

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

СЕРЕДА АНДРІЙ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 628.316: 628.356.23

**ДВОСТАДІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ ІНФІЛЬТРАТИВ СМІТТЄЗВАЛИЩ В
АЕРОБНИХ ЛАГУНАХ ТА МІСЬКИХ ОЧИСНИХ СПОРУДАХ**

21.06.01 Екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2018 р.

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України
Мальований Мирослав Степанович,
Національний університет «Львівська
політехніка» Міністерства освіти і
науки України, завідувач кафедри
екології та збалансованого
природокористування, м. Львів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Попович Василь Васильович,
Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності Державної
служби України з надзвичайних ситуацій,
завідувач кафедри екологічної
безпеки, м. Львів

доктор технічних наук, професор
Мандрик Олег Миколайович,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу
Міністерства освіти і науки України,
проректор з науково-педагогічної роботи,
м. Івано-Франківськ

Захист відбудеться 25 жовтня 2018 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої
спеціалізованої вченої ради К 35.052.22 в Національному університеті
«Львівська політехніка» за адресою:

76057, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 130, аудиторія 105.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці
Національного університету «Львівська політехніка» за адресою:

79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий « 14 » вересня 2018 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради К35.052.22,
к.т.н, доц.



Сабадаш В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сміттєзвалища України на сьогоднішній день є потужними джерелами екологічної небезпеки. Одним із важливих джерел забруднення довкілля в зоні їх впливу є інфільтрати звалищ твердих побутових відходів (ТПВ). На відміну від полігонів ТПВ (які в Україні практично відсутні) звалища не є інженерними спорудами, і, відповідно, у них відсутні системи збору та утилізації інфільтратів та біогазу, протифільтраційний захисний екран, система збору та виведення за межі смітєвого тіла атмосферних вод, не проводиться технічна та біологічна рекультивация заповнених сміттям ділянок.

На стадії проектування сучасних полігонів ТПВ закладається інноваційна технологія очищення зібраного дренажною системою інфільтрату, продуктивність якої відповідає розрахунковій. В період експлуатації пріоритети у виборі системи очищення інфільтрату залежать від історії експлуатації та технічного стану системи збору інфільтрату. Важливим є вибір системи очищення інфільтрату на стадії закриття звалищ ТПВ, для яких досить часто неконтрольований витік інфільтрату спричинює до накопичення значних його об'ємів у ставках-накопичувачах. Завдання є особливо важливим для України, оскільки звалища ТПВ давно потребують закриття. У вирішенні проблеми ліквідації екологічної небезпеки, викликаної інфільтратами сміттєзвалищ на стадії їх закриття, необхідно виділити два етапи:

- 1 – очищення накопичених інфільтратів для уможливлення реалізації в подальшому проекту рекультивации звалища ТПВ;
- 2 – очищення інфільтратів, які після рекультивации звалища ТПВ протягом десятиліть будуть утворюватися в тілі звалища ТПВ в результаті біологічних процесів розкладу органічної складової сміття.

Ці етапи корінним чином відрізняються за об'ємною витратою інфільтратів, які надходять на очищення, фізико-хімічними характеристиками та тривалістю реалізації кожного із етапів. Неefективно передбачати єдину технологію для реалізації обох цих етапів. Причинами цього є технологічні (неможливість забезпечення аспектів повного навантаження та ефективної роботи обладнання) та фінансові (значні перевитрати коштів). Обов'язковою умовою початку рекультивации є попереднє очищення накопичених інфільтратів. У цьому ракурсі перспективною є технологія двостадійного очищення: послідовно в аеробних лагунах та муніципальних каналізаційних очисних спорудах (КОС). Така технологія успішно використовується в багатьох країнах Європи (Швеція, Норвегія, Велика Британія). Але на сьогоднішній день відсутні результати системного аналізу процесів цієї технології для різного складу інфільтратів та різних умов очищення. Цим і викликана відсутність наукових та практичних рекомендацій щодо застосування технології для об'єктів різного типу. Виходячи із цього наукові та практичні дослідження встановлення оптимальних умов реалізації технології двостадійного очищення інфільтратів сміттєзвалищ України різного типу з метою мінімізації екологічної небезпеки в зоні впливу цих сміттєзвалищ (що представлено в дисертації на прикладі Грибовицького сміттєзвалища) є актуальними та важливими.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри «Екологія та збалансоване природокористування» Національного університету "Львівська політехніка" і виконувалась в межах науково-дослідницької роботи кафедри «Очищення і утилізація змішаних стічних вод та забруднених водних середовищ біологічними, реагентними, коагуляційно-флотаційними, адсорбційними та фізичними методами», № державної реєстрації 0117U004017. Дослідження проводились також в межах виконання госпдоговірних робіт «Натурні дослідження стану активного мулу на Львівських міських каналізаційних очисних спорудах КОС-II» (замовник ЛМКП «Львівводоканал»), «Лабораторне моделювання очищення інфільтратів твердих побутових відходів в умовах аеробної лагуни» та «Дослідження оптимальних умов реалізації стадії аерації інтегрованого двостадійного процесу очищення інфільтратів Львівського полігону твердих побутових відходів в лабораторних та натурних умовах» (замовник - Львівський національний університет імені Івана Франка), у виконанні яких дисертант брав безпосередню участь.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є мінімізація рівня екологічної небезпеки в зоні впливу сміттєзвалищ шляхом реалізації двостадійного очищення інфільтратів у аеробних лагунах та міських каналізаційних очисних спорудах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- ідентифікувати джерела екологічної небезпеки ґрунтових, підземних та поверