчать, що навіть ця глина може бути рекомендована для меліоративних цілей і відновлення ґрунту після лісових по-

жеж, оскільки спостерігається поглинання ВМ. Навіть при низькому співвідношенні ґрунту та глини спостерігається вилучення ВМ у обсязі 27–52 % (рис. 1).

Таким чином, доведено, що використання глини для вилучення ВМ є ефектив-

ним. Звичайно, слід враховувати і економічні показники. Слід використовувати лише глину, що територіально зручно розташована до ділянки, яка постраждала від пожежі і потребує рекультивацийних заходів.

Одним з ефективних методів видалення ВМ з ґрунту є також фітоекстракція, заснована на здатності деяких рослин поглинати токсичні компоненти з ґрунтів і накопичувати їх у своїх тканинах і, таким чином, очищати ґрунти. З літературних джерел відомо, що найвищою поглинальною здатністю ВМ володіє кульбаба звичайна (*Taraxacum officinale*) [19].

Для оцінки ефективності цих фітоекстракторів в умовах постпірогенної релаксії, проведено експериментальне дослідження акумуляції ВМ в біомасі рослин, висаджених

на згарищі. Проби рослин висушувалися до повітряно-сухого стану, а потім були мінералізовані у муфельній печі при температурі 450°C. Після розчинення мінеральної проби визначено вміст у них ВМ. Дослідні рослини було вирощено на свіжому згарищі та на додатковій ділянці, на яку було додано досліджену глину масою 250 г/м². Результати досліджень поглинальної здатності кульбаби звичайної наведено в табл. 3.

Отже, проведеним експериментом доведено ефективність як використання глини, так і фітореємедіацію кульбаби звичайної по відношенню до ВМ. Обидва, і технічний і біологічний метод сорбції ВМ для підготовки ґрунту для висадження рослин, можна рекомендувати для відтворення лісової екосистеми після пожежі.

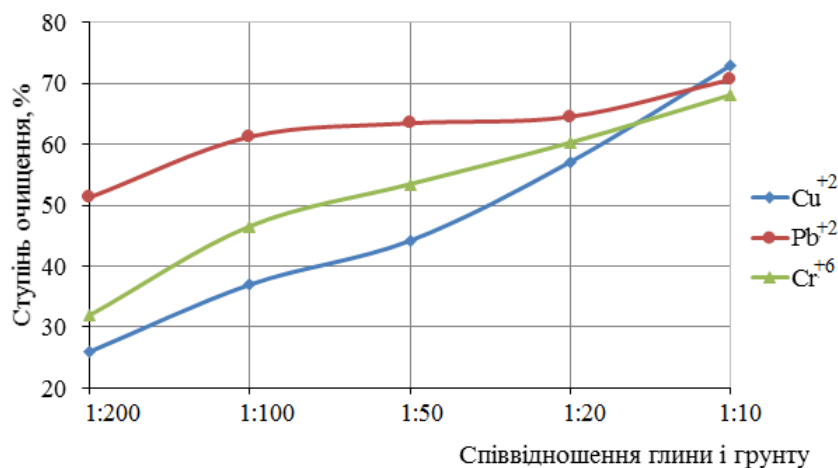


Рис. 1 – Ступінь очищення буферної витяжки з ґрунту від ВМ глиною, % (мас)

Таблиця 3

Ефективність фітоекстракції важких металів за допомогою кульбаби звичайної

Важкі метали	ГДК, мг/кг	У ґрунті після пожежі, мг/кг	Поглиняльна здатність, мг/кг сухого зразку маси рослин	
			Вирощено на згарищі	Вирощено на згарищі із додаванням глини для сорбції ВМ
Cu	3	1,9	1,7	0,82
Pb	20	6,1	4,9	2,6
Cr	0,05	0,44	0,32	0,11

Завершальний етап постпірогенної релаксії ґрунтів при лісовідновленні проводиться з метою визначити чи відповідає створений кореневмісний горизонт встановленим вимогам, чи правильно виконані меліоративні та протиерозійні роботи. Властивості і структура верхнього ґрунтового шару визначається тим, який саме спосіб освоєння

відтвореної території є цільовим.

Технологічні заходи з відновлення якостей та покращення властивостей ґрунту екосистеми. Технологічні заходи включають в себе і ряд витрат, які виконуються для проведення відновлювальних робіт:

– виконання проектно-вишукувальних робіт, включаючи польові дослідження;

- виконання державного екологічного дослідження (моніторингу);
- очищення постраждалої ділянки від пошкоджених дерев;
- рекультивация родючості ґрунтів відновлювальних територій, що передбачені проектуванням відновлення, в залежності від характерних особливостей ушкоджень ділянок і подальшого застосування відновлюваних територій.

Насамперед, слід провести моніторинг ураженої пожежею ділянки, незалежно чи це степова екосистема, водно-болотні угіддя чи лісовий масив, і лише потім проводити рекультивацию постраждалих від природних пожеж ділянок.

Рекультивация включає комплекс спеціальних заходів, спрямованих на відновлення господарської цінності і продуктивності

- земель. Відсутність такої роботи призводить:
- до руйнування верхнього родючого шару ґрунту;
- утворенню нових, штучно створених форм рельєфу, не характерних для даної місцевості;
- зникнення з ареалу звичних видів фауни і флори;
- зміни гідрологічного режиму території;
- забруднення продуктами горіння;
- акумуляції ВМ та інших токсичних сполук, що надходять у ґрунт із золюю.

З урахуванням значної шкоди масових пожеж у лісах пропонуємо розкрити технологічний процес з відновлення ґрунтів на прикладі лісових екосистем. Рекультивацию лісових ділянок слід проводити у декілька етапів (рис. 2), а також наводимо головні принципи рекультивации (рис. 3).

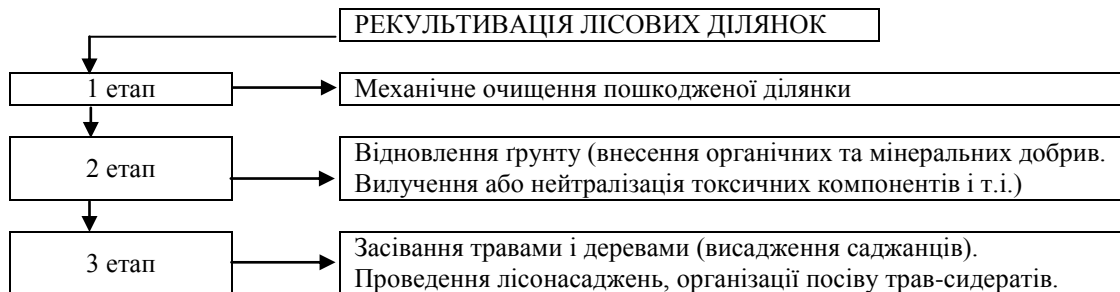


Рис. 2 – Етапи рекультивации лісових ділянок, що зазнали впливу пірогенного чинника

