

Мудрак О. В., д.с.-г.н., професор (КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти», м. Вінниця, ov_mudrak@ukr.net),
Магдійчук А. П., науковий співробітник (Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, mahdiichuk@gmail.com),
Мудрак Г. В., к.геогр.н., доцент (Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, galina170971@ukr.net)

ЗМІНА ФІТОТОКСИЧНОСТІ СУБСТРАТІВ ПІЩАНИХ КАР'ЄРНО-ВІДВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОДІЛЛЯ ПІД ВПЛИВОМ ПОТЕНЦІЙНО-РОДЮЧИХ ПОРІД

В статті наведено результати біотестування субстратів піщаних кар'єрно-відвальних комплексів в межах Центрального Поділля. За результатами проведеного дослідження було виявлено позитивний вплив сапонітової глини на показник фітотоксичності субстратів деградованих земель в процесах рекультивації і фітомеліорації, що відкриває перспективний шлях для подальших досліджень дії сапоніту на піщаних субстратах кар'єрно-відвальних комплексів в природних умовах Центрально-Подільського регіону. Встановлено, що при додаванні сапонітової глини індекс токсичності піщаного субстрату Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу з III класу токсичності змінився на IV, індекс токсичності піщаного субстрату Барсуківського кар'єрно-відвального комплексу з II класу токсичності після внесення сапоніту відповідає V класу токсичності.

Ключові слова: піщані кар'єри; рекультивація; сапонітова глина; біотестування; індекс токсичності.

Постановка проблеми. Поділля є одним із найбільш перспективних унікальних регіонів України щодо збереження біотичного і ландшафтного різноманіття й відновлення девастрованих земель. Кар'єри в регіоні є оригінальними за своїм походженням, структурою, умовами, природними властивостями, просторовим розташуванням, особливістю геологічної будови, характером біотично-ландшафтної структури, господарським освоєнням.

Пріоритетним науковим напрямом сьогодення стає пошук

оптимальних еколого-збалансованих рішень для подальшого відновлення і використання кар'єрно-відвальних комплексів гірничо-промислових ландшафтів регіону. Деградовані землі в межах кар'єрних виїмок, сформованих за екстенсивного відкритого видобування корисних копалин, характеризуються появою суттєвих порушень структури покриву: при розкритті породи переміщуються і складаються ресурсовмісні породи, внаслідок чого знімається родючий шар ґрунту; змінюється гідрологічний режим; порушуються біоценотичні зв'язки. Родючість на таких ділянках низька, що робить такі об'єкти малоприсадибними для формування стійких і багатих фітоценозів.

Екологічна реабілітація девастрованих ділянок потребує комплексу екологічних заходів, спрямованих на відновлення і повернення території у стан, за якого можливе стійке функціонування антропогенних і природних геосистем. До таких заходів відносять рекультивуацію, яка складається з трьох основних етапів. До них належать підготовчий, інженерно-технічний (або гірничотехнічна рекультивуація) та біологічний етапи.

Підготовчий етап включає дослідження і типізацію порушених територій, вивчення специфіки умов, визначення можливості подальшого використання земель після завершення рекультиваційних робіт. Гірничотехнічна рекультивуація включає в себе комплекс інженерних заходів – зняття шару ґрунту, виположування, вирівнювання, покриття поверхні шаром родючого чи потенційно-родючого матеріалу тощо. Наступним етапом є біологічна рекультивуація або фітомеліорація, яка включає роботи, спрямовані на остаточне відновлення родючості і біологічної продуктивності порушених земель, створення сільськогосподарських та лісгосподарських угідь. Придатність до рекультивації визначають за структурою, рівнем рН, вмістом токсичних солей, гранулометричним складом, мінеральним складом фракції, вмістом гумусу тощо.

Фітотоксичні породи потребують додаткових інженерних заходів з нейтралізації, тому зниження фітотоксичності та застосування потенційних засобів для покращення властивостей і структури субстратів кар'єрно-відвальних комплексів гірничо-промислових ландшафтів є актуальним питанням [1–4].

