

12. Schmidt O. Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use / O. Schmidt. – Berlin: Springer, 2006. – 334 p.

13. Yagüe S. Biotreatment of tannin-rich beer-factory wastewater with white-rot basidiomycete *Coriolopsis gallica* monitored by pyrolysis/gas chromatography/mass spectrometry / S. Yagüe, M.C. Terrón, T. González et al. // Rapid Commun Mass Spectrom. – 2000. – Vol. 14, N 10. – P. 905-910.

Поступила в редакцію 9 грудня 2015 р.

Рекомендовала до друку доктор технічних наук О.С. Волошкіна

УДК 66.021+66.048.3

*Яхненко О. М., Черниш Є. Ю.,
Пляцук Л. Д., Трунова І. О.
Сумський державний університет*

САМОЗАРОСТАННЯ ВІДВАЛУ ФОСФОГІПСУ ЯК ПОКАЗНИК РІВНЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ

У статті визначено основні закономірності протікання процесу рекультивациі відвалу фосфогіпсів та зміни при цьому техногенного навантаження на довкілля. Проведено аналіз складу і властивостей фосфогіпсових відходів різного часу складування та досліджено особливості виникнення сукцесійних змін в процесі самозаростання поверхні відвалів фосфогіпсу.

Ключові слова: відвал фосфогіпсу, сукцесійні зміни, техногенне навантаження, відхід

В статье определены основные закономерности протекания процесса рекультивации отвала фосфогипса и изменения при этом техногенной нагрузки на окружающую среду. Проведен анализ состава и свойств фосфогипсовых отходов разного времени складирования и исследованы особенности возникновения сукцессионных изменений в процессе самозарастания поверхности отвалов фосфогипса.

Ключевые слова: отвал фосфогипса, сукцессионные изменения, техногенная нагрузка, отход

The article focused on the basic mechanisms of the recultivation process of phosphogypsum dump and changing of the technogenic impact on the environment. The composition and properties of phosphogypsum waste were analyzed for different periods of the dumping. The features of successional changes during self-overgrowing of surface of phosphogypsum dumps were studied.

Keywords: phosphogypsum dump, successional change, technogenic impact, waste

Актуальність теми. Необхідність виробництва фосфоровмісних добрив є причиною виникнення багатотонажних відходів у вигляді фосфогіпсу. Розміщення виробництв мінеральних добрив часто відбувається в межах міст (в Україні – Суми, Рівне, Армянськ, Вінниця, Дніпродзержинськ), що обумовлює негативні екологічні наслідки як у результаті виробництва продукції, так і при утилізації або зберіганні відходів даних виробництв.

Утворення фосфогіпсу на 1 т P₂O₅ у фосфорній кислоті при дигідратному процесі коливається від 2 до 6 % в залежності від вмісту кальцію у фосфатній сировині, у випадку

напівгідратного процесу ця величина для апатитового концентрату дорівнює 3,7 %. При сірчаноокислому методі розкриття апатитового концентрату на 1 т H_3PO_4 залежно від сировини й прийнятої технології утворюється 4,3 – 5,8 т фосфогіпсу [2]. У країнах СНД у сучасний час у відвалах перебуває більш 40 млн. т фосфогіпса й щорічно утворюється до 10 млн. т цього відходу. Тому, враховуючи об'єми утворення фосфогіпсу, актуальною проблемою є не тільки розробка методів його утилізації, але і його видалення з території виробництва, транспортування й зберігання у відвалах.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. У сучасний час у світі існує два основних напрямки видалення фосфогіпсу: скидання в річки або моря й обладнання спеціальних відвалів на суші. В Україні, як і країнах СНД, фосфогіпс зберігається тільки у відвалах на суходолі. Транспортування фосфогіпсу у відвали і його зберігання в них не є економічно вигідним через великі капіталовкладення й експлуатаційні витрати. Так, до 10 % собівартості фосфорної кислоти припадає на витрати по його транспортуванню й зберіганню.

При виборі способу видалення й зберігання фосфогіпса у відвалах враховують конкретні умови: потужність виробництва, кількість утвореного фосфогіпсу; віддаленість цеху екстракції від місця складування фосфогіпсу; наявність територій під складування; рельєф території, що використовується під відвали; кліматичні умови; геологічні й гідрогеологічні умови на майданчику складування фосфогіпсу [1].

При сухому відборі фосфогіпс складається в спеціально обладнаних сховищах, максимально ізольованих від водних об'єктів. Відвали являють собою складні інженерні споруди, при обладнанні яких необхідним елементом є наявність спеціального рову навколо відвалу для збору стічних вод і дамби, що запобігає потраплянню цих вод у навколишнє середовище [5].