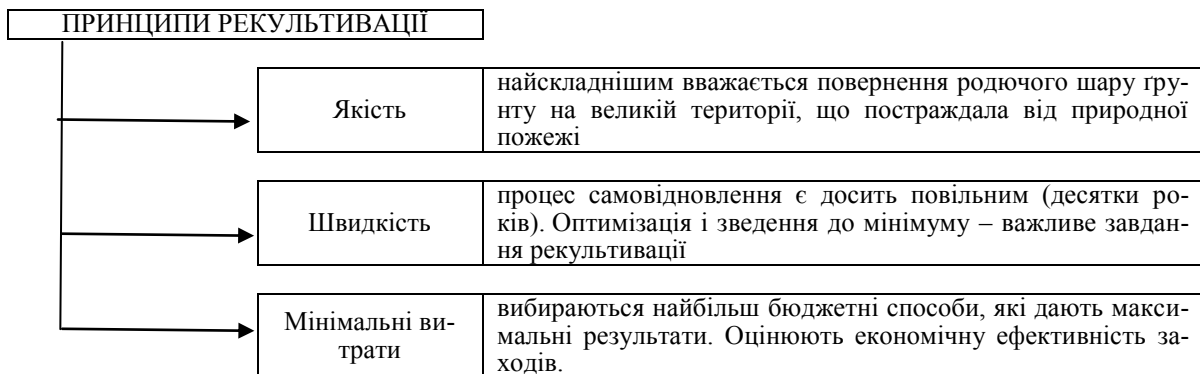


Рис. 3 – Головні принципи рекультивации ґрунтів, пошкоджених при впливові пірогенного чинника

Відновлення екосистем – процес тривалий і досить трудомісткий, тим більше в умовах техногенного навантаження. Він може проводитися протягом декількох років або навіть десятиліть. При цьому процедуру рекультивации можна розділити на три етапи: підготовчий, технічний і біологічний (рис. 4).

Підготовчий етап полягає в опрацюванні фактичного обсягу робіт, обґрунтування інвестиційної складової.

Технічний етап є головною частиною всіх проведених заходів, які виконуються для підготовки землі до її подальшого застосування. У даній галузі роботи ведуться за деякими складовими: теплотехнічні, гідротехнічні, хімічні.

Біологічна рекультивация земель являє собою комплекс заходів, у якому беруть участь агротехнічні та фітомеліоративні процеси, саме вони повертають біохімічні, агрофізичні і агрохімічні характеристики

ки ґрунту. У частині біологічної рекультивациі мається на увазі проведення комплексу дій, спрямованих на поліпшення структури відновлюваних земель. Серед них застосовується: озеленення, меліорація земель, біологічне очищення ґрунту, лісопосадкова діяльність.

Як зазначалося, при виявленні у ґрунті після пожежі підвищеної кількості ВМ, які будуть створювати фітотоксичний ефект на молоді саджанці застосовують такі методи рекультивациі [7]:

- видалення забрудненого шару;
- інактивація або зниження токсичної дії поллютантів за допомогою іонообмінних смол, органічних речовин, що утворюють хелатні сполуки;
- вапнування, внесення органічних добрив, що сорбують поллютанти і знижують їх надходження у рослини;
- внесення мінеральних добрив (наприклад фосфатних, що знижують токсичну дію свинцю, міді, цинку, кадмію за рахунок утворення важкорозчинних фосфатів);

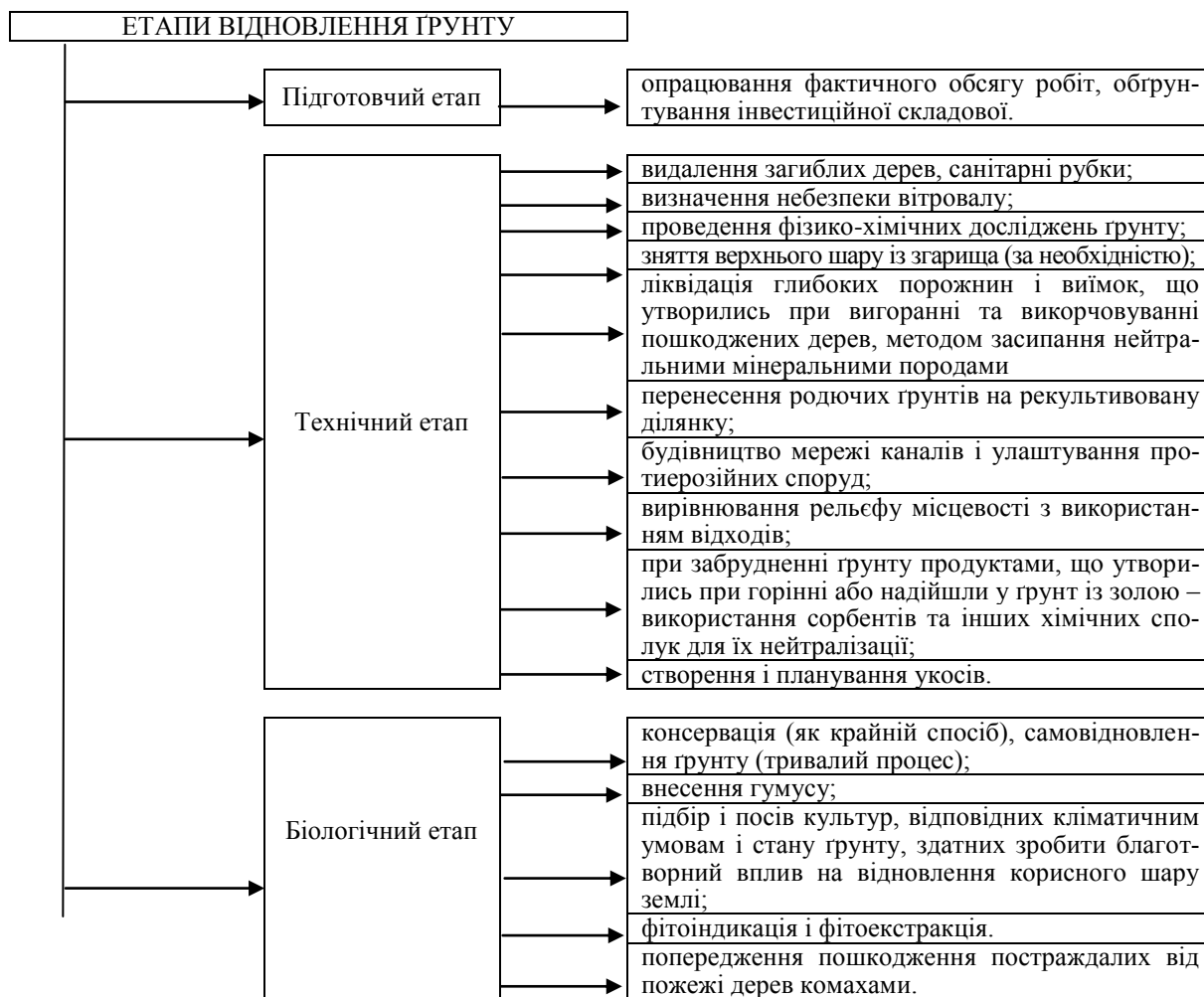


Рис. 4 – Етапи рекультивациі з відновлення ґрунту після лісової пожежі

– вирощування культур, стійких до забруднення і здатних до сорбції ВМ (фіторемедіація).

У разі, якщо ґрунти на відновлюваній території забруднені ВМ та іншими небезпечними речовинами, вони також підлягають попередньому очищенню за допомогою сорбентів. Весь процес відновлення може займати багато років. Проводиться він під наглядом санітарних служб і фахівців з ре-

культивациі. У даний час у світовій практиці для екологічного рафінування родючих ґрунтів все більше застосування знаходять мінеральні алюмосилікатні адсорбенти: різні глини, цеоліти, цеолітвмісні породи і т.і., які характеризуються високою поглинальною здатністю, стійкістю до впливу чинників навколишнього середовища і можуть служити прекрасними носіями для закріплення на поверхні різних токсичних сполук [7].

Висновки

Запропоновані технологічні заходи з відновлення якостей та покращення властивостей ґрунтів екосистем включають в себе виконання проектно-вишукувальних робіт, польові дослідження; державного екологічного дослідження (моніторингу); очищення постраждалої ділянки від пошкоджених дерев; рекультивацию родючості ґрунтів відтворюваних територій, що передбачені прое-

ктуванням відновлення, в залежності від характерних особливостей ушкоджених ділянок і подальшого використання цих територій. При постпірогенній релаксії екосистем, в умовах техногенного навантаження, доведено ефективність використання глини в очищенні ґрунту як сорбента та фітореMediaції за допомогою кульбаби звичайної по відношенню до важких металів.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Література

