УДК 574.42:631.618:502.52 DOI: 10.33730/2310-4678.2.2024.309926

ПОКРАЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОРУШЕНИХ СУБСТРАТІВ ШЛЯХОМ ВНЕСЕННЯ САПОНІТОВИХ ГЛИН

О.С. Дем'янюк
доктор сільськогосподарських наук, професор,
член-кореспондент НААН
Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: demolena@ukr.net;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4134-9853

А.П. Магдійчук
доктор філософії в галузі екології
Інститут агроекології і природокористування НААН (Київ, Україна)
e-mail: mahdiichuk@gmail.com;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6719-2148

У запропонованій статті визначено вплив на елементну складову піщаних субстратів на прикладі Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу та Барсуківського піщаного кар'єру, які локалізовані в Центральному Поділлі в умовах Правобережного Лісостепу. Зазначено, що використання сапоніту в якості меліоранту — це економічно ощадний метод рекультивації, який дозволяє знизити навантаження на навколишнє середовище, спричинене видобуванням корисних копалин, забрудненням території важкими металами, веденням бойових дій тощо. Для оцінки якісного складу неорганічної і органічної складових піщано-сапонітових сумішей та визначення сапонітової глини як потенційно родючого матеріалу використовували загальнонаукові (аналіз), статистичні (статистичний аналіз) та лабораторні методи (спектральний аналіз за допомогою ІЧ-спектрофотометра Фур'є). Для проведення дослідження було відібрано усереднену пробу піску з Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу та з Барсуківського піщаного кар'єру. Для порівняння було відібрано пробу зонального ґрунту з непорушених територій. Для піщано-сапонітових сумішей використовувався сапоніт із Ташківського родовища фракцією 0,1 мм, співвідношення піщаного субстрату до сапоніту складає 70% до 30%. За результатами дослідження визначено, що сапоніт позитивно впливає на склад піщано-сапонітової суміші в частині забезпечення рослин елементами живлення, таких як макро- і мікроелементи (Mg, K, Na, Cu, Zn, Ca). Це підтверджує позитивний вплив сапоніту на ріст рослин, що був отриманий нами в дослідах із біотестування, і пояснюється тим, що елементи піщано-сапонітового субстрату є доступними для рослин унаслідок їх переходу в субстратний розчин. При внесенні сапоніту до субстрату піщаних кар'єрів збільшується і вміст органічних речовин, що пришвидшує процеси гуміфікації та утворення ґрунтових агрегатів. Зроблено висновок, що в субстраті Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу розпочалися процеси ґрунтоутворення, оскільки склад органіки тут є більшим.

Ключові слова: *органічна складова ґрунту, неорганічна складова ґрунту, видобування корисних копалин, піщані кар'єри, рекультивація.*

ВСТУП

Глинисті мінерали через свої фізичні і хімічні властивості впливають на родючість ґрунту, контролюючи надходження та доступність поживних речовин шляхом секвестрації й стабілізації органічної речовини ґрунту (зокрема, більшість елементів, які необхідні для росту і розвитку рослин, надходять з ґрунтового розчину). При цьому вони контролюють фізичні властивості ґрунту через утворення мікроагрегатів, впливаючи на кислотність ґрунту та контролюючи популяцію і активність ґрунтових мікроорганізмів [1].

Для пришвидшення процесів відновлення кар'єрів рекомендовано використовувати сапонітову глину як джерело комплексу мінералів і елементів, які можуть не лише покращити водно-фізичні властивості збідненого субстрату, але й підвищити ефективність фітомеліорації.

Назва "сапоніт" походить від латинського sapo, saponis — мило або мильний камінь, його було винайдено ще у 1840 р. L.F. Svanbergom. Сапонітова глина є мінералом із високим вмістом Mg. Окрім того, значна частка вмісту елементів припадає на Fe, Si, Ca, Al; присутня

і незначна частка Ti. Решту елементного складу представляють елементи V, Cr, Mn, Cu, Zn, Sr, Zr тощо [2].

Родовища сапоніту локалізовані в різних країнах світу, зокрема в Японії, Туреччині, Великобританії, Іспанії та Чехії. Відомі відкриті родовища сапонітових глин на Фарерських островах (в Данії), штаті Монтана (США), біля озера Верхнє (Канада), а також в Україні — Ташківське та Варварівське родовища, розвідані в Шепетівській територіальній громаді Хмельницької області [2; 3].

Напрями використання сапонітової глини різноманітні та залежать від місця видобування, фізико-хімічних і структурних властивостей. Тому **метою нашого дослідження** є оцінка можливості використання сапонітової глини як потенційно родючого матеріалу для покращення якісного складу неорганічної і органічної складових піщаних субстратів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Сапоніт і його композити широко застосовуються в багатьох сферах господарства: у відновленні земельних ресурсів, виготовленні кормів для тварин, виробництві засобів захисту рослин, аерозолів, виноробстві, консервації кормів тощо. За результатом проведеного аналізу літературних джерел можемо виділити основні напрями використання сапоніту, а саме:

- у сільському господарстві: як добрива, мінеральна підгодівля, консервація кормів, збільшення термінів збереження коренеплодів, консервація вологого зерна, покращення родючості та детоксикації антропогенних і радіаційно забруднених ґрунтів тощо;
- сапоніт у перспективі може використовуватися для вилучення радіонуклідів і солей важких металів з організмів тварин і людей, як сировина для виробництва біологічно активних добавок та адсорбентів [2; 4; 5];
- сапоніт може застосовуватись у промисловості, гідроенергетичному й шахтному будівництві та виробництві, при виготовленні таких матеріалів, як клей, герметики, каталізатори;
- використання як технічного сорбенту: цілеспрямована модифікація порівняно недорогих глинистих мінералів є перспективним і актуальним напрямом для водоочищення та каталізу [3; 6];
- активований сапоніт є ефективним адсорбентом для неорганічних аніонів, фармацевтичних препаратів, гербіцидів і проявляє бактерицидні властивості [4; 7].
- сапонітовий гранулят використовують при очистці вуглеводневих сумішей [8];
- сапоніт як природний мінерал не містить додаткових домішок, забруднювачів, проявляє хорошу фільтраційну та адсорбційну здатність, тому може використовуватися для підвищення ефективності рекультивації в якості меліоративного матеріалу та є потенційним матеріалом для покращення структури й елементного складу збіднених субстратів за рахунок хімічного складу та можливості утримувати вологу [1; 9];
- використання сорбційних властивостей сапоніту є перспективним економічно ощадним методом для використання в рекультивації забруднених територій унаслідок ведення бойових дій [10].

У поєднанні з методами фіторемедіації, з використанням сапонітових глин здійснюватиметься покращення показників субстратів порушених земель та очищення від забруднень шляхом зв'язування рухомих форм важких металів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для проведення дослідження було відібрано усереднену пробу піску з Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу (проба А), експлуатація якого була припинена, та з Барсуківського піщаного кар'єру (проба Б), експлуатація якого продовжується. Для порівняння з еталонними значеннями було відібрано пробу зонального ґрунту з непорушених територій.

Для дослідження застосовувався сапоніт Ташківського родовища з фракцією 0,1 мм.

Для оцінки якісного складу неорганічної та органічної складових піщано-сапонітових сумішей і визначення сапонітової глини як потенційно родючого матеріалу (за доступністю неорганічної та органічної складової для рослин, тобто переходом необхідних сполук у розчин) використовували співвідношення піску й сапоніту, яке, за даними попередніх досліджень (водно-фізичні і токсикологічні властивості), показало найкращі результати і є економічно доцільним, а саме 70% піщаного субстрату та 30% сапоніту [11; 12].

Для аналізу зразків зонального ґрунту та піщано-сапонітових сумішей використовували спектрометричний метод із застосуванням ІЧ-спектрофотометра Фур'є. Для проведення досліджень застосовували два методи підготовки проб: твердий (із використанням KBr) та рідкий (ґрунтовий розчин).

Попередньо порошок KBr висушували впродовж 1 год при t від 150°C до 200°C. Маса KBr дорівнює 0,08 г, визначуваної речовини — 0,02 г, загальна маса таблетки становить 0,1 г. При формуванні таблетки з піщано-сапонітової

суміші (у визначеному співвідношенні 70:30) маса піску становила 0,014 г, а маса сапоніту — 0,006 г.

Підготовлену суміш вносили в прес-форму (рівномірно розподіливши в кюветі) та пресували під тиском 6 атм. впродовж 5 хв.

Перевагами цього методу є: відсутність більшості смуг поглинання; можливість контролю за концентрацією зразка; зручність у збереженні зразків.

Підготовка ґрунтового розчину проводилась із наважки зразку масою 10 г, що ретельно перемішували протягом 3 хв із 50 мл дистильованої води. Після цього суспензію фільтрували за допомогою фільтрувального паперу та відбирали для подальшого аналізу. Для забезпечення однакової товщини зразків слід виключати утворення повітряних бульбашок між пластинами. Спектри, отримані таким чином, не є придатними для визначення вмісту речовин, оскільки товщина поглинаючого шару невідома [13].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Відповідно до отриманих спектрів зі зразка твердого сапоніту в розчин переходять усі калієвмісні сполуки (K_2HPO_4, KH_2PO_4, K_2CO_3, KNO_3).

З наявних натрієвмісних сполук (Na_2HPO_4, $NaNO_3$, Na_3PO_4) у розчин переходять лише Na_2HPO_4 та $NaNO_3$. У водний розчин переходять і кальцієвмісні речовини ($Ca(NO_3)_2$), сполуки, що містять магній ($MgSO_4$), цинк ($ZnSO_4$), барій ($Ba(NO_3)_2$), купрум ($CuSO_4$) та силіцій (SiO_2).

Спектр твердої проби сапоніту наведено на *рис. 1.*

Спектр рідкої проби сапоніту наведено на *рис. 2.*

При якісному аналізі твердої фази сапоніту і ґрунту встановлено, що сапоніт за складом неорганічної частини практично співпадає зі складом зонального ґрунту (15 із 18 речовин). Також сапоніт містить додатково сполуки Fe, Al і Na.

Спектр твердої проби ґрунту наведено на *рис. 3.*

Дещо іншу закономірність спостерігали при якісному аналізі водних проб сапонітута ґрунту, а саме:усі сполуки, що перейшли в розчин сапоніту, наявні у водній пробі ґрунту. Це сполуки K, Na, Mg, Zn, Cu. Однак ґрунтовий розчин має більш широкий набір неорганічних сполук, зокрема тут присутні сполуки $Al(OH)_3$, Li_2CO_3, $Al(NO_3)_3$, $Fe(OH)_2$ та Na_2HPO_4.

Спектр рідкої проби ґрунту наведено на *рис. 4.*

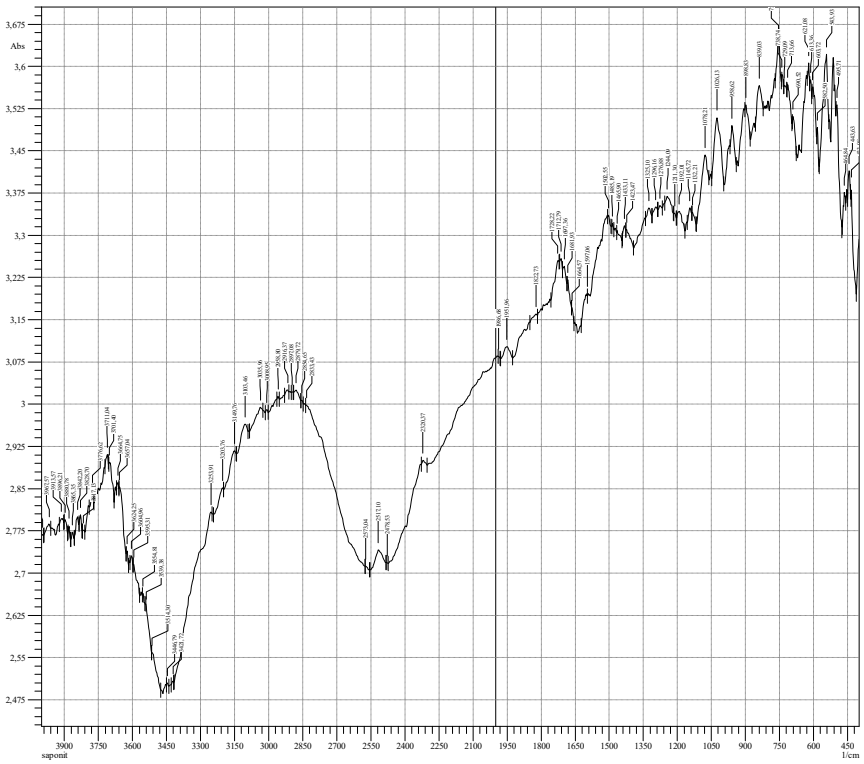

Рис. 1. Проба сапоніту (таблетка)

Джерело: розроблено на основі власних досліджень.

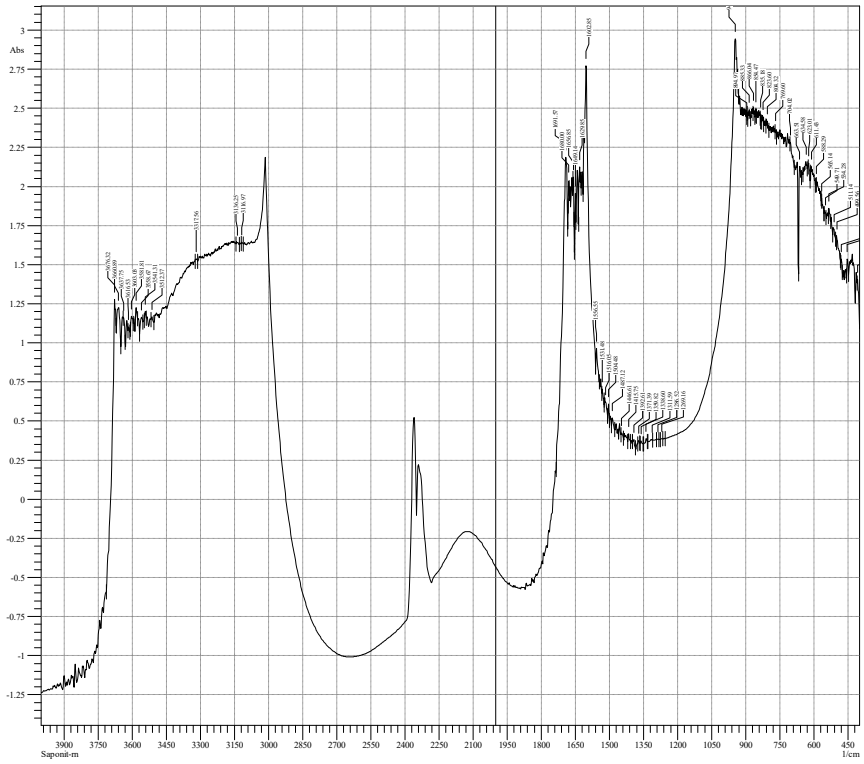

Рис. 2. Проба сапоніту (розчин)

Джерело: розроблено на основі власних досліджень.

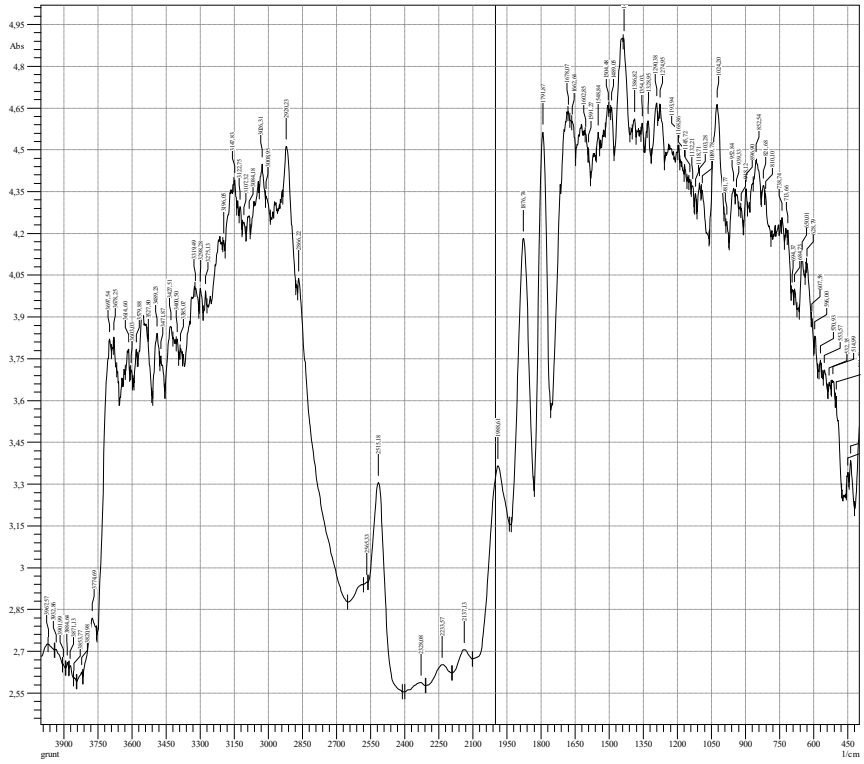

Рис. 3. Проба ґрунту (таблетка)

Джерело: розроблено на основі власних досліджень.

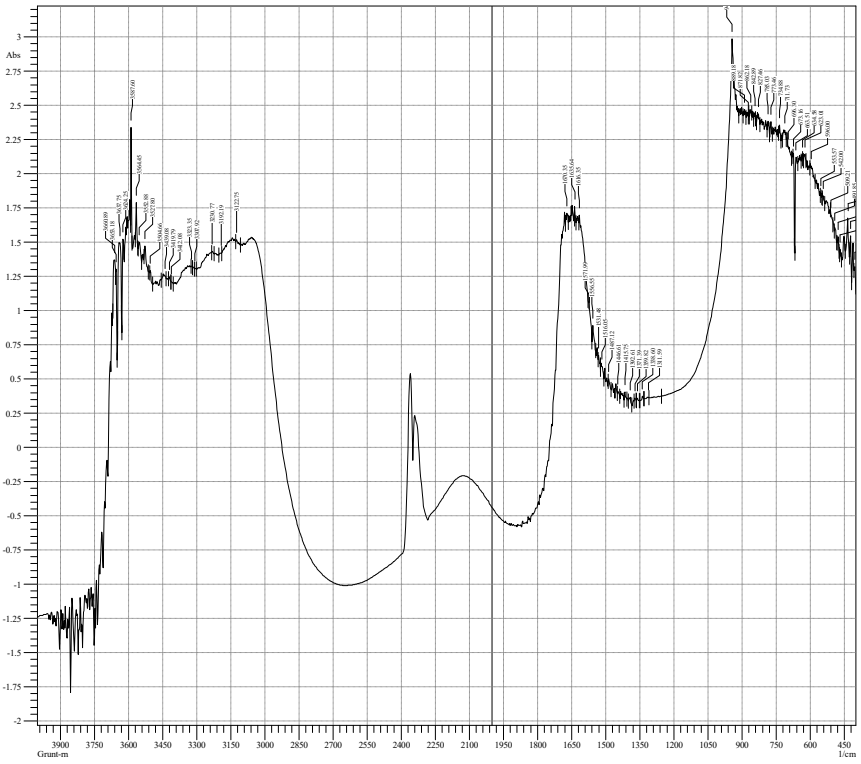

Рис. 4. Проба ґрунту (розчин)

Джерело: розроблено на основі власних досліджень.

Аналіз якісного складу таблеток сапоніту та піщано-сапонітових сумішей однозначно свідчить про присутність речовин, характерних для сапоніту. Поряд із цим наявні сполуки, що властиві піску. Таблетка з піщано-сапонітовою сумішшю А характеризується наявністю таких речовин, як $BaCO_3$, Li_2CO_3, $CaCO_3$ і $Mg_3(OH)_2$, що пояснюється особливостями піщаного субстрату Андрійковецького кар'єрно-відвального комплексу. Спектр твердої проби піщано-сапонітової суміші А наведено на *рис. 5*.

Дані якісного спектрометричного аналізу неорганічної складової зразків свідчать про позитивний вплив сапоніту на склад піщано-сапонітових сумішей у частині забезпечення рослин елементами живлення, такими як макро- і мікроелементи (Mg, K, Na, Cu, Zn, Ca). Це підтверджує позитивний вплив сапоніту на ріст рослин, що був отриманий нами в дослідах із біотестування [12], і пояснюється тим, що елементи піщано-сапонітового субстрату є доступними для рослин унаслідок їх переходу в субстратний розчин.

Органічна складова досліджуваних зразків має ширший спектр речовин, ніж неорганічна. Відомо, що родючість ґрунтів визначається наявністю комплексу гумінових кислот. У сапоніті, як у твердому, так і рідкому станах, ідентифіковано наявність гумінової кислоти аналогічно до твердого й водного зразків зонального ґрунту, що свідчить про підвищення родючості субстратів за внесення сапоніту. Важливим є те, що гумінова кислота із сапоніту переходить у розчин, і це створює передумови забезпечення рослин поживними елементами.

Згідно з отриманими даними спектрального аналізу, з таблетки сапоніту в розчин, окрім гумінової кислоти, переходять стеаринова кислота і її солі — стеарати (кальцій стеарат, натрій стеарат, магній стеарат, літій стеарат), олеамід, моно- і дисахариди (лактоза, цукроза, фруктоза, глюкоза), лауринова кислота та інші органічні речовини (ацетил целюлоза, етилен стеарамід, дипропіленгліколь, етил гептаноат, етил пропінат, діетилфталат).

Таблетки сапоніту та зонального ґрунту схожі за якісним складом органічної складової. Водночас якісний склад ґрунту відрізняється наявністю додаткових речовин, зокрема етилакрилату, терефталевої кислоти, крохмалю тощо. Аналогічно до цього, розчин зонального ґрунту має значно ширший спектр органічних речовин порівняно зі сполуками, які переходять у розчин із таблетки сапоніту.

Наявність у розчині ґрунту таких речовин, як бутил та диметилфталат, етил та бутил

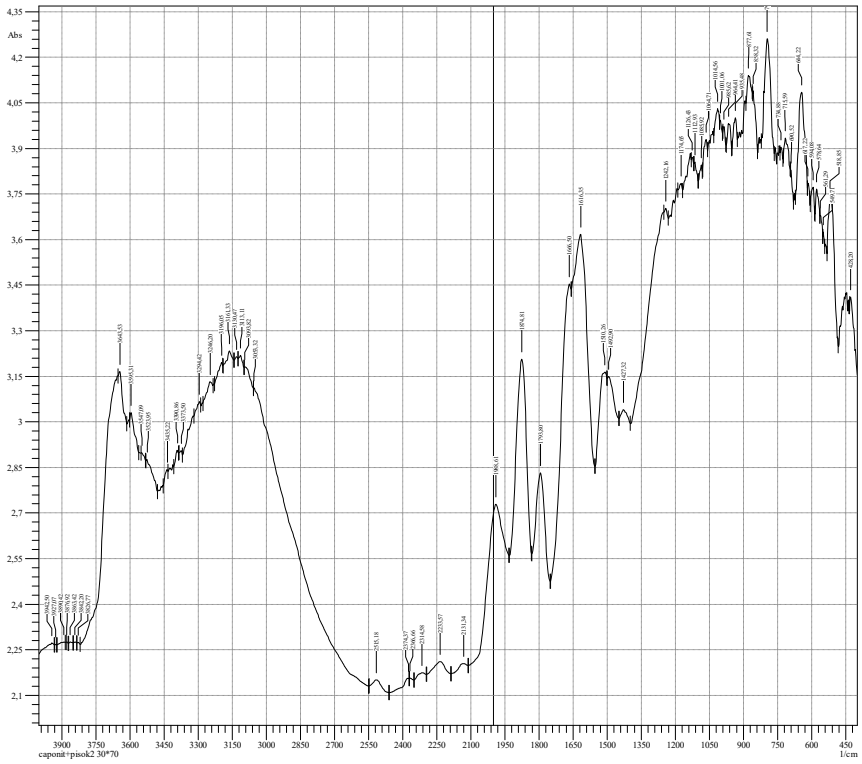

Рис. 5. Проба піщано-сапонітової суміші А (таблетка)

Джерело: розроблено на основі власних досліджень.

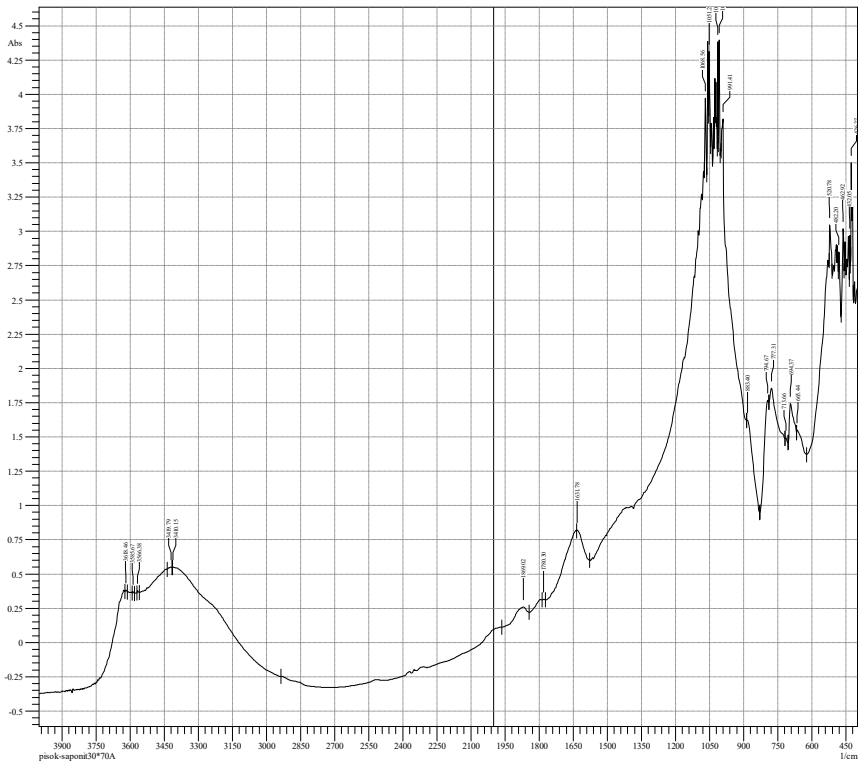

Рис. 6. Проба піщано-сапонітової суміші Б (таблетка)

Джерело: розроблено на основі власних досліджень.

акрилат, терефталева, фталева, пропіонова, адипінова та енантова кислоти, кальцій стеарат, ксиліт, крохмаль, цинк стеарат, метил метакрилат, свідчить про особливості зонального ґрунту.

Порівнюючи склад таблеток піщано-сапонітових суміші А та Б, можна зробити висновок про те, що в субстраті Андрійковецького кар'єру розпочалися процеси ґрунтоутворення, оскільки склад органіки тут є більшим.

Таблетка сапоніту та таблетка з піщано-сапонітовою сумішшю Б характеризуються більшою схожістю, оскільки органічна складова формується виключно за рахунок сапоніту, а внесок піщаного субстрату діючого кар'єру є мінімальним. Спектр твердої проби піщано-сапонітової суміші Б наведено на *рис. 6*.

ВИСНОВКИ

Внесення органічних речовин із сапонітом у піщані субстрати збільшує вміст органічних речовин і в такий спосіб може сприяти інтенсифікації процесів ґрунтоутворення, у т.ч. за рахунок активізації життєдіяльності рослин, мікроорганізмів і ґрунтової фауни.

Отже, відповідно до спектрального аналізу можна зробити висновок, що при внесенні сапоніту до субстрату піщаних кар'єрів збільшується вміст органічних речовин, що пришвидшує процеси гуміфікації та утворення ґрунтових агрегатів:

- гумінова кислота сприяє склеюванню ґрунтових часток;
- вуглеводні цукроза, фруктоза, глюкоза і лактоза створюють живильне середовище для рослин;
- стеарати і стеаринова кислота є основними мильними компонентами;
- лауринова кислота є каталізатором піноутворення, їх наявність у піщано-сапонітових сумішах свідчить про їх перехід саме із сапоніту.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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
2. Гулієва Н.М. Хімічний аналіз та фізичні властивості природного мінералу — сапоніту. *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. 2014. Вип. 44. С. 78–82.
3. Sokol H., Sprynskyy M., Ganzyuk A., Raks V., Buszewski B. Structural, Mineral and elemental composition features of iron-rich saponite clay from Tashkiv deposit (Ukraine). *Colloids and Interfaces*. 2019. Vol. 3 (1). DOI: https://doi.org/10.3390/colloids3010010
4. Yanushevska O.I. et.al. Surface and structural properties of clay materials based on natural saponite. *Clays and Clay Minerals*. 2020. Vol. 68. P. 465–475. DOI: 10.1007/s42860-020-00088-4
5. Pikhtirova A. et al. The Effect of Saponite Clay on Ruminal Fermentation Parameters during In Vitro Studies. *Animals*. 2024. Vol. 14 (5). P. 738. DOI: https://doi.org/10.3390/ani14050738
6. Ганзюк А.Я., Кулаков О.І. Дослідження фізичних властивостей сапонітів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2009. Вип. 1. С. 70–74.
7. Trach Yu. et. al. The Characterization of Ukrainian Volcanic Tuffs from the Khmelnytsky Region with the Theoretical Analysis of Their Application in Construction and Environmental Technologies. *Materials*. 2021. Vol. 14 (24). DOI: https://doi.org/10.3390/ma14247723
8. Ганзюк А., Масло Л. Дослідження експлуатаційних характеристик сапонітового грануляту. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2023. Том 1 (2). С. 70–80. DOI: 10.31891/2307-5732-2023-319-1-70-80
9. Магдійчук А.П., Мудрак О.В. Перспективи використання сапоніту для рекультивації девастованих ділянок в умовах Центрального Поділля. *Збалансоване природокористування: традиції, перспективи та інновації:* Міжнародна науково-практична конференція (м. Київ, 3 грудня 2019 р.). С. 81–83.
10. Мудрак О.В., Магдійчук А.П. Фіторемедіація ґрунтів як спосіб зниження концентрації важких металів в зоні проведення бойових дій. *Природа в окупації — 10 років російської військової агресії проти довкілля:* Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Хмельницький, 28–29 березня 2024 р.). К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2024. С. 142–144.
11. Мудрак О.В., Магдійчук А.П. Водно-фізичні властивості ґрунту як чинник формування фітоценотичного покриву девастованих земель. *Збалансоване природокористування*. 2021. Вип. 4. С. 93–99. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2021.253092
12. Мудрак О.В., Магдійчук А.П., Мудрак Г.В. Зміна фітотоксичності субстратів піщаних кар'єрно-відвальних комплексів Центрального Поділля під впливом потенційно-родючих порід. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія "Сільськогосподарські науки"*. 2023. Вип. 4. С.115–126.DOI: https://doi.org/10.31713/vs4202310
13. Griffiths P.R., de Haseth J.A.. Fourier Transform Infrared Spectrometry: Second Edition / Ed. by J.D. Winefordner. John Wiley & Sons. 2007. 560 p. DOI: 10.1002/047010631X

IMPROVEMENT OF ELEMENTARY COMPONENT OF DAMAGED SUBSTRATES BY SAPONITE CLAY INCLUSION

Demyanyuk O.
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAAS of Ukraine
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: demolena@ukr.net;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4134-9853

Mahdiichuk A.
Doctor of Philosophy in ecology
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: mahdiichuk@gmail.com;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6719-2148

In this proposed article, the impact on the elemental composition of sand substrates is determined using the example of the Andriykovetskyi quarry-dump complex and the Barsukivskyi sand pit, which are located in the Central Podillya region in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe. It was determined, that saponite clay contains a significant amount of macro- and micro- elements, and the directions of this use depend on the composition and origin of saponite: in agriculture, in industry, in construction, an application as a sorbent or as meliorant, etc. It is noted that the use of saponite as an ameliorant is an economical and cost-effective method of reclamation, which allows to reduce the burden on the environment caused by the extraction of minerals, pollution of the territory by heavy metals, the conduct of hostilities, etc. General scientific (analysis), statistical (statistical analysis) and laboratory methods (Fourier-transform spectroscopy) were used to assess the qualitative composition of inorganic and organic components of sand-saponite mixtures and to determine saponite clay as a potentially fertile material. To conduct the research, an averaged sample of sand was taken from the Andriykovetskyi quarry and dump complex and from the Barsukivskyi sand pit. For comparison with reference values, a zonal soil sample was taken from undisturbed areas. Saponite from the Tashkiv deposit with a fraction of 0.1 mm was used for sand-saponite mixtures, the ratio of sand substrate to saponite is 70% to 30%. According to the results of the study of the qualitative composition of the inorganic component, it was determined, that saponite has a positive effect on the composition of the sand-saponite mixture in terms of providing plants with nutrients, such as macro- and micro- elements (Mg, K, Na, Cu, Zn, Ca). This confirms the positive effect of saponite on plant growth, which was obtained by us in previous biotesting experiments, and is explained by the fact that the elements of the sand-saponite substrate are available to plants as a result of their transition into the substrate solution. Adding saponite to the substrate of sand pits also increases the content of organic substances, which accelerates the processes of humification and the formation of soil aggregates: humic acid contributes to the bonding of soil particles; carbohydrates sucrose, fructose, glucose and lactose create a nutrient environment for plants; stearates and stearic acid are the main soap components, lauric acid is a foaming catalyst, their presence in sand-saponite mixtures indicates their transition from saponite. When comparing the samples of sand-saponite mixtures of the Andriykovetskyi quarry-dump complex and the Barsukivskyi sand pit, it was concluded that the processes of soil formation began in the substrate of the Andriykovetskyi quarry-dump complex, since the composition of organic matter is greater here.

Keywords: *organic soil component, inorganic soil component, mining, sand quarries, reclamation.*

REFERENCES

1. Kome, G.K., Enang, R.K., Tabi, F.O., & Yerima, B.P.K. (2019). Influence of clay minerals on some soil fertility attributes: a review. *Open Journal of Soil Science, 9 (9)*, 155–188. DOI: 10.4236/ojss.2019.99010 [in English].
2. Huliieva, N.M. (2014). Khimichnyi analiz ta fizychni vlastyvosti pyrodnoho mineralu — saponitu [Chemical analysis and physical properties of natural material — saponite]. *Mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh prats "Naukovi notatky" — Interuniversity collection "Scientific Notes", 44*, 78–82 [in Ukrainian].
3. Sokol, H., Sprynskyy, M., Ganzyuk, A., Raks,V., & Buszewski, B. (2019). Structural, Mineral and elemental composition features of iron-rich saponite clay from Tashkiv deposit (Ukraine). *Colloids and Interfaces, 3 (1)*. DOI: https://doi.org/10.3390/colloids3010010 [in English].
4. Yanushevska, O.I., Dontsova, T.A., Aleksyk, A.I., Vlasenko, N.V., Didenko, O.Z., & Nypadymka, A.S. (2020). Surface and structural properties of clay materials based on natural saponite. Clays and Clay Minerals, 68 (5), 465–475. DOI: 10.1007/s42860-020-00088-4 [in English].
5. Pikhtirova, A., Pecka-Kiełb, E., Króliczewska, B., Zachwieja, A., Króliczewski, J., & Kupczyński, R. (2024). The Effect of Saponite Clay on Ruminal Fermentation Parameters during In Vitro Studies. *Animals, Vol. 14 (5)*, 738. DOI: https://doi.org/10.3390/ani14050738 [in English].
6. Hanziuk, A.Ya., & Kulakov, O.I. (2009). Doslidzhennia fizychnykh vlastyvostei saponitiv [Study of the

physical properties of saponites]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky — Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 1*, 70–74 [in Ukrainian].
7. Trach, Yu., Melnychuk, V., Michel, M.M, Reczek, L., Siwiec, T., & Trach R. (2021). The Characterization of Ukrainian Volcanic Tuffs from the Khmelnytsky Region with the Theoretical Analysis of Their Application in Construction and Environmental Technologies. *Materials, 14 (24).* URL: https://doi.org/10.3390/ma14247723 [in English].
8. Hanziuk, A., & Maslo, L. (2023). Doslidzhennia ekspluatatsiinykh kharakterystyk saponitovoho hranuliatu [The investigation of performance characteristics of saponite granulate]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky — Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences, 1 (2)*, 70–80. DOI: 10.31891/2307-5732-2023-319-1-70-80 [in Ukrainian].
9. Mahdiichuk, A., & Mudrak, O. (2019). Perspektyvy vykorystannia saponitu dlia rekultyvatsii devastovanykh dilianok v umovakh Tsentralnoho Podillia [Prospects for the use of saponite for reclamation of devastated areas in the conditions of the Central Podillia]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia: tradytsii, perspektyvy ta innovatsii: Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (Kyiv, 3 hrudnia 2019 r.) — Balanced nature management: traditions, perspectives and innovations: International scientific and practical conference* (p. 81–83). Kyiv: DIA [in Ukrainian].
10. Mudrak, O.V., & Mahdiichuk, A.P. (2024). Fitoremediatsiia gruntiv yak sposib znyzhennia kontsentratsii vazhkykh metaliv v zoni provedennia boiovykh dii. [Phytoremediation of soils as a way to reduce the concentration of heavy metals in the war zone]. *Pryroda v okupatsii — 10 rokiv rosiiskoi viiskovoi ahresii proty dovkillia: Materialy vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Khmelnytskyi, 28–29 bereznia 2024 r.). — Nature under occupation — 10 years of Russian military aggression against the environment: All-Ukrainian scientific and practical conference* (p. 142–144). Kyiv: Centre for Environmental Education and Information [in Ukrainian].
11. Mudrak, O.V., Mahdiichuk, A.P. (2021). Vodno-fizychni vlastyvosti gruntu yak chynnyk formuvannia fitotsenotychnoho pokryvu devastovanykh zemel [Water and physical properties of soil as a factor of phytocenotic cover formation of devastated lands]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia — Balanced nature management, 4*, 93–99. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253092.[in Ukrainian].
12. Mudrak, O.V., Mahdiichuk, A.P., & Mudrak, H.V (2023). Zmina fitotoksychnosti substrativ pishchanykh karierno-vidvalnykh kompleksiv Tsentralnoho Podillia pid vplyvom potentsiino-rodiuchykh porid [Phytotoxicity change of the substrates of sand quarry and dump complexes of the Central Podillia under the influence of potentially-fertille rock]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Seriia Silskohospodarski nauky — Bulletin National University of Water and Environmental Engineering. Agricultural sciences, 4*, 115–126. DOI: https://doi.org/10.31713/vs4202310 [in Ukrainian].
13. Griffiths, P.R., & de Haseth, J.A. (2007). Fourier Transform Infrared Spectrometry. DOI: 10.1002/047010631X [in English].

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Дем'янюк Олена Сергіївна, доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4134-9853)

Магдійчук Анна Петрівна, доктор філософії в галузі екології, науковий співробітник відділу охорони ландшафтів, збереження біорізноманіття і природозаповідання, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: mahdiichuk@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6719-2148)