Одним зі способів пом'якшення негативного екологічного впливу відвалу на прилягаючі території є створення стійкого рослинного покриву на поверхні як старих законсервованих, так і діючих відвалів фосфогіпсу. Часто застосовується спосіб формування відвалу, що включає поярусне засипання поверхні відвалу розкритими породами по периметру ярусу, що відсипається, від центра до периферії [3].

Зберігання фосфогіпсу у відвалах, навіть при правильній експлуатації спорудження, несе екологічну небезпеку для навколишнього середовища (НС), бо в існуючих сучасних технологіях виробництва добрив недостатньо уваги приділяється очищенню сировини від токсичних елементів – домішок, тому у твердих відходах часто містяться фтор, рідкісноземельні метали, миш'як, стронцій, уран, важкі метали – кадмій, свинець, ванадій та ін.[4].

Негативний вплив експлуатації відвалів, і, насамперед, свіжої черги, може проявлятися в забрудненні підземних і поверхневих вод, ґрунтово-рослинного покриву речовинами, що просочуються через екран; у результаті їх випаровування та вимивання зі стінок відвалу атмосферними опадами, в потраплянні в атмосферу під дією вивітрювання й пиління. Відвал є джерелом гідродинамічного впливу на НС, викликаючи зміну рівня підземних вод, що може призводити до негативних явищ у прилеглій селитебній зоні; відбуваються відчуження й забруднення значних земельних ділянок, трансформація природного ландшафту. Відвали сухого фосфогіпсу є ерозійно-небезпечними через вміст у поверхневому шарі відвалу більш 70% часток діаметром менш 0,14 мм. Вологий фосфогіпс, особливо свіжеутворений, має низький рН і проявляє високу корозійну активність. Усі перераховані вище фактори можуть негативно позначатися на функціонуванні навколишніх екосистем, приводити до формування вогнища складної екологічної обстановки. Особливість таких геотехнічних систем з екологічної точки зору полягає ще й у тому, що їх негативний вплив на природне середовище поширюється значно ширше їхніх фактичних розмірів, тому постійний моніторинг прилеглих територій є невід'ємною частиною функціонування відвалу.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження біохімічних перетворень техногенного масиву фосфогіпсу в процесі самозаростання відвалу ПАТ «Сумхімпром» (с. Токарі, Сумська обл.).

Завдання дослідження: уточнити існуючі кордони діючого відвалу фосфогіпсових відходів; визначити елементний склад й значення рН зразків фосфогіпсів різного часу складування у відвалі; виявити основний видовий склад і домінуючих представників рослинних угруповань, що заселяють рекультивовані схили відвалу; визначити біохімічні перетворення, які відбуваються в процесі самозаростання відвалу; установити закономірності протікання сукцесій на територіях, що зазнають антропогенного навантаження від впливу відвалу фосфогіпсів.

Розробка методологічної основи дослідження біохімічних трансформацій фосфогіпсових відвалів. Використання польових методів дозволяє визначити будову фосфогіпсового відвалу, межі розташування зон поширення порід, висоту терас, площу відвала й оцінити параметри його просторового розміщення в природному ландшафті й можливі напрямки впливу на природні об'єкти й прилеглі селітебні території. Лабораторні методи орієнтовані на встановлення зміни властивостей фосфогіпсів як екстремального субстрату для розвитку біологічних об'єктів залежно від різних факторів, що визначають їх фізико-хімічні характеристики.

Методика відбору проб. Були визначені точки відбору проб на території відвалу та на прилягаючих територіях, що включають санітарно-захисну зону відвалу, і за її межами. Проби фосфогіпсів були взяті з різних сторін відвалу з кожного ярусу тераси, у такий спосіб зразки відрізнялися за періодом складування й глибині залягання. На рекультивованих схилах зразки фосфогіпсів брали під шаром попередньо розкритого ґрунту. Зразки ґрунтів були взяті навколо відвалу до відстані від відвалу в 200 м через рівні проміжки відстані в 50 м один від одного, а також по профілю ґрунту до ґрунтоутворюючої породи через кожні 10 см. Зразки проб після відбирання були висушені при ст. умовах (тиск 1 Бар = 105 Па = 750,06 мм рт. ст.; температура 298,15 К = 25 °С.), розтерті в порошок.

Методи дослідження. Елементний аналіз проб був проведений на рентгенофлуоресцентному аналізаторі Elvax на базі СумДУ. Точність визначення масових часток металів у сплавах 0,1 – 0,3 %. Межі виявлення домішок важких металів у легкій матриці не менше 10 ppm. Усі виміри були проведені на висушених при ст. умовах і розтертих порошкових зразках у кюветах об'ємом 30 см³ без особливої попередньої підготовки.