1. Андреев Ю. А. Влияние антропогенных и природных факторов на возникновение пожаров в лесах и населенных пунктах. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.26.03. Москва, 2003. 50 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/vliyanie-antropogennykh-i-prirodnykh-faktorov-na-vozniknovenie-pozharov-v-lesakh-i-naselennykh-punkтах>
2. Vacchiano G., Foderi C., Berretti R., Marchi E., Motta R. Modeling anthropogenic and natural fire ignitions in an inner-alpine valley. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2018. Vol. 18. No 3. P.935-948. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-935-2018>
3. Буц Ю. В. Систематизация процессов пірогенной релаксации екогеосистем в условиях техногенного навантаження. *Екологічна безпека*. 2018. № 1(25). С. 7-12. DOI: <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.7-12>
4. Крайнюк О. В., Буц Ю. В. Міграційна здатність свинцю у ґрунтах Харківщини під впливом пірогенного фактора. *Треті сумські наукові географічні читання: матеріали наук. конф. (м. Суми, 10-12 жовт. 2018 р.)*. Суми: СумДПУ імені А.С.Макаренка, 2018. С. 128-131.
5. Крайнюк О. В., Буц Ю. В., Некос А. Н. Природна пожежа в Рівненському заповіднику та її аналіз *VinSmartEco: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Вінниця, 16-18 травня 2019 р.)*. Вінниця, 2019. С. 25-26.
6. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R. (2019). Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 2019. 28(3), 409-416. DOI: <https://doi.org/10.15421/111938>
7. Буц Ю. В. Научно-методологические основы релаксации екогеосистем при техногенном навантаженні пірогенного походження. Автореф. ... докт. техн. наук: 21.06.01. Суми, 2020. 46 с. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76266>
8. Несговорова Н. П., Савельев В. Г., Иванцова Г. В. Изучение проблемы лесных пожаров как фактора экологической опасности: региональный аспект. *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12-6. С.1207-1211. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36302> (дата звернення 28.10.2020).
9. Gordon J. S., Willis J. L., Grala R. K. Public and forest landowner attitudes towards longleaf pine ecosystem restoration using prescribed fire. *Canadian Journal of Forest Research*. 2020. Т. 50. №. 9. P. 917-924. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0415>
10. Barnett J. P. Longleaf pine ecosystem restoration: the role of fire. *Journal of Sustainable Forestry*. 1999. Т. 9. №. 1-2. P. 89-96. URL: https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_barnett007.pdf
11. Tartarino P., Greco R., Silva J. S. Overstory Effects on the Understory of Aleppo Pine Plantations—Implications for Ecosystem Restoration. *Forests*. 2020. Т. 11. №. 6. С. 664. <https://doi.org/10.3390/f11060664>
12. Remm L., Lõhmus A., Leibak E., Kohv M., Salm J.-O., Lõhmus P., Rosenvald R., Runnel K., Vellak K., Rannap R. Restoration dilemmas between future ecosystem and current species values: The concept and a practical approach in Estonian mires. *Journal of environmental management*. 2019. Т. 250. 109439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109439>
13. Selles O. A., Rissman A. R. Content analysis of resilience in forest fire science and management. *Land Use Policy*. 2020. Vol. 94. DOI: <https://doi.org/10.016/j.landusepol.2020.104483>
14. Wang L., Fu Q. Soil quality assessment of vegetation restoration after a large forest fire in Daxing'anling, northeast China. *Canadian Journal of Soil Science*. 2020. Т. 100. №. 2. P. 162-174. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0013>.
15. Asotskyi V., Buts Y., Kraynyuk O., Ponomarenko R. Post-pyrogenic changes in the properties of grey forest podzolic soils of ecogeosystems of pine forests under conditions of anthropogenic loading. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. Vol. 27. No 2. P. 175-183. DOI: <https://doi.org/10.15421/111843>

16. Buts, Y., Asotskiy, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R. (2018). Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2018. Vol. 27. No 1. P. 43-50. DOI: <https://doi.org/10.15421/111829>
17. Михайлов В. А. Неметалічні корисні копалини України. 2-ге видання. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2008. 494 с.

