

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ СТИЧНИХ ВОД

О. В. Ільїнський¹, О. В. Рибалова¹, О. В. Бригада¹, О. О. Бондаренко¹, С. Р. Артем'єв¹¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

УДК 58.04:58.084; 504.53.06: 504.45

DOI: 10.52363/2522-1892.2021.1.6

Отримано: 12 березня 2021

Прийнято: 21 квітня 2021

Cite as: Ilinskiy O., Rybalova O., Bryhada O., Bondarenko A., Artemiev S. (2021). Application of a model installation for evaluation of efficiency of phytoremediation methods of surface wastewater treatment. Technogenic and ecological safety, 9(1/2021), 36–43. doi: 10.52363/2522-1892.2021.1.6

Анотація

У статті дана оцінка ефективності методу фітореємедіації як перспективного напрямку захисту ґрунтів та водних об'єктів від забруднення стічними поверхневими водами. Особливу увагу приділено небезпеці забруднення поверхневих вод внаслідок пожеж із застосування хімічних засобів пожежогасіння. Проаналізовано природні методи очищення поверхневого стоку, досліджено ефективність очищення поверхневих стічних вод в мульдах з використанням промислових відходів. Наголошено на перспективність використання екологічно безпечних відходів пластику (ПЕТ, поліпропілен тощо) для створення штучних біоінженерних споруд.

Змонтована дослідна модельна установка для апробації та оцінки ефективності фітореємедіантів. Показано, що засобом підвищення ефективності методу фітореємедіації є застосування фільтруючої насадки з дефіброваної ПЕТ тари. Застосування цього екологічно безпечного вторинного матеріалу одночасно вирішує проблему його утилізації. За результатами експериментальних досліджень запропоновано метод оцінки ефективності застосування різних типів фільтруючих насадок в мульдах для очищення поверхневих стічних вод та різних видів рослинності в дослідній модельній установці.

Ключові слова: екологічна безпека, фітореємедіація, поверхневі стічні води, природні методи очищення, модельна установка, пластикові відходи, пожежі.

Постановка проблеми

На сьогодні проблема забруднення гідросфери – одна із найважливіших проблем людства. Одним із шляхів забруднення поверхневих вод є пожежі та наслідки застосування хімічних засобів пожежогасіння. Особливо небезпечними є продукти піролізу, хімічно активні форми важких металів [1]. Внаслідок процесу пожежогасіння з поверхневим стоком виноситься велика кількість забруднюючих речовин, яка потрапляє в водні об'єкти. Серед таких забруднюючих речовин особливо небезпечними є рештки хімічних засобів пожежогасіння, піноутворювачів та продукти їх розпаду [2]. Оскільки процес переносу забруднюючих речовин залежить, в першу чергу, від кліматичних умов та пори року, він може відбуватися досить великий проміжок часу. Тому засоби нейтралізації та очищення стічних вод повинні враховувати плинність процесу і бути економічно рентабельними.

Однією з найефективніших та найвигідніших технологій природного очищення стічних вод є застосування методу фітореємедіації. Використання рослин для очищення і відновлення природного стану – відносно нова технологія, але завдяки низьким затратам на впровадження та експлуатацію одержала широке поширення в багатьох країнах світу. Принцип фітореємедіації ґрунтується на здатності рослин поглинати і знешкоджувати забруднюючі речовини із поверхневих стічних,

ґрунтових вод та ґрунту. У світі залежно від місцевих умов використовують різні види рослин та їх асоціації, що здатні накопичувати і руйнувати забруднюючі речовини. Для очищення стічних вод у системах фітореємедіації використовують вищі водні рослини, наприклад, очерет, айр, комиш. Перевагою використання рослин в природних методах очищення стічних вод є їх здатність адсорбувати забруднюючі речовини, включно важкі метали.

Існує багато різноманітних систем очищення поверхневого стоку, які використовують принцип фітореємедіації для очищення вод, від простих (ботанічні майданчики) – до більш складних біоінженерних споруд – біоплато, тощо. Однак екологічна ефективність і рентабельність таких споруд залежить від багатьох факторів – кліматичних, орографічних, видового складу рослинності, що використовується для фітореємедіації, хімічного складу та обсягів стічних вод [3, 4].

Одним із шляхів штучного підвищення ефективності процесів фітореємедіації є використання екологічно безпечних відходів пластику (ПЕТ, поліпропілен тощо) для створення штучних біоінженерних споруд. Такий напрям корисного застосування відходів одночасно вирішує проблему їх утилізації.

Тому моделювання процесів біологічного очищення стічних вод є актуальною потребою

подальшого розвитку методів застосування фітореMediaції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Системи та споруди знезараження стічних вод, в основі яких лежить природний процес самоочищення, типу біоплато або Constructed Wetlands (CW), широко розповсюджені в більшості країн світу, в тому числі і в Україні [5, 6]. Однак потенціал застосування методу фітореMediaції використовується ще недостатньо і потребує досліджень для його подальшого удосконалення. Моделюванню процесів поглинання та знезараження токсичних речовин присвячено ряд робіт.