Аналіз джерел та останніх досліджень. Біологічна діагностика

ґрунтів дозволяє визначити характер і ступінь антропогенного впливу на ґрунтовий покрив на ранніх стадіях розвитку деструктивних процесів. Під час проведення екологічних досліджень ґрунту використовують два види екологічних стандартів. Перший – це природний стандарт, який відповідає цілинним, непорушеним ґрунтам. Другий – антропогенний екологічний стандарт, який сформувався за довготривалого впливу будь-якої діяльності людини [5].

При комплексному дослідженні якості ґрунтів з метою їх подальшого раціонального використання обов'язково слід враховувати біодіагностичні показники, оскільки вони є інформативними і дозволяють швидко оцінити різні рівні антропогенного навантаження на едафотопи наземних екосистем.

В межах сучасних досліджень, для стабілізації едафічних умов V. Carabassa та ін. (2020) за період 10-річних досліджень використання осаду стічних вод (мулу) виявили покращення органічної складової породи за рахунок секвестрації більшої кількості карбону; В. Коніщук та ін. (2015) зазначили, що сапропель з його унікальним складом, значними покладами та низькою собівартістю є перспективним і безпечним органо-мінеральним добривом для рекультивації земель; В. Ohsowski та ін. (2015, 2017), С. Hidayat та ін. (2017) в якості практичного інструменту для відновлення успішно використали органічну складову (біовугілля, компост чи послід) та арбускулярні мікоризні грибки [6–10].

Покращення водно-фізичних властивостей і елементної складової, а також зниження фітотоксичності порушених субстратів можливе за внесення глинистих матеріалів, які через свої фізичні і хімічні властивості впливають на родючість ґрунту, контролюючи надходження та доступність поживних речовин шляхом секвестрації й стабілізації органічної речовини ґрунту. При цьому вони контролюють фізичні властивості ґрунту через утворення мікроагрегатів, впливаючи на кислотність ґрунту та контролюючи популяцію і активність ґрунтових мікроорганізмів [11].

Для пришвидшення процесів відновлення кар'єрів рекомендовано використовувати сапонітову глину як джерело комплексу мінералів і елементів, які можуть покращити водно-фізичні властивості збідненого субстрату [12], підвищити ефективність фітомеліорації та знизити показник фітотоксичності.

Мета дослідження. Метою дослідження є визначення впливу сапонітової глини на ступінь фітотоксичності піщаних субстратів кар'єрно-відвальних комплексів гірничо-промислових ландшафтів Центрального Поділля.

Матеріали та методика. Під час дослідження, було застосовано загальнонаукові (аналіз, синтез), лабораторні, фізіологічні, польові методи дослідження. Зразки для проведення дослідження відбирались з території Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу (кар'єр А) та Барсуківського кар'єрно-відвального комплексу (кар'єр Б). Як контрольний зразок було обрано пробу ґрунту біля непорушеної території як приклад еталонних природних показників водно-фізичних властивостей, характерних для ґрунтів Центрального Поділля. Для визначення впливу сапоніту на водно-фізичні властивості піщаних субстратів використовували сапоніт із Ташківського родовища фракцією 0,1 мм, який вносили до зразків піщаних субстратів в дозуванні 10%; 20%; 30%; 40%; 50%. Для біологічної діагностики досліджуваних субстратів проводилось біотестування. Біотестування ґрунтів та піщано-сапонітових сумішей проводили на схожість насіння крес-салату, яке відрізняється швидким ростом, холодостійкістю і майже стовідсотковим проростанням. Дослід проводили за двома паралельними зразками, на поверхню укладались по 100 насінин крес-салату, присипались та зволожувались однаковою кількістю води.

Як тест-відгук використовували схожість насіння, довжину і масу наземної та підземної частини проростків тест-об'єктів. Субстрат вважатиметься фітотоксичним, якщо величина тест-функції в досліді вірогідно нижче такої у контрольному зразку. Субстрати, які тестуються, мають стимулюючі властивості, якщо величина тест-функції в досліді вірогідно вище такої у контрольному зразку. Токсичність ґрунту визначали за шкалою токсичності ґрунтів Кабірова.