Вимір рН водних витяжок зразків фосфогіпсу й ґрунтів проводилося в лабораторних умовах за допомогою рХ-метра рХ-150 (іонометр) з електродом скляним комбінованим «ЕКС – 10603».

Опис об'єкту дослідження. Для Сумської області із усіх видів відходів за рахунок багатотонажності найгостріше стоїть питання зберігання та утилізації фосфогіпсу, який утворюється на ПАТ «Сумхімпром» у кількості близько 100 тис. т щорічно. У сучасний час нагромадилося понад 14 млн. т фосфогіпсу. Сировиною для виробництва фосфорних добрив є фосфоритовмісні руди Ca₃(PO₄)₂, до складу яких входять: P₂O₅ – 29,3 %; CaO – 47 %; F – 3,5 %; Fe₂O₃ та Al₂O₃ – 1 %; хлориди – до 1 %; Cd – до 12 мг/кг; Pb – до 20 мг/кг; As – до 10 мг/кг. Термічну переробку фосфорного концентрату проводять в електропечах при температурі 1300–1500°C за допомогою вуглецю (коксу) із введенням у шихту кремнезему як флюсу, у результаті чого утворюється фосфор, а в якості відходів – фосфогіпс безводний (сульфат кальцію: дигідрат Ca₂SO₄·2H₂O і напівгідрат Ca₂SO₄·0,5H₂O). Ці відходи являють собою біло-сірий дрібнокристалічний порошок вологістю 25 – 40 %, що здатний до комкування. Він може містити рештки непрореагованих фосфатів, сполуки фтору, стронцію, невідмиту фосфорну кислоту, органічні речовини, сполуки рідкісноземельних елементів, урану [4]. Також на ПАТ «Сумхімпром» у якості відходів при виробництві двоокису титану щорічно утворюється близько 112 тис. т залізного купоросу, частина якого (8,8 тис. т) повертається на

підприємство й використовується при виробництві пігментів і коагулянтів. Інша частина, що залишається, частково складається на території підприємства, а також захороняється в центральній частині тіла відвалу фосфогіпсу, тому що його утилізація економічно не вигідна.

Вперше фосфогіпсовий відвал ПАТ «Сумхімпром» був організований на місці природного яру Глибокий Яр глибиною близько 40 м. Площа відвалу становить 492 м², із санітарно-захисною зоною 637 м², периметр – близько 1900 м, більша частина відвального фосфогіпсу законсервована суглинистим субстратом і з західної сторони утворює 4 тераси, які добре проглядаються. З метою захисту від стоків поруч із відвалом з північно-західної сторони споруджена захисна водойма – акумулятор. Нова черга відходів утворює верхню фосфогіпсову платформу. На рис. 1 показаний знімок із супутника з нанесеними на нього позначеннями точок відбору проб і терас фосфогіпсового відвала, на рис. 2 – загальний вигляд рекультивованих терас відвала.