Так, у дослідженні [7] в лабораторній модельній установці вивчали токсичність для водної біоти неочищеного дощового міського стоку з шосе в Сіетлі, штат Вашингтон, протягом шести дощових днів. Для всіх випадків неочищені стічні води були токсичними для дафній (*Ceriodaphnia dubia*), спричиняючи до 100% смертності. Неочищені стічні води з шосе, як правило, були токсичними для лосося та безхребетних, і ця гостра токсичність була усунена фільтруванням стоку крізь ґрунтові середовища в колонах біофітореMediaції. На основі досліджень зроблено висновок, що відносно недорого технологія біофітореMediaції (GSI) може бути високоефективною у зміні гостро летальних та сублетальних наслідків міського стоку на численні водні види. Дослід на застосованій модельній установці дозволив зробити загальні висновки, але в роботі не аналізували показники хімічного складу дощового стоку і динаміку його знешкодження.

Доцільність очищення дощового стоку за допомогою інфільтраційних басейнів [8] було обґрунтовано на модельній установці інфільтраційного басейну з рослинним верхнім шаром типовим для місцевості.

У дослідженні [9] розглянуто використання заболоченої ділянки, штучно створеної у підземних водоносних шарах (SSF-CW), що складається з *Echinodorus palaefolius* та природного цеоліту для видалення ртуті (Hg) із забрудненої води в лабораторних модельних установках. Застосування комбінованим методу адсорбції і фітореMediaції показало високу ефективність видалення ртуті (Hg). Однак дослідження проводили лише протягом трьох днів, без аналізу подальших наслідків.

За даними дослідження фітореMediaції для видалення хрому молодими мангровими видами *Rhizophora apiculata* [10] у лабораторній модельній установці була виведена математична модель, здатна імітувати роботу системи фітореMediaції залежно від змінних параметрів процесу. В останні роки фітореMediaція виходить на стадію широкомасштабного моделювання за допомогою різних математичних моделей. Але дана модель була зроблена на основі дослідів у теплиці з модельними акваріумами, що обмежує видовий діапазон лише водною та вологолюбивою рослинністю.

Математичне моделювання процесів, що впливають на ефективність фітореMediaції, запропоновано у роботі [11]. Маючи справу з надзвичайно складними змінними, такими як взаємодія між кліматом, ґрунтом та рослинами, моделювання перед початком операції може значно скоротити час та вартість такого процесу, даючи більш точний прогноз можливих результатів. В роботі наведено критичну оцінку основних переваг та обмежень доступних моделей для процесів фітореMediaції.

Слід зауважити, що імпаکت-фактор фітореMediaції ще недостатньо вивчений, оскільки дослідження в цьому напрямі почали проводити не так давно і пов'язане з цим вивчення динаміки процесів також не є достатнім. Тому багато числових моделей є недостатньо точними і вибір параметрів процесу фітореMediaції не є уніфікованим [12]. Розроблена екологічна динамічна модель у дослідженні [12] могла б точно передбачити зміну концентрації забруднюючих речовин стоків у штучно побудованому заболоченому біоплато. За думкою авторів, розроблена у цьому дослідженні модель може забезпечити теоретичну підтримку проектування та експлуатації побудованого водно-болотного угіддя та прогнозування концентрації забруднюючих речовин у дренажних водах для покращення фактичного ефекту очищення. Однак в цьому дослідженні автори основну увагу приділили моделюванню тільки фізико-хімічних процесів біодеградації азоту.

Застосування фітофільтрів в умовах помірного кліматичного поясу має обмеження, пов'язані зі зниженням ефективності очищення в періоди близьконульових температур зважаючи на уповільнення біохімічних процесів, що відбуваються в рослинах і ґрунтових мікроорганізмах. Тому застосування додаткових штучних прошарків та наповнювачів може суттєво підвищити ефективність процесу фітореMediaції. У роботі [13] запропоновано технічне рішення проблеми, яке полягає в додаванні до складу фільтруючого прошарку матеріалів, що мають сорбційні і іонообмінні властивості (торф і цеоліт). Експериментально визначено, що ефективність фіторегенерації вищими рослинами від нафтопродуктів зменшується в ряду:

очерет звичайний → ірис болотний →
→ рогіз широколистяний;

від важких металів:

ірис болотний → очерет звичайний.

Однак, автори не приділили уваги іншим, не болотним типам рослинності, які можна застосовувати в процесах фітореMediaції.

Великою проблемою є забруднення стічних вод різного походження синтетичними поверхнево-активними речовинами, які негативно впливають на стан біоти та якість води [14]. Авторами

дослідження отримано загальні значення розчинених твердих речовин у водоймах Харківської області, що коливаються в межах 190...700 мг/дм³. Проте аналіз проводили лише методом кондуктометрії.