Виклад основного матеріалу. Результати визначення фітотоксичності зонального ґрунту, чистого субстрату Андрійковецького (А) кар'єрно-відвального комплексу та піщано-сапонітових сумішей за усередненими значеннями наведено в табл. 1.

Відповідно до результатів проведеного біотестування, значення, отримані в зразках з піщано-сапонітовими сумішами були значно менші ніж у контролі.

Таблиця 1

 Результати біотестування піщано-сапонітових субстратів
 Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу

№	Стебло		Корінь	
	Середня довжина, см	Середня маса, г	Середня довжина, см	Середня маса, г
Контроль	5,8	0,025	7,52	0,0075
А (чистий)	2,46	0,010	2,89	0,060
А+10	2,14	0,015	3,62	0,004
А+20	2,49	0,015	3,79	0,005
А+30	3,51	0,025	4,42	0,006
А+40	4,07	0,020	4,64	0,007
А+50	4,15	0,025	4,70	0,007
НІР	0,02	0,001	0,02	0,001

Проростання тест-об'єктів відбулось на третю добу дослідження, в зразках з дозуванням 50% сапонітової глини проростання відбулось на четверту добу. Крайні результати вимірів маси та довжини підземної та надземної частини тест-об'єктів фіксувались при додаванні сапонітової глини в дозуванні від 30% до 50%. Значення чистого субстрату та піщано-сапонітової суміші з дозуванням сапоніту в 10% мали найгірші показники. Навіть за додавання 50% сапонітової глини не вдалось наблизитись до значень зонального ґрунту, особливо відрізняється середня довжина підземної частини тест-об'єктів (у 1,6 раза менша ніж у контролі).

Результати визначення фітотоксичності зонального ґрунту, чистого субстрату Барсуківського (Б) кар'єрно-відвального комплексу та піщано-сапонітових сумішей за усередненими значеннями наведено в табл. 2.

Результати досліджень показали, що проростання насіння крес-салату у зразках із додаванням сапонітової глини почалось на третю добу. Найгірші показники проростання та розвитку біомаси фіксувались у чистому субстраті та в піщано-сапонітових сумішах із дозуванням сапонітової глини 10% та 20%.

Результати біотестування піщано-сапонітових субстратів
Барсуківського кар'єрно-відвального комплексу

№	Стебло		Корінь	
	Середня довжина, см	Середня маса, г	Середня довжина, см	Середня маса, г
Контроль	5,8	0,025	7,52	0,0075
Б	2,40	0,005	2,80	0,003
Б+10	2,56	0,006	2,85	0,004
Б+20	2,86	0,01	4,10	0,004
Б+30	3,13	0,02	4,19	0,007
Б+40	4,09	0,02	5,68	0,008
Б+50	5,10	0,02	6,03	0,008
НІР	0,02	0,001	0,02	0,001

На п'яту добу спостереження, різниця у кількості пророслих рослин субстратів та піщано-сапонітових сумішей Андрійковецького та Барсуківського кар'єрно-відвальних комплексів стала помітніша: довжина стебел тест-об'єктів на зразках Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу була більша. На восьму добу дослідження проростки крес-салату одного з зразків чистого піщаного субстрату Барсуківського кар'єрно-відвального комплексу почав в'янути.

Кращі результати вимірів маси та довжини підземної і надземної частини тест-об'єктів фіксувались при додаванні сапонітової глини в дозуванні від 30% до 50%. За додавання 50% сапонітової глини, значення маси та довжини підземної і надземної частин тест-об'єктів були наближені до значень зонального ґрунту (значення в 1,2 раза менші ніж у контролі).

Усереднені значення схожості насіння Андрійковецького (А) кар'єрно-відвального комплексу та Барсуківського (Б) кар'єрно-відвального комплексу наведено на рис. 1.

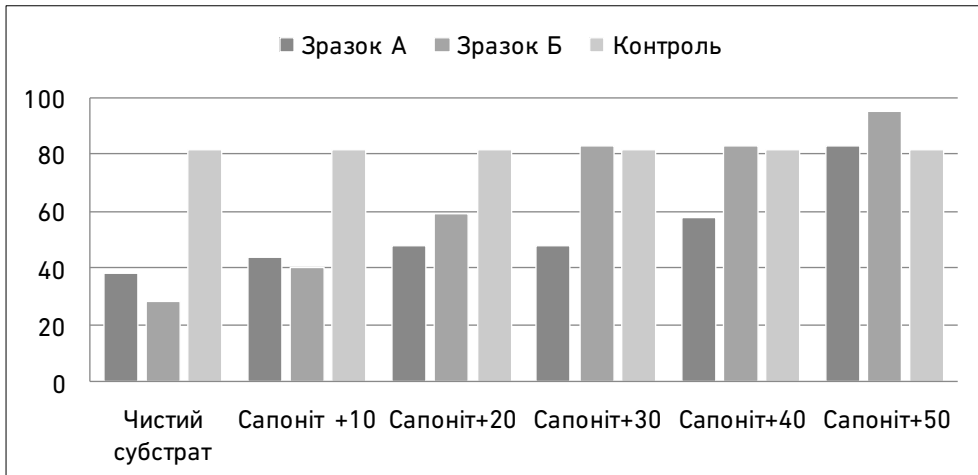


Рис. 1. Середнє значення схожості насіння (шт.)

Аналіз схожості насіння тест-об'єктів та фіксація середнього значення зразків відбувалось на десяту добу дослідження. Найгірші показники схожості зафіксовані у чистих субстратах обох кар'єрів (38 тест-об'єктів Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу та 28 тест-об'єктів Барсуківського кар'єрно-відвального комплексу). Встановлено, що у зразках субстрату з додаванням сапонітової глини від 30% показник схожості насіння наближається до показників контролю. При додаванні 30% глини в субстрат Барсуківського кар'єрно-відвального комплексу та 50% сапоніту в субстрат Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу значення схожості насіння перевищувало значення природного зонального ґрунту. Таким чином, внесення сапоніту у кількості від 30% є найбільш оптимальним, за якого покращується показник схожості насіння у тест-об'єктах.

Результат визначення відсотку інгібування тест-об'єктів наведено на рис. 2.

Відсоток інгібування вказує на придатність субстратів для росту та розвитку рослин. Відповідно до результатів, відсоток інгібування чистих піщаних субстратів обох кар'єрів є високим (субстрат Барсуківського кар'єрно-відвального комплексу має вищий відсоток інгібування, ніж субстрат Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу у 1,2 раза). Після додавання 30% сапоніту у субстрат Барсуківського кар'єрно-відвального комплексу, відсоток інгібування знизився до нуля.

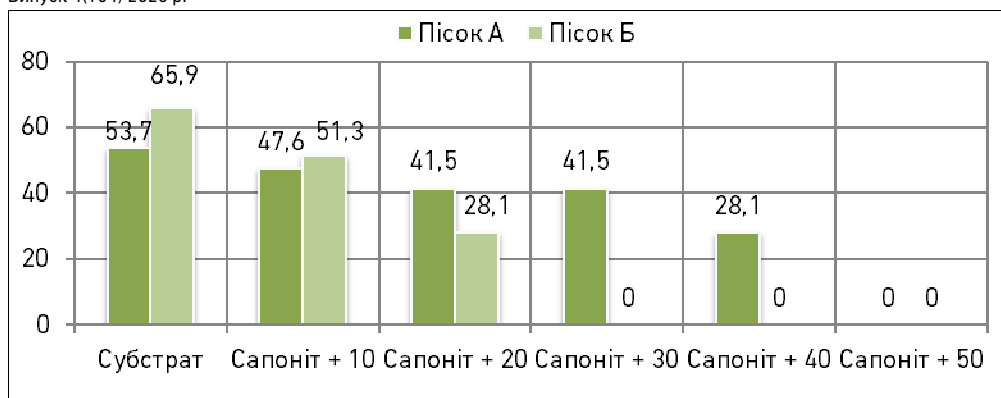


Рис. 2. Відсоток інгібування тест-об'єктів (у %)

Відсоток інгібування субстрату Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу наблизився до нульової позначки після додавання 50% сапоніту, до цього мав стабільну тенденцію до зниження даного показника, як і субстрат Барсуківського кар'єрно-відвального комплексу.

Середнє значення індексу токсичності субстратів Андрійковецького і Барсуківського кар'єрно-відвальних комплексів та піщано-сапонітових сумішей з відповідними дозами сапонітової глини наведено на рис. 3.

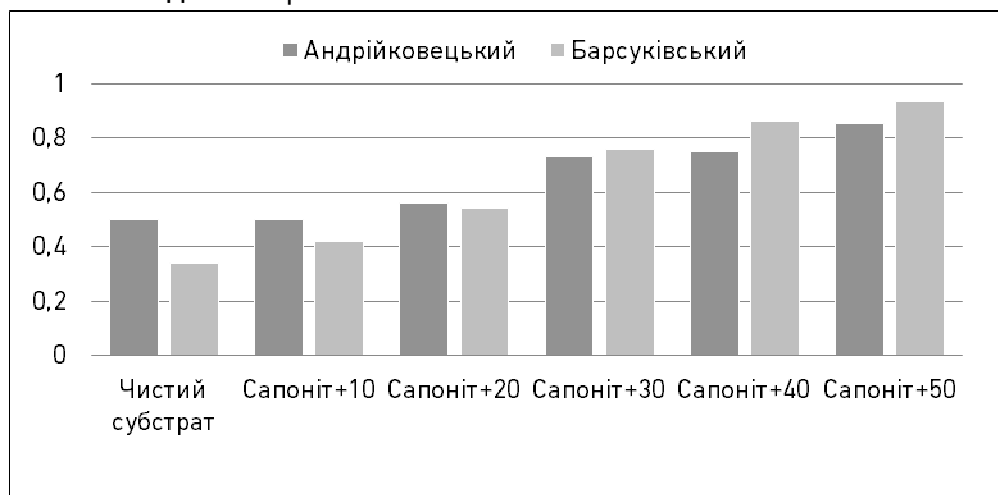


Рис. 3. Зміна індексу токсичності субстратів кар'єрно-відвальних комплексів

Згідно з отриманими даними, піщаний субстрат з Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу з показником 0,5 належить до III класу токсичності, після додавання сапонітової глини у кількості 30% цей показник значно покращився, при додаванні 50% – мав значення, що відповідає IV класу токсичності.

Піщаний субстрат Барсуківського кар'єрно-відвального комплексу мав значно гірший показник токсичності та відповідав II класу токсичності, що достатньо близько до значень непридатного середовища. Проте з додаванням 30% сапонітової глини показник покращився до рівня IV класу токсичності, а при додаванні 50% сапоніту – значення відповідає V класу токсичності, що визначає отриману величину на рівні контролю.

Висновки. Результати проведеного біотестування підтверджують, що сапонітова глина впливає на показник фітотоксичності досліджуваних субстратів: в межах десятиденного експерименту було зафіксовано різницю в кількості пророслих особин і у вимірах маси та довжини підземної та надземної частини тест-об'єктів (крес-салату). Кращі результати фіксувались при додаванні до чистого піщаного субстрату обох кар'єрів сапонітової глини в дозуванні від 30% до 50%, найгірші – у чистого субстрату та при додаванні сапонітової глини у дозуванні в 10%. Встановлено покращення схожості насіння порівняно з чистим субстратом, а індекс токсичності піщаного субстрату Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу з III класу токсичності змінився на IV, індекс токсичності піщаного субстрату Барсуківського кар'єрно-відвального комплексу з II класу токсичності після внесення сапоніту відповідає V класу токсичності.

1. Демидов А. А., Кобец А. С., Грицан Ю. И., Жуков А. В. Пространственная агроэкология и рекультивация земель : монография. Днепропетровск : «Свидлер А. Л.», 2013. 560 с.
2. Зінченко О. І. Кормовиробництво : навчальне видання. 2-е вид., доп. і перероб. К. : Вища освіта, 2005. 448 с.
3. Медведев В. В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков : Издательство «Типография 13», 2008. 406 с.
4. Сивий М., Паранько І., Іванов Є. Географія мінеральних ресурсів України : монографія. Львів : Простір М. 2013. 684 с.
5. Симочко Л. Ю., Симочко В. В., Дем'янюк О. С. Біоіндикація і біотестування ґрунтів – сучасні методичні підходи. *Науковий Вісник Ужгородського університету. Сер. Біологія*. 2017. Вип. 42. С. 77–81.
6. Carabassa V., Domene X.,

Дназ E. and Alcaciz J. M. Mid-term effects on ecosystem services of quarry restoration with Technosols under Mediterranean conditions: 10-year impacts on soil organic carbon and vegetation development. *Restoration Ecology*. 2020. Vol. 28.4. P. 960–970. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13072>.

7. Hidayat C., Setiati Y. and Gustini P. Growth and yield of chili on post-mine sandpits treated by Arbuscular Micorhizal fungi and organic matter. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* : 3rd Annual Applied Science and Engineering Conference (Bandung, Indonesia, 18 April 2018). Bristol : IOP Publishing Ltd, 2018. Vol. 434. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/434/1/012110>. (дата звернення: 20.10.2023).

8. Ohsowski B. M., Dunfield K., Klironomos J. N., Hart M. M. Plant response to biochar, compost, and mycorrhizal fungal amendments in post-mine sandpits. *Restoration Ecology*. 2017. Vol. 26(1). P. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.12528>

9. Ohsowski B. M. Restoring grasslands in southern Ontario sandpits: Plant and soil food web responses to arbuscular mycorrhizal fungal inoculum, biochar, and municipal compost (Doctoral dissertation, University of British Columbia). 2015. 273 p. DOI 10.14288/1.0074440.

10. Аналіз видів сапропелю для рекультивациі деградованих земель України / Коніщук В. В. та ін. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 1. С. 83–91. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2015.272189>

11. Kome G. K., Enang R. K., Tabi F. O. and Yerima B. P. K. Influence of clay minerals on some soil fertility attributes: a review. *Open Journal of Soil Science*. 2019. Vol. 9(9). P. 155–188. DOI: 10.4236/ojss.2019.99010

12. Мудрак О. В., Магдйчук А. П. Водно-фізичні властивості ґрунту як чинник формування фітоценотичного покриву девастрованих земель. *Збалансоване природокористування*. 2021. № 4. С. 93–99. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253092>.

REFERENCES:

1. Demydov A. A., Kobets A. S., Hrytsan Yu. Y., Zhukov A. V. Prostranstvennaia ahroekologhiya y rekultyvatsiya zemel : monohrafiia. Dnepropetrovsk : «Svydler A. L.», 2013. 560 s.

2. Zinchenko O. I. Kormovyrobnytstvo : navchalne vydannia. 2-e vyd., dop. i pererob. K. : Vyshcha osvita, 2005. 448 s.

3. Medvedev V. V. Struktura pochvy (metody, henezys, klasyfykatsiya, evoliutsiya, heohrafiya, monytorynh, okhrana). Xarkov : lzdatelstvo «Typohrafiya 13», 2008. 406 s.

4. Syvyi M., Paranko I., Ivanov Ye. Heohrafiia mineralnykh resursiv Ukrainy : monohrafiia. Lviv : Prostir M. 2013. 684 s.

5. Symochko L. Yu., Symochko V. V., Demianiuk O. S. Bioindykatsiia i biotestuvannia gruntiv – suchasni metodychni pidkhody. *Naukovyi Visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Ser. Biolohiia*. 2017. Vyp. 42. S. 77–81.