References

1. Andreev, Yu. A. (2003). Influence of anthropogenic and natural factors on the occurrence of fires in forests and settlements. (Master's thesis). Moscow: FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia. Retrieved from <https://www.disscat.com/content/vliyanie-antropogennykh-i-prirodnykh-faktorov-na-vozniknovenie-pozharov-v-lesakh-i-naseleennykh-territoriyakh> (in Russian).
2. Vacchiano, G., Foderi, C., Berretti R., Marchi, E. & Motta, R. (2018). Modeling anthropogenic and natural fire ignitions in an inner-Alpine valley. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(3), 935-948. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-935-2018>
3. Buts, Y. (2018). Systematization of processes of pyrogenic relaxation of ecogeosystems in conditions of technogenic loading. *Ecological safety*, 1(25), 7-12. <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.7-12> (in Ukraine).
4. Krainiuk, O.V. & Buts, Yu.V. (2018). Migration ability of plumbum in soils of Kharkiv region under the influence of pyrogenic factor. *Proceedings of the Ukrainian Scientific Conference: Third Sumy Scientific Geographical Readings*, Sumy, 2018, October 10-12, (pp.128-131). Sumy: Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko. (in Ukraine).
5. Krainiuk, O.V., Buts, Yu.V. & Nekos, A.N. (2019). Natural fire in the Rivne Reserve and its analysis. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: VinSmartEco*, Vinnitsa, 2019, May 16-18, (pp. 25-26). Vinnitsa. (in Ukraine).
6. Buts, Y., Asotskiy, V., Kraynyuk, O. & Ponomarenko, R. (2019). Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 28(3), 409-416. <https://doi.org/10.15421/111938>
7. Butz, Yu. V. (2020). Scientific and methodological bases of relaxation of ecogeosystems at technogenic loading of pyrogenic origin. (Master's thesis). Sumy: Sumy State University. Retrieved from <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76266> (in Ukraine).
8. Neshovorova, N.P., Saveliev, V.G. & Yvantsova G.V. (2014). Investigation of the problem of forest fires as a factor of ecological danger: the regional aspect. *Fundamental Research*, 12 (6). 1207-1211. Retrieved from <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36302> (in Russian).
9. Gordon, J.S., Willis, J.L. & Grala, R.K. (2020). Public and forest landowner attitudes towards longleaf pine ecosystem restoration using prescribed fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 50(9), 917-924. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0415>
10. Barnett, J.P. (1999). Longleaf pine ecosystem restoration: the role of fire. *Journal of Sustainable Forestry*, 9(1-2), 89-96. Retrieved from https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_barnett007.pdf
11. Tartarino, P., Greco, R. & Silva, J. S. (2020.) Overstory Effects on the Understory of Aleppo Pine Plantations—Implications for Ecosystem Restoration. *Forests*, 11(6), 664. <https://doi.org/10.3390/f11060664>
12. Remm, L., Lõhmus, A., Leibak, E., Kohv, M., Salm, J.-O., Lõhmus, P., Rosenvald, R., Runnel, K., Vellak, K. & Rannap R. (2019). Restoration dilemmas between future ecosystem and current species values: The concept and a practical approach in Estonian mires. *Journal of environmental management*, 250, 109439. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109439>
13. Selles, O.A. & Rissman, A.R. (2020). Content analysis of resilience in forest fire science and management. *Land Use Policy*, (94), 104483. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104483>
14. Wang, L. & Fu, Q. (2020). Soil quality assessment of vegetation restoration after a large forest fire in Daxing'anling, northeast China. *Canadian Journal of Soil Science*, 100(2), 162-174. <https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0013>
15. 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*, 27(2), 175-183. <https://doi.org/10.15421/111843>
16. 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), 43-50. <https://doi.org/10.15421/111829>
17. Mikhailov, V.A. (2008). Non-metallic minerals of Ukraine. 2nd edition. Kyiv: Publishing and Printing Center «Kyiv University». (in Ukraine).

Надійшла: 25.09.2020

Прийнята: 20.10.2020