В роботі [15] дано розгорнутий порівняльний аналіз екологічних характеристик фторвмісних піноутворювачів і піноутворювачів на основі поверхнево-активних речовин із застосуванням аміних комплексів нафтових кислот. Зроблено висновок, що продукти розкладання піноутворювачів на основі нафтових кислот найчастіше є більш безпечними для навколишнього середовища і людини. З огляду на велику небезпеку для навколишнього середовища продуктів термічного розкладання піноутворювачів на основі нафтових кислот, рекомендовано їх застосування в пожежогасінні в кількості, мінімально достатній для гасіння пожежі, а не в надлишку. Слід, однак, зазначити, що екологічні характеристики піноутворювачів в даній роботі отримано розрахунковим методом.

Автори дослідження [16] у лабораторних умовах, за допомогою ростового фітотесту, дослідили вплив розчинів піноутворювачів для гасіння пожеж українських виробників загального призначення на ріст рослин *Sinapis alba*. З'ясовано, що розчини піноутворювачів мають різний вплив на рослини та, відповідно, різну фітотоксичність ґрунту. Для оцінювання динаміки змін фітотоксичності ґрунту, забрудненого розчинами піноутворювачів, повторно проводили фітотестування ґрунту після 30 і 90 діб від забруднення. Слід зазначити, що висновки щодо фітотоксичності було зроблено за допомогою ростового фітотесту.

Застосування біосорбентів рослинного походження в системах фіторемедіації також може підвищувати її ефективність. У лабораторному дослідженні [17] показано, що порошок конопляного білку є високоефективним у видаленні пер- та поліфторалкільних речовин (ПФАС) із фактично забруднених підземних вод. Було виявлено, що конопляний білок виводить більше ПФАС порівняно із соєвими, люпиновими, сироватковими, гороховими та ячненими білками, коли нормується вміст білка. Кінетика реакцій демонструє швидке видалення ПФАС з дуже хорошим видаленням (98%), яке досягається приблизно за одну годину для ПФАС. Дане дослідження показує теоретичні можливості застосування відходів переробки рослинної сировини, яка, проте, потребує додаткового виробництва.

Використання для очищення стічних вод утилізованих пластикових пляшок також є шляхом, що дозволяє одночасно з підвищенням ефективності фіторемедіаційних споруд одночасно вирішувати проблему безпечної утилізації відходів пластику [18–19].

Результати дослідження [20] показали, що перероблений ПЕТ із відходів пластикових пляшок також можна застосовувати як пористий мембранний матеріал для процесу очищення води.

Водночас автори не вказали шляхи подальшого відновлення мембран та подальшої утилізації ПЕТ.

Проведений аналіз досліджень методів фіторемедіації щодо небезпечного впливу поверхневих стічних вод внаслідок пожежогасіння показав актуальність проведення досліджень у цій галузі.

Постановка завдання та його вирішення

Одним із заходів підвищення ефективності процесів фіторемедіації є створення в ґрунті у зоні активних мікробіологічних процесів штучних прошарків, заповнених хімічно нейтральними матеріалами, наприклад, побутовими відходами з поліпропіленового або ПЕТ (поліетилен-терифталатного) пластику. Такі прошарки збільшують активну поверхню для розвитку мікрофлори і тим самим прискорюють знешкодження забруднюючих речовин. З іншого боку, це є шляхом вторинного корисного використання ряду побутових та промислових відходів з пластику або гуми.

Метою дослідження була розробка доступної у виготовленні лабораторної установки для моделювання процесу фіторемедіації та перевірка ефективності її застосування за різних умов досліду.

Застосування модельної установки дає змогу вирішувати **наступні задачі**:

- дослідження динаміки поглинання забруднюючих речовин різними методами очищення в модельному середовищі;
- оцінка ефективності очищення дощових стічних вод в модельному середовищі з використанням промислових відходів і методів фіторемедіації;
- оцінка ефективності очищення дощових стічних вод в модельному середовищі після застосування хімічних засобів пожежогасіння;
- оцінка застосування різних типів рослинності в модельному середовищі на ефективність фіторемедіації.

У якості модельного забруднювача поверхневих стічних вод використовували 6% водний розчин піноутворювача, що застосовується підрозділами ДСНС під час гасіння пожеж.

Для модельної установки запропонована конструкція, де в якості базової ємності використано десятилітрову ПЕТ пляшку (рисунок 1), заповнену зверху ґрунтом (шар 14...16 см), нижче розташовано шар із відходів пластику (подрібнені частини ПЕТ пляшок) – дефібрована ПЕТ тара (далі ДТ-ПЕТ). Далі для утримання дрібнодисперсної фракції модельного розчину знаходиться шар піску та синтетичний дрібнопористий фільтр (геотекстиль).

Схема досліду

Для досягнення поставленої мети була зібрана модельна установка, яка складалася із 5 пар базових ємностей, всього 10 ємностей (рисунок 2). В проведеному досліді одноразово на початку (в перший день досліду) в кожен другу ємність (позначені в схемі досліду зірочкою – *) додали по

0,144 дм³ шестивідсоткового розчину піноутворювача, що мало моделювати процес пожежогасіння (із розрахунку рекомендованої витрати піноутворювача під час гасіння пожежі твердих паливних матеріалів – 3,6 дм³/м²).