6. Carabassa V., Domene X., Дназ E. and Alcaciz J. M. Mid-term effects on ecosystem services of quarry restoration with Technosols

under Mediterranean conditions: 10-year impacts on soil organic carbon and vegetation development. *Restoration Ecology*. 2020. Vol. 28.4. P. 960–970. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13072>. 7. Hidayat C., Setiati Y. and Gustini P. Growth and yield of chili on post-mine sandpits treated by Arbuscular Micorrhizal fungi and organic matter. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* : 3rd Annual Applied Science and Engineering Conference (Bandung, Indonesia, 18 April 2018). Bristol : IOP Publishing Ltd, 2018. Vol. 434. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/434/1/012110>. (data zvernennia: 20.10.2023). 8. Ohsowski B. M., Dunfield K., Klironomos J. N., Hart M. M. Plant response to biochar, compost, and mycorrhizal fungal amendments in post-mine sandpits. *Restoration Ecology*. 2017. Vol. 26(1). P. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.12528>. 9. Ohsowski B. M. Restoring grasslands in southern Ontario sandpits: Plant and soil food web responses to arbuscular mycorrhizal fungal inoculum, biochar, and municipal compost (Doctoral dissertation, University of British Columbia). 2015. 273 p. DOI 10.14288/1.0074440. 10. Konishchuk V. V. ta in. Analiz vydiv sapropeliu dlia rekultyvatsii dehradovanykh zemel Ukrainy. *Ahroekolohichniy zhurnal*. 2015. № 1. S. 83–91. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2015.272189>. 11. Kome G. K., Enang R. K., Tabi F. O. and Yerima B. P. K. Influence of clay minerals on some soil fertility attributes: a review. *Open Journal of Soil Science*. 2019. Vol. 9(9). P. 155–188. DOI: 10.4236/ojss.2019.99010. 12. Mudrak O. V., Mahdiichuk A. P. Vodno-fizychni vlastyvoli gruntu yak chynnyk formuvannia fitotsenotychnoho pokryvu devastovanykh zemel. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*. 2021. № 4. S. 93–99. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253092>.

Mudrak O. V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (Vinnytsia Academy of Continuing Education, Vinnytsia), **Mahdiichuk A. P., Research Fellow** (Institute of Agroecology and Nature Management NAAS, Kyiv), **Mudrak H. V., Candidate of Geographical Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia)

PHYTOTOXICITY CHANGE OF THE SUBSTRATES OF SAND QUARRY AND DUMP COMPLEXES OF THE CENTRAL PODILLIA UNDER THE INFLUENCE OF POTENTIALLY-FERTILE ROCK

A significant number of mineral developments are located within the study region – Central Podillia, including a deposits from open-pit sand mining. An important ecological aspect after the

completion of mineral extraction is the carrying out of mining-technical and biological reclamation of the formed mining-industrial landscapes and return these lands to balanced nature management.

In the study of phytotoxicity of sand substrates, samples were taken from the Andriykovetskyi s and Barsukiv quarry and dump complexes. As a control sample, a soil sample near an undisturbed territory was chosen as an example of reference natural indicators of water-physical properties for typical soils of the Central Podillia zone. The study used saponite clay from the Tashkiv deposit with a saponite fraction of 0.1 mm, which was added to samples of sandy substrates in a 10%; 20%; 30%; 40%; 50% dosage. Biotesting was carried out for the biological diagnosis of the investigated substrates.

The substrate will be considered phytotoxic if the value of the test function in the experiment is probably lower than that in the control sample. The substrates that being tested have stimulating properties if the value of the test function in the experiment is higher than that in the control sample. Soil toxicity was determined according to the Kabirov soil toxicity scale.

According to the results of the research, a positive effect of saponite clay on the indicator of phytotoxicity of substrates of degraded lands in the processes of reclamation and phytomelioration was revealed, which opens a promising way for further research on the effect of saponite on sandy substrates of quarry and dump complexes in the natural conditions of the Central Podillya.

It was established, that when saponite clay was added to the sand substrate, the toxicity index of the sand substrate of the Andriykovets quarry-dump complex changed from the III toxicity class to IV, the toxicity index of the sand substrate of the Barsukiv quarry-dump complex from the II toxicity class after the addition of saponite corresponds to the V toxicity class.

Keywords: quarries; reclamation; saponite clay; biotesting; toxicity index.