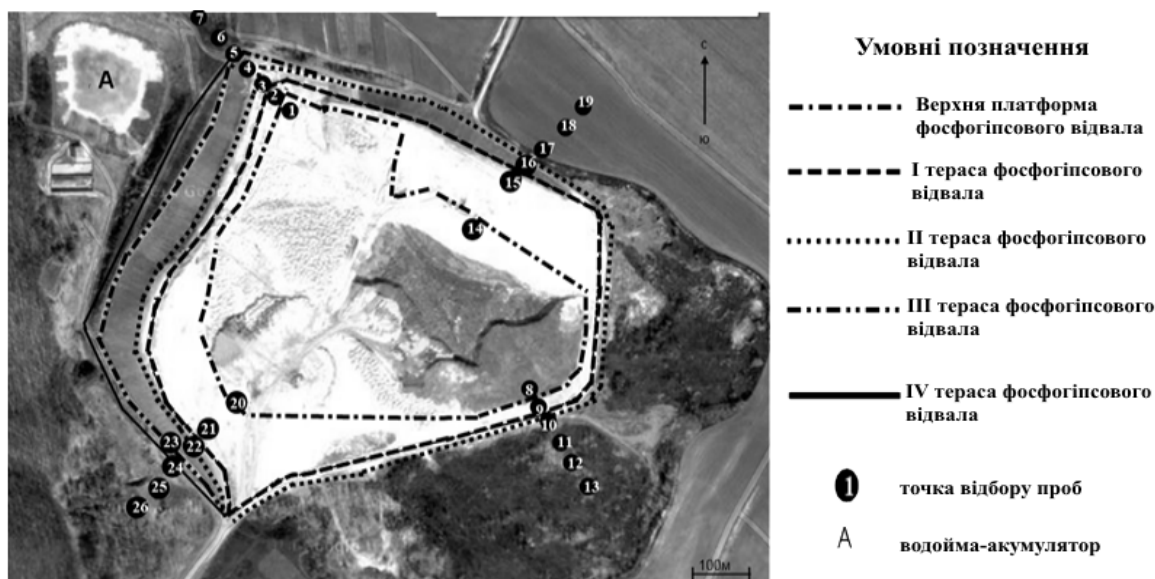


Рис. 1. Схема кордонів відвала фосфогіпсу із зазначенням кордону терас відвала й основних точок відбору проб фосфогіпсу і ґрунту



Рис. 2. Загальний вигляд північно-західної сторони діючого фосфогіпсового відвала ПАТ «Сумхімпром»

Кожна новостворена тераса рекультивується шаром суглинистого ґрунту потужністю близько 20 – 40 см. На верхню платформу законсервованої тераси укладають нову чергу відходів.

Результати дослідження біохімічних перетворень техногенного масиву фосфогіпсу. Встановлено, що для всіх зразків фосфогіпсу, не залежно від часу перебування у відвалі, характерна підвищена кислотність. Так, значення рН водної витяжки гідровилученого фосфогіпсу при температурі 24⁰С склали 2,3-2,8 для свіжого фосфогіпсу нової черги відвала, взятого з верху платформи. Для фосфогіпсу, що зберігався у відвалі, залежно від тераси складування значення рН склали від 3,8 до 5,8 залежно від віку тераси. Зміна рН водної витяжки фосфогіпсу залежно від тераси, а значить і часу перебування у відвалі, за результатами дослідження, наведено на рис. 3.

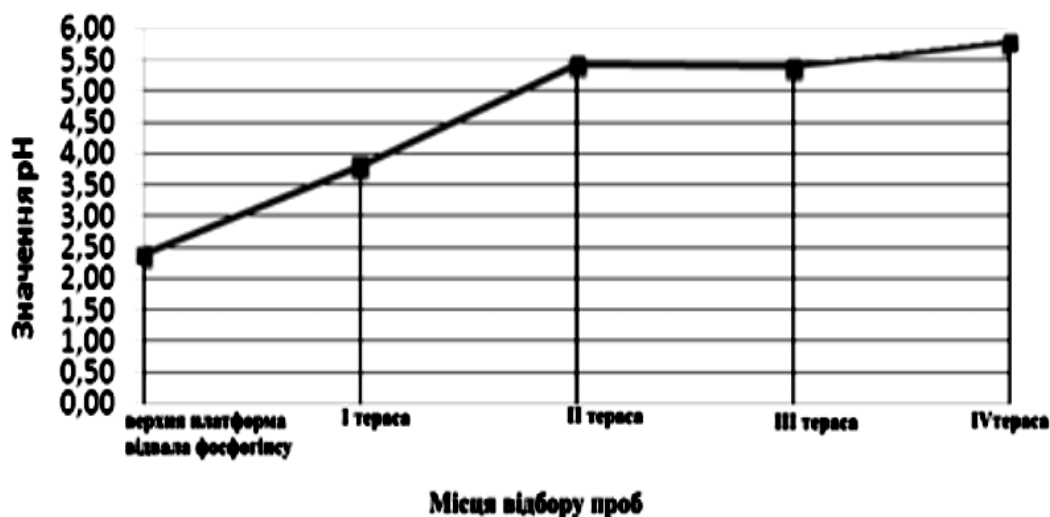


Рис. 3. Значення рН водної витяжки зразків фосфогіпсу залежно від місця й часу перебування у відвалі

Низьке значення рН зразків свіжого фосфогіпсу може бути обумовлене присутністю водорозчинних сполук фтору (можливо H_2SiF_6 , Na_2SiF_6 , K_2SiF_6 , HF), слідами невідомої фосфорної кислоти та її солей, сірчаної кислоти, домішками залізного купоросу. Зменшення кислотності на старших за віком терасах пояснюється поступовим вимиванням або випаровуванням кислих сполук зі складованого раніше в тераси фосфогіпсу під впливом різних природних факторів.

За допомогою рентгено-флуоресцентного аналізу елементного складу проб фосфогіпсу були виявлені в його складі, крім основних складових S, P, Ca, також Al, Fe, Si, домішки важких металів – Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, рідкісноземельний елемент Sr.

Слід зазначити, що міграція важких металів (ВМ) є однією з основних проблем експлуатації відвалів фосфогіпсу. Рухливість важких металів пов'язана з їх можливістю гідролізуватися. У ґрунтах ВМ присутні у водорозчинній, іонообмінній і неміцно адсорбованій формі. Підвищена кислотність фосфогіпсу створює сприятливі умови для міграції більшості металів, у тому числі й важких, які при низьких значеннях рН знаходяться у вигляді іонів або утворюють розчинні гідросокомплекси. Крім того, Cu, Cr, Fe (III), Fe (II), Cd, Pb здатні утворювати розчинні хлорвмісні комплекси, причому останні три – навіть у нейтральному і слабколужному середовищі.

Через шар субстрату, що вкриває фосфогіпс, основна маса хімічних сполук, у тому числі й ВМ, можуть мігрувати в рослини. Відомо, що рослини здатні вибірково накопичувати елементи, тому між валовим вмістом ВМ у фосфогіпсових відходах, ґрунті й вмістом їх у рослинах суворої залежності виявлено не було.

Проведені спостереження на території відвалів фосфогіпсу показали, що з часом (більше 10 років) у результаті природних процесів ґрунтоутворення й проходження сукцесій навіть на поверхні нерекультивованих насипів фосфогіпсу, невеликих за площею на території даного відвала, формується рослинна кірка потужністю не більш 3–4 см. Невеликі відкриті ділянки відвала фосфогіпсу виступають субстратом для поселення на їх поверхні, в першу чергу, водоростей та мохів, а вже надалі, поступово, вищої трав'янистої рослинності (рис. 4, 5). У той же час на засипаних суглинковим субстратом терасах відвалу відбувається повне заселення поверхні відразу трав'янистою рослинністю в менший за часом термін в 5–7 років.



а



б

Рис. 4. Корковий шар нерекультивованих ділянок фосфогіпсових відвалів з поселеннями водоростей (а) та мохів(б)



Рис. 5. Кунічник наземний, який домінує у відновних рослинних угрупованнях на поверхні відвала фосфогіпсу

Стінки відвала, після засипання сумішшю для рекультивації, на відміну від відкритих ділянок, досить легко й швидко покриваються світлолюбною трав'янистою рослинністю. Заселенню відвала рослинами сприяє шорсткість поверхні фосфогіпсу у вигляді западин, тріщин, а також значна його вологоємність, тому фосфогіпс, що також містить достатню кількість залишкового фосфору, сірки, кальцію й інших речовин, які виступають у ролі макро – і мікроелементів, стає непоганим субстратом, у першу чергу, для рудеральної й лугової рослинності.

На свіжоутворених відкритих схилах відвалу фосфогіпсів рослинність відсутня, на схилах свіжозасипаних суглинковим субстратом спостерігається мозаїчність рослинного покриву – від поодиноких екземплярів до заростання однієї третини проективного покриття площі. На старих, рекультивованих суглинком, схилах відвала проективне

покриття трав'янистої багаторічної рослинності повне, на самій нижній терасі, крім трав'янистої одно – і багаторічної рослинності, починають оселятися молоді дерева, що свідчить про постійні повільно діючі сукцесійні зміни у рослинних угрупованнях. На трьох нижніх схилах відвала проєктивне покриття рослинності максимально повне, до верхньої частини терас, особливо недавно підданих рекультивації, кількість і видова різноманітність рослин зменшується. На рекультивованих схилах фосфогіпсового відвала ПАТ «Сумихімпром» домінуючими є трав'янисті рослини одно – і багаторічні (таблиця 1).

Таблиця 1

**Трав'янисті рослини, що домінують на рекультивованих схилах
фосфогіпсового відвала ПАТ «Сумихімпром»**

Назва родини	Представники
Злакові	куничник наземний (<i>Calamagrostis epigéios</i>) пирій повзучий (<i>Elytrigia repens</i>) плоскуха звичайна (<i>Echinochloa crusgalli</i>) мишій зелений (<i>Setaria viridis</i>) тонконіг однорічний (<i>Poa annua</i>)
Бобові	лядвенець рогатий (<i>Lotus corniculatus</i>) конюшина лучна (<i>Trifolium pratense</i>) конюшина повзуча (<i>Trifolium repens</i>) конюшина блідо – жовта (<i>Trifolium ochroleucum</i>) буркун лікарський (<i>Melilotus officinalis</i>)
Складноцвіті	підбіл звичайний (<i>Tussilago farfara</i>) злінка канадська (<i>Erigeron canadensis</i>) деревій звичайний (<i>Achillea millefolium</i>) нетреба звичайна (<i>Erigeron annuus</i>) пижмо звичайне (<i>Tanacétum vulgare</i>) полин звичайний (<i>Artemisia vulgaris</i>) осот жовтий (<i>Sónchus arvénsis</i>) осот рожевий (<i>Cirsium arvense</i>)
Гречишні	горець пташиний, шпориш (<i>Polygonum aviculare</i>)
Кіпрейні	енотера дворічна (<i>Onagra biennis</i>)
Норичникові	льонок звичайний (<i>Linaria vulgaris</i>)

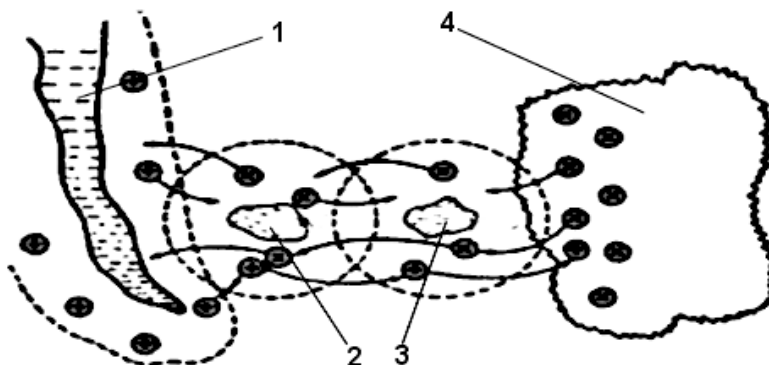
На нижніх терасах (третья й четверта) починають оселятися деревні форми, представлені в основному осикою звичайною (*Populus tremula*), тополею білою (*Populus alba*), рідше березою звичайною (*Betula pendula*), робінією псевдоакацією (*Robinia pseudoacacia*).

Обговорення результатів дослідження біохімічних процесів рекультивації нижніх терас діючого відвала фосфогіпсу. На екстремальних субстратах, до яких належать і відвали фосфогіпсу (фактори, що лімітують швидкість сукцесії – кислотність субстрату, особливості техногенного рельєфу, висока концентрація певних хімічних елементів, наприклад кальцію, не постійна доступність води, невелика протяжність по глибині рекультивуємого субстрату) стадія утворення постійного різновидового трав'янистого покриву з повною проєкцією покриття субстрату триває не менше десятка років. Незважаючи на можливість занесення насіння різних видів дерев з прилеглих територій, вкритих деревною рослинністю поблизу відвалів (на відстані до 100 м) їх поява спостерігається не раніше ніж через 25 років після початку сукцесії. На пустирях, які

формується навколо відвалу й перебувають у зоні їх впливу, sukcesія розвивається порівняно швидше, але і тут формування фрагментарних деревних насаджень спостерігається в основному через 20 років після відсіпання відвалів (лімітуючим фактором виступає висока кислотність субстрату, висока концентрація хімічних елементів, обумовлена в основному надходженням хімічних елементів і їх сполук з відвалів).

В результаті рекультивациі поверхні насипів відвала суглинистим ґрунтом шаром від 20 до 40 см, який, в певній мірі, перемішується з мінеральними часточками фосфогіпсу, утворюється субстрат, що підлягає заселенню живими організмами, в першу чергу, мікроорганізмами і рослинами. Багато мікроорганізмів розвивається біля корневих систем (ризосферні мікроорганізми), тому що біля коренів завдяки виділенням створюються сприятливі умови для бактеріального живлення. Завдяки слизуватим виділенням кореня, мікроорганізми утворюють на його поверхні мікроколонії, а в деяких місцях – майже суцільні біологічні плівки. Використовуючи в якості джерела їжі й енергетичного матеріалу кореневі виділення, мікроорганізми активно розвиваються на коренях і поблизу їх та сприяють перетворенню і мобілізації речовин субстрату. Оскільки кореневі виділення різні в різних рослин, ризосферні мікроорганізми теж специфічні. Мікроорганізми здійснюють перетворення (окиснення, відновлення) ряду неорганічних сполук субстрату, включаючи і мінеральні частки фосфогіпсу, переводячи їх компоненти у більш або і, навпаки, менш засвоювану форму в залежності від умов (рН, Eh).

Коріння рослин, що поступово оселяються на поверхні субстрату відвалу, поглинає речовини безпосередньо з ґрунтового розчину та при контакті з частками ґрунтового поглинального комплексу. Катіони й аніони, що перебувають у поглиненому стані на колоїдних частках ґрунту, обмінюються на іони, адсорбовані на інших колоїдних частках, або на поверхні клітин кореня. Так, може здійснюватися надходження катіонів K^+ , Ca^{2+} , Na^+ міцел в обмін на протони H^+ , а також аніонів NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} і інших в обмін на аніони органічних кислот (яблучна, лимонна, щавелева), що виділяються безпосередньо клітинами кореня, або на аніони HCO_3^- , що утворюються при дисоціації вугільної кислоти, яку виділяють корені рослин при диханні. Особливо ефективно йде поглинання при контактному обміні, при якому відбувається взаємообмін іонами між колоїдними часточками ґрунту та коренями рослин без надходження їх у ґрунтовий розчин. Поглинені іони адсорбуються на поверхні клітинних оболонок ризодерми кореня і засвоюються рослиною. На рис. 6 показано можливі біохімічні процеси, що відбуваються в ризосферному шарі між компонентами фосфогіпсу, колоїдними частками субстрату та корневими системами рослин.



1 – кореневий волосок рослини; 2, 3 – ґрунтові колоїдні частки; 4 – мінеральна частка фосфогіпсу

Рис. 6. Схема біохімічних процесів засвоєння мінеральних компонентів фосфогіпсу коренями рослин

Відповідно до схеми (рис. 6) вилучення певного елементу з мінералів субстрату здійснюється в процесі біологічної та фізико-хімічної (обмінної) вбирної здатності, у

результаті чого відбувається або повне розчинення мінералу, або заміщення іонів мінералу іонами водню або іонами, що виділяє коріння в складі органічних кислот, без руйнування кристалічних ґрат мінералу. Отже, в основі перетворень мінеральних часток фосфогіпсу у ґрунтовому субстраті лежать процеси: розчинення їх мінеральними кислотами, кореневими виділеннями, перетворення в результаті життєдіяльності мікроорганізмів; впливу органічних кислот – продуктів бродіння і неповного окислення вуглеводів ґрунтовими грибами і бактеріями; взаємодії мінеральних часток з позаклітинними амінокислотами, поліцукрами, фенольними сполуками. Таким чином, органічні сполуки прямо чи опосередковано взаємодіють з мінеральними частками фосфогіпсу, руйнуючи кристалічні ґратки, переводячи елементи з однієї форми в іншу зі зміною валентності і рухливості. Хімічні елементи, що входять до складу фосфогіпсу, або пов'язані з ним, вилучаються не обов'язково пропорційно їхньому вмісту і співвідношенню у вихідному матеріалі, біологічне вивітрювання може привести до перетворення цього мінералу в інший завдяки зміні хімічного складу при вибіркового поглинанні елементів.

Поглинання рослинами й мікроорганізмами поживних речовин у великому ступені залежить від властивостей ґрунту – реакції й концентрації ґрунтового розчину, температури, аерації, вологості, вмісту в ґрунті доступних форм поживних речовин, тривалості й інтенсивності освітлення та інших умов зовнішнього середовища. Надходження поживних речовин у рослину помітно знижується при поганій аерації ґрунту, низькій температурі, надлишку або різкій нестачі вологи в ґрунті. Особливо сильний вплив на надходження поживних речовин спричиняють реакція ґрунтового розчину, концентрація й співвідношення солей у ньому.

Кислотність субстрату (рН) впливає на розчинність і засвоюваність рослиною поживних речовин. Для кожного виду рослин існують свої оптимальні межі значення рН. Менш шкідливе невелике збільшення значення рН ґрунту в лужний бік. Це пояснюється можливістю клітин кореня виділяти HCO_3^- або органічні кислоти, які нейтралізують надлишкову лужність. Для більшості рослин найбільш сприятливою є слабкокисла (рН = 5 – 6) або нейтральна реакція. На слабко кислих ґрунтах, до яких належить і субстрат рекультивованих терас цього відвала, за рахунок понижених значень рН фосфогіпсу більш засвоюваними для рослин стають такі поживні елементи, як фосфор, залізо, цинк, марганець, бор і ін.

Разом з тим велике збільшення кислотності ґрунту, може сильно гальмувати ріст рослини. Різке зміщення реакції ґрунту в кислий бік виявляє небажані наслідки в силу прямого ушкоджуючого впливу на поверхневі шари протоплазми, гальмує надходження в клітини кореня поживних катіонів, перехід в розчин солей алюмінію й заліза, що сприяє утворенню слаборозчинних і тому важкодоступних рослинам фосфатів заліза й алюмінію, а також виявляє безпосередній токсичний вплив на рослинний організм. Реакція розчину впливає на інтенсивність надходження окремих іонів у рослину й обмін речовин. Негативна дія кислої реакції може бути нівельована наявністю певних катіонів у розчині, до яких в першу чергу належить кальцій. В випадку створення нижчої за оптимальну для існування організму кислотності з-за наявності кислих домішок в субстраті відвала, велика концентрація кальцію, за рахунок надходження його з фосфогіпсу, дозволить рослинам пристосуватися до умов і продовжити заселення поверхні відвала. Також потрібно враховувати, що Ca^{2+} у високих концентраціях може гальмувати надлишкове надходження K^+ , Na^+ або Mg^{2+} в рослину і навпаки.

Аналізуючи можливість заселення живими організмами субстрату, що після рекультивації містить включення часточок фосфогіпсу, можна зробити висновок про те, що не зважаючи на високу кислотність самого фосфогіпсу (від 2,5 до 5,3 залежно від віку складування у відвали) та кислотність субстрату (в межах 6 – 6,5) високий вміст кальцію в субстраті відвала здебільшого може нівелювати вплив низької кислотності. У той же час кислотність у межах рН 5–6 дозволяє переводити фосфати в засвоювану для рослин форму, а надходженню азотистих сполук сприяють симбіотичні ризосферні азотфіксуючі

мікроорганізми. Також ризосферні організми допомагають рослинам поглинати з фосфогіпсу сполуки сірки, заліза, кремнію. При цьому сукцесійні зміни на поверхні фосфогіпсового відвалу, рекультивованого суглинковим субстратом, проходять достатньо швидко.

Висновки. В ході дослідження уточнено існуючі кордони діючого фосфогіпсового відвала ПАТ «Сумхімпром», площа якого на даний час становить 492 м², із санітарно-захисною зоною 637 м², периметр близько 1900 м. Проаналізовано склад і фізико-хімічні властивості фосфогіпсових відходів, виявлено, що крім основних сполук гіпсу зі сполуками фосфору, фосфогіпс даного відвалу може містити домішки заліза, алюмінію, цинку, кремнію, фтору, а також у невеликих кількостях домішки стронцію, свинцю, кадмію й інших, токсичних в надлишковій кількості, елементів. Значення рН в залежності від віку складування фосфогіпсу у відвал коливається в межах 2,3–2,8 для свіжого фосфогіпсу нової черги відвала та від 3,8 до 5,8 залежно від віку тераси для фосфогіпсу, що зберігається у відвалі.

Розроблено формалізацію біохімічних процесів засвоєння мінеральних компонентів фосфогіпсу коренями рослин та визначено закономірності проходження відновних сукцесій після рекультивації схилів відвала. Визначено, що рекультивовані відвали фосфогіпса піддаються поступовому заселенню й сукцесійним змінам під дією рослинних угруповань і ґрунтових мікроорганізмів, що пов'язано, по-перше, з вибіркоким поглинанням речовин живими організмами й необов'язковим включенням більшості токсичних елементів до свого складу, так і, по-друге, з наявністю у фосфогіпсі багатьох елементів (в першу чергу кальцію та залишкового фосфору), які використовуються як макро- або мікроелементи в метаболізмі рослин, а також з достатньо великою вологоємністю фосфогіпса. Ці ж властивості дають можливість використовувати надалі фосфогіпс у різноманітних біотехнологіях, наприклад, як субстрат для мікроорганізмів, метаболізму яких не шкодить достатньо висока кислотності середовища.

Література

1. Касимов А. М. Особенности технологии утилизации фосфогипса в качестве материала для производства гипсовых вяжущих / А. М. Касимов, О. Е. Леонова, А. Н. Александров. // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов / Сб. научных трудов XIII междунар. научно-технич. конф. / УГНИИ «УкрВОДГЕО», 2005. – С. 793–798.
2. Касимов А. М. Утилизация фосфогипса с получением материала для производства гипсовых вяжущих / А. М. Касимов, О. Е. Леонова, Ю. А. Кононов. // Материалы ежегодной междунар. конф. «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – Харьков, 2008. – С.1–5.
3. Мельников Н. В. Краткий справочник по открытым горным работам. / Н. В. Мельников. – М.: Недра, 1982. – 315с.
4. Мирка Г.Е. Проблемы утилизации техногенных отходов промышленных предприятий Сумской области / Г. Е. Мирка, Н. Г. Рудой. // Материалы 3-ей Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – 2006. – 272 с.
5. Наркевич И. П. Утилизация и ликвидация отходов в технологии неорганических веществ / И. П. Наркевич, В. В. Печковский. – М.: Химия, 1984. – 240 с.

Поступила до редакції 10 грудня 2015 р.

Рекомендував до друку д. т. н. Я. О. Адаменко