У всіх ємностях верхній шар (15 см) складався з ґрунту, взятого в природних умовах із заплавної частини узбережжя річки Уди.

Для оцінки ефективності різних методів фіторе mediaції дослідні пари ємностей мали наступне наповнення:

1. ґрунт з ДТ-ПЕТ;
2. ґрунт з ДТ-ПЕТ з додавкою розчину мікробної культури Aqua Tite Dry Microbes;
3. ґрунт з ДТ-ПЕТ + овес;
4. ґрунт з ДТ-ПЕТ + очерет звичайний (*Phragmites communis*);
5. ґрунт з ДТ-ПЕТ + квасоля.

Перша пара ємностей (№ 1–1*) була призначена для визначення впливу прошарку з дефіброваної ПЕТ тари (ДТ-ПЕТ) на ефективність процесу фіторе mediaції, як потенційно додаткова поверхня для розвитку мікрофлори.

Друга пара ємностей (№ 2–2*) була призначена для визначення впливу добавки на поверхню ґрунту розчину мікробної культури Aqua Tite, яка застосовується для очищення стічних ємностей, ям, резервуарів тощо від органічних забруднень біологічним шляхом – для моделювання процесу знешкодження залишкових кількостей піноутворювача мікробіологічним методом. Розчин було додано через добу після початку дослідження, як моделювання заходу щодо зменшення забруднення внаслідок процесу пожежогасіння.

Моделльні ємності №№ 3–3*, 4–4* та 5–5* – для оцінки впливу різного типу поверхневої рослинності (злакові, макрорітти та бобові) на ефективність процесу фіторе mediaції.

У кожну пару ємностей перед початком дослідження було додано модельний розчин дощового стоку (МРДС) до повного зволоження ґрунту в ємності. Цей розчин і надалі використовували в ході експерименту для поливу ємностей і отримання фільтрату. Модельний розчин містив: NH₄Cl – 17 мг/дм³, K₂HPO₄ – 50 мг/дм³, NaNO₂ – 10 мг/дм³ та глюкози – 100 мг/дм³.

В ґрунт дослідних ємностей було висаджено: у № 3–3* – насіння вівса, № 4–4* – очерет звичайний (*Phragmites communis*), цілі рослини з корінням; № 5–5* – насіння кушової квасолі. Всі рослини розвивалися нормально і дали достатньо розвинену кореневу систему. Для забезпечення достатнього освітлення застосували додаткові світлодіодні фітолампки.

На початку дослідження, через 3 години після додавання розчину піноутворювача, до всіх ємностей було додано по 2 дм³ МРДС, після чого фільтрат (дослідний стік), отриманий після проходження рідини крізь установку, зібрано для аналізу. Таким же чином було відібрано проби на 6, 16 та 48 день після початку дослідження – для визначення динаміки процесу фіторе mediaції в дослідній установці.



Рисунок 1 – Схема базової ємності модельної установки



Рисунок 2 – Загальний вигляд модельної установки

Всі проби фільтрату аналізували за стандартними методиками визначення показників якості поверхневих стічних вод.

Результати дослідження.

Нижче наведено усереднені значення всіх отриманих результатів аналізу проб води за показниками (таблиця 1).

Застосування дослідної установки для визначення ефективності процесів фіторе mediaції за різних умов проводили аналізом змін показників отриманого фільтрату в ємностях з розчином піноутворювача відносно аналогічних показників в ємностях, куди добавляли тільки з МРДС (у відсотках), а також в динаміці – у відсотках до початкового значення кожного показника в перший день дослідження в кожній дослідній ємності.

Таблиця 1 – Середні значення показників якості отриманого фільтрату

Показник	Середнє значення
pH, од. pH	6,83
Сухий залишок, мг/дм ³	986,91
Хімічне споживання кисню (ХСК), мгО/дм ³	98,35
Азот амонійний, мг/дм ³	1,15
Нітрати, мг/дм ³	136,08
Нітрити, мг/дм ³	2,25
Фосфати (у перерахунку на PO ₄ ³⁻), мг/дм ³	18,48
Біохімічне споживання кисню (БСК ₅), мгО ₂ /дм ³	48,02
АПАР (аніоноактивні у перерахунку на лаурилсульфат натрію), мг/дм ³	1,58
Сульфати, мг/дм ³	286,70
Хлориди, мг/дм ³	114,34

Аналіз динаміки хімічного споживання кисню (ХСК), як одного з інтегральних показників якості води, відносно початкових значень показав стійку тенденцію до зниження (рисунок 2), що вказує на процеси біологічної деструкції забруднюючих речовин.

Нелінійність динаміки та підвищення показника ХСК у деяких ємностях на 48 день дослідження можна пояснити змінами температурного режиму в лабораторному приміщенні та можливого вторинного розвитку мікробіальних процесів.

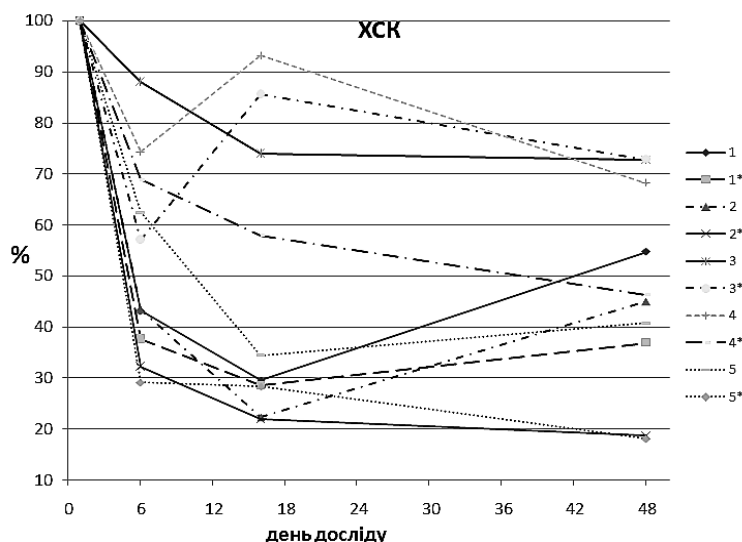


Рисунок 2 – Динаміка хімічного споживання кисню, (ХСК), в пробах МРДС відносно початкових значень, %: № 1–5 – МРДС; № 1*–5* – МРДС з додавкою піноутворювача.

Аналіз ХСК в пробах МРДС з додаванням піноутворювача (№ 1*–5*) відносно його значення в паралельних ємностях без додавання піноутворювача (№ 1–5) показує, що в середньому з часом різниця у ХСК зменшується зі зменшенням напруженості мікробіальних процесів та залишкової кількості органічних речовин (рисунок 3). В той же час, нелінійність процесів вказує на залежність від температурного фактору та циклу розвитку рослин – в ємностях з очеретом динаміка зниження різниці (№ 4–4*) інша, ніж в ємностях, де було висаджено овес та квасолю. Це можна пояснити більш розвиненою кореневою системою очерету.

Ефективність процесу фітореємедіації у дослідній установці була підтверджена аналізом вмісту аніоноактивних поверхнево активних речовин

(АПАР) в пробах МРДС відносно їх початкового значення, яке було прийняте за 100 відсотків (рисунок 4).

Аналіз показав, що початкова кількість АПАР внаслідок процесів біологічного розкладу в модельному середовищі на 48 добу зменшилась у фільтраті до 20,9...45,1 %. Слід звернути увагу на різницю між залишковим вмістом АПАР на 16...48 день в ємностях із додаванням або ні піноутворювача. Оскільки в ємностях без додавання піноутворювача були присутні залишкові (фонові) кількості АПАР, вони теж показали процес біодеструкції. Але в абсолютних значеннях вони суттєво різнилися.

Це дозволяє зробити висновок про більш ефективні процеси розкладу АПАР в ємностях із

застосуванням ДТ-ПЕТ.

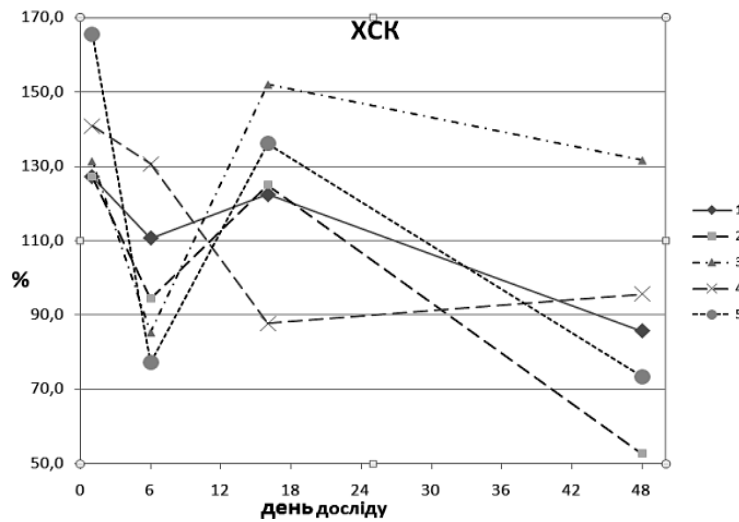


Рисунок 3 – Динаміка очищення за показником хімічного споживання кисню (ХСК), МРДС з додаванням піноутворювача відносно МРДС, %

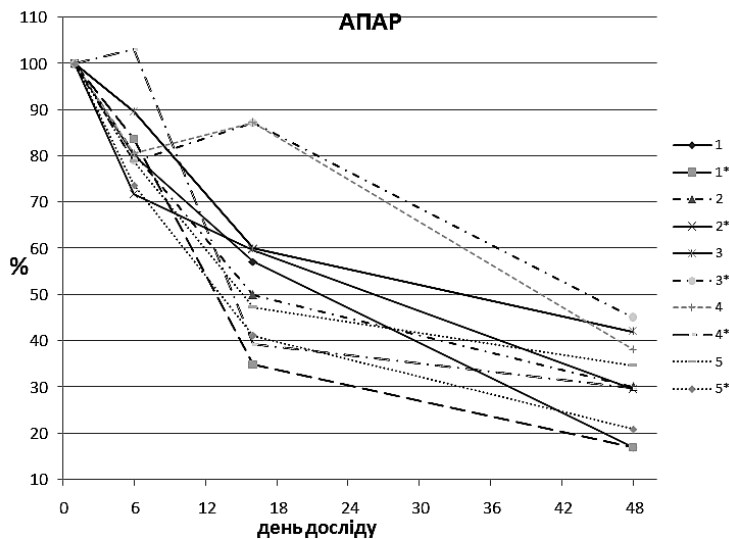


Рисунок 4 – Динаміка вмісту АПАР в пробах МРДС відносно початкових значень, %: № 1–5 – МРДС; № 1*–5* – МРДС з додаванням піноутворювача

Висновки.

Визначено, що застосування дослідної установки дозволяє моделювати процеси фіторемедіації, проводити порівняльні випробування різних методів та заходів для забезпечення очищення поверхневих стічних вод, визначати динаміку процесів фіторемедіації.

Виявлено, що застосування подрібнених частин ПЕТ пляшок (дефіброваної ПЕТ тари) в якості прошарку (насадки) під шаром ґрунту збільшує ефективність процесу знезараження поверхневих стічних вод з домішками аніоноактивних поверхнево-активних речовин (піноутворювача).

Запропоновано впровадження дослідної модельної установки для визначення оптимальних

методів фіторемедіації з урахуванням місцевих кліматичних, ґрунтових та ботанічних умов .

Проведене дослідження показало необхідність використання у подальших експериментах рослин, що мають однотипні вимоги до температури, зволоження та освітлення.

Оптимальним періодом дослідження процесів фіторемедіації можна вважати 25...35 днів після стабілізації кореневої системи досліджуваних фіторемедіантів.

Окрему увагу слід звернути на режим зволоження та освітлення дослідних ємностей з рослинами з огляду на моделювання регіональних кліматичних умов та пори року.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рибалова О.В. Визначення небезпеки впливу лісових пожеж на якісний стан ґрунтів / О.В. Рибалова, О.В. Бригада, К.М. Коробкіна, О.М. Крайнюков, І.М. Мірошніченко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, 2019. – Вип. 2(96). Том 2. С. 413-422.
2. Dadashov I. Analysis of the ecological characteristics of environment friendly fire fighting chemicals used in extinguishing oil products / I. Dadashov, V. Loboichenko, A. Kireev // Pollution Research. – 2018. – Vol. 37, Issue 1. – P. 63-77.
3. Rybalova O. Phytoremediation methods for wastewater treatment / O. Rybalova, O. Bryhada, O. Ilinskiy, O. Bondarenko, S. Zolotarova // Danish Scientific Journal. – 2020. – No. 41. – P. 10-13.
4. Hu H. Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status and future perspectives / H. Hu, X. Li, S. Wu, C. Yang // Bioresource Technology. – 2020. – Vol. 315, November. – 123809. – DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123809.
5. Магмедов В.Г. Посібник до застосування водоохоронних біоінженерних споруд (БІС) для очищення немінералізованих забруднених вод сільськогосподарського виробництва України. / В.Г. Магмедов, М.А. Захарченко. – Харків, 1993. – 16 с.
6. Пат. 7705 Україна, С02F 3/00. Споруда для біологічної очистки стічних вод / Магмедов В.Г., Захарченко М.А., Яковлева Л.І., Іщенко В.П., Вишемірська В.Д.; (Україна), заявник та патентовласник Державний проектно-розвідувальний інститут «Харківдипроводхоз», Український науковий центр охорони вод. – № 4018313/SU, заяв. 31.01.1986; опубл. 26.12.1995, бюл. № 4.
7. McIntyre J.K. Soil bioretention protects juvenile salmon and their prey from the toxic impacts of urban stormwater runoff / J.K. McIntyre, J.W. Davis, C. Hinman, K.H. Macneale, B.F. Anulacion, N.L. Scholz, J.D. Stark // Chemosphere. – 2015. – Vol. 132. – Pp. 213-219. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.12.052.
8. Ткачук О.А. Очищення дощового стоку при його регулюванні за допомогою інфільтраційних басейнів / О.А. Ткачук, Я.В. Ярута // Науковий вісник будівництва. – 2019. Т. 95, № 1. С. 204-211.
9. Prasetya A., Prihutami P., Warisaura A.D., Fahrurrozi M., Murti Petrus H.T.B. Characteristic of Hg removal using zeolite adsorption and *Echinodorus palaefolius* phytoremediation in subsurface flow constructed wetland (SSF-CW) model. / A. Prasetya, P. Prihutami, A.D. Warisaura, M., Fahrurrozi, H.T.B. Murti Petrus // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 8, Issue 3. – 103781.
10. Richter O. Phytoremediation by mangrove trees: Experimental studies and model development / O. Richter, H.A. Nguyen, K.L. Nguyen, V.P. Nguyen, H. Biester, P. Schmidt // Chemical Engineering Journal. – 2016. – Vol. 294. – Pages 389-399.
11. Jaskulak M. Modeling assisted phytoremediation of soils contaminated with heavy metals – Main opportunities, limitations, decision making and future prospects / M. Jaskulak, A. Grobelak, F. Vandenbulcke // Chemosphere. – 2020. – Vol. 249. – 126196, – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126196.
12. Wei W., Tong J., Hu B.X. Study on ecological dynamic model for phytoremediation of farmland drainage water. / W. Wei, J. Tong, B.X. Hu. // Journal of Hydrology. – 2019. – Vol. 578. – 124026.
13. Шукин И.С. Исследование процессов очистки поверхностных сточных вод от нефтепродуктов и тяжелых металлов на фитофильтрах / И.С. Шукин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 2. – С. 32-42.
14. Loboichenko V. Comparative analysis of anthropogenic impact on surface waters in Kharkiv region. / V. Loboichenko, V. Strelets, N. Leonova, A. Malko, O. Ilyinskiy // Indian Journal of Environmental Protection. – 2020. – Vol. 40, No. 2. – P. 134-139.
15. Гурбанова М.А. Анализ экологических характеристик основных органических компонентов пенообразователей, используемых в пожаротушении / М.А. Гурбанова, В.М. Лобойченко, Р.И. Шевченко, И.Ф. Дадашов // Техногенно-екологічна безпека. – 2020. – Вип. 7(1/2020). – С. 27-37.
16. Grynchysyn N.N. Phototoxicity of Soil, Polluted by Sodium Flowers for Fire Gases / N.N. Grynchysyn, S.S. Poroshenko // Scientific Bulletin of UNFU. – 2017. – Vol. 27(6). – Pp. 77-80. – DOI: 10.15421/40270615.
17. Turner B.D. Novel remediation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from contaminated groundwater using *Cannabis Sativa L.* (hemp) protein powder / B.D. Turner, S.W. Sloan, G.R. Currell // Chemosphere. – 2019. – Vol. 229. – P. 22-31.
18. Cavaliere A. Do Consumers Really Want to Reduce Plastic Usage? Exploring the Determinants of Plastic Avoidance in Food-Related Consumption Decisions / A. Cavaliere, S. Pigliafreddo, E. De Marchi, A. Banterle // Sustainability. – 2020. – Vol.12, no. 9627. – DOI: 10.3390/su12229627.
19. Villafañe I. Assessment of the Mechanical Properties of Pet Polymer Material from Recovered Plastic Bottles / I. Villafañe, C. Keogh, T.P. Curran, E.G. Reynaud // Present Environment and Sustainable Development. – 2018. – Vol.12, no. 1. – Pp. 203-214. – DOI: 10.2478/pesd-2018-0016.
20. Nasrul A. Effect of PVP on the characteristic of modified membranes made from waste PET bottles for humic acid removal / A. Nasrul, F. Afrillia, A. Sastika, S. Rahmat, M. Sri // F1000RESEARCH. – 2017. – Vol. 6. – P. 668. – DOI: 10.12688/f1000research.11501.2.

Ilinskiy O., Rybalova O., Bryhada O., Bondarenko A., Artemiev S.**APPLICATION OF A MODEL INSTALLATION FOR EVALUATION OF EFFICIENCY OF PHYTOREMEDIATION METHODS OF SURFACE WASTEWATER TREATMENT**

The article provides an assessment of the phytoremediation method as a promising direction of passive protection of soils and water bodies from pollution by surface waste waters, especially those contaminated as a result of fire extinguishing processes. Particular attention is paid to the danger of contamination with anionic surfactants. Natural methods of surface runoff purification have been analyzed, the efficiency of wastewater treatment in troughs with the use of industrial waste has been investigated. The prospects of using environmentally friendly plastic waste (PET, polypropylene, etc.) for the creation of artificial bioengineering structures are noted.

An experimental model installation was developed and installed for testing and evaluating the effectiveness of various methods and methods of phytoremediation. Based on the results of experimental studies, a method is proposed for assessing the effectiveness of using various types of filtering nozzles in troughs for purifying wastewater and various types of vegetation in a research model installation. The effectiveness of phytoremediation to reduce the harmful effect of anionic surfactants on the composition of wastewater after the use of foaming agents in extinguishing fires has been analyzed. An analysis of the use of a filter nozzle from defibrated PET containers showed an increase in the efficiency of phytoremediation processes.

Key words: environmental safety, phytoremediation, surface sewage, natural methods of treatment, model installation, plastic waste, fires.

REFERENCES

1. Ribalova O.V., Brigada O.V., Korobkina K.M., Kravnyukov O.M., Miroshnichenko Í.M. (2019). Vznachennya nebezpeki vplivu lisovikh pozhezh na yakisniy stan runtiv. *Naukoviy visnik budivnitstva*, Kharkiv: KHNUBA, 2(96):413-422.
2. Dadashov I., Loboichenko V., Kireev A. (2018). Analysis of the ecological characteristics of environment friendly fire fighting chemicals used in extinguishing oil products. *Pollution Research*, 37(1):63-77.
3. Rybalova O., Bryhada O., Ilinskiy O., Bondarenko O., Zolotarova S. (2020). Phytoremediation methods for wastewater treatment. *Danish Scientific Journal*, 41:10-13.
4. Hu H., Li X., Wu S., Yang C. (2020). Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status and future perspectives. *Bioresource Technology*, 315:123809. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123809.
5. Magmedov V.G., Zakharchenko M.A. (1993). Posibnik do zastyvaniya vodookhoornikh bioinzenemikh sporud (BÍS) dlya ochistki neminerelizovanih zabrudnenikh vod sil'skogospodars'kogo virobnitstva Ukraina, Khar'kov, 16 p.
6. Magmedov B.G., Zakharchenko M.A., Yakovleva L.I., Ishhenko V.P., Vyshemir'ska V.D. (1995). Patent 7705 Ukraine, C02F 3/00. Sporuda dlya biologicheskoy ochistki stichnikh vod.
7. McIntyre J.K., Davis J.W., Hinman C., Macneale K.H., Anulacion B.F., Scholz N.L., Stark J.D. (2015). Soil bioretention protects juvenile salmon and their prey from the toxic impacts of urban stormwater runoff. *Chemosphere*, 132:213-219. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.12.052.
8. Tkachuk O.A., Yaruta YA.V. (2019). Ochishcheniye doshchovogo stoku pri yego regul'yativnosti za dopomogoyu muzykal'nykh baseyniv. *Naukoviy visnik budivnitstva*, 95(1):204-211.
9. Prasetya A., Prihutami P., Warisaura A.D., Fahrurrozi M., Murti Petrus H.T.B. (2020). Characteristic of Hg removal using zeolite adsorption and *Echinodorus palaefolius* phytoremediation in subsurface flow constructed wetland (SSF-CW) model, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3):103781.
10. Richter O., Nguyen H.A., Nguyen K.L., Nguyen V.P., Biester H., Schmidt P. (2016). Phytoremediation by mangrove trees: Experimental studies and model development, *Chemical Engineering Journal*, 294:389-399.
11. Jaskulak M., Grobelak A., Vandenbulcke F. (2020). Modeling assisted phytoremediation of soils contaminated with heavy metals – Main opportunities, limitations, decision making and future prospects, *Chemosphere*, 249:126196. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.126196.
12. Wei W., Tong J., Hu B.X. (2019). Study on ecological dynamic model for phytoremediation of farmland drainage water. *Journal of Hydrology*, 578:124026.
13. Shchukin I.S. (2018). Issledovaniye protsessov ochistki poverkhnostnykh stochnykh vod nefteproduktov i tyazhelykh metallov na fitofil'trakh. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika*, 2:32-42.
14. Loboichenko V., Strelets V., Leonova N., Malko A., Llyinskiy O. (2020) Comparative analysis of anthropogenic impact on surface waters in Kharkiv region. *Indian Journal of Environmental Protection*, 40(2):134-139.
15. Gurbanova M.A., Loboichenko V.M., Shevchenko R.I., Dadashov I.F. (2020). Analiz ekologicheskikh kharakteristik osnovnykh komponentov penoobrazovateley, ispol'zuyemykh v pozharotushenii. *Tekhnogenno-ekologichna bezpeka*, 7(1/2020):27-37.
16. Grinchishin N.M., Poroshenko S.S. (2017). Fitotoksichnist' runtu, zabrudnenogo rozchinami pinoutvoryuvachiv dlya gasinnya pozhezh. *Naukoviy visnik NLTU Ukraïni*, 27(6):77-80.
17. Turner B.D., Sloan S.W., Currell G.R. (2019). Novel remediation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from contaminated groundwater using *Cannabis Sativa* L. (hemp) protein powder, *Chemosphere*, 229:22-31.
18. Cavaliere A., Pigliafreddo S., De Marchi E., Banterle A. (2020). Do Consumers Really Want to Reduce Plastic Usage? Exploring the Determinants of Plastic Avoidance in Food-Related Consumption Decisions. *Sustainability*, 12:9627. DOI: 10.3390/su12229627.
19. Villafañe I., Keogh C., Curran T.P., Reynaud E.G. (2018). Assessment of the Mechanical Properties of Pet Polymer Material from Recovered Plastic Bottles. *Present Environment and Sustainable Development*, 12(1): 203-214. DOI: 10.2478/pesd-2018-0016.
20. Nasrul A., Afrillia F., Sastika A., Rahmat S., Sri M. (2017). Effect of PVP on the characteristic of modified membranes made from waste PET bottles for humic acid removal. *F1000RESEARCH*, 6:668. DOI: 10.12688/f1000research.11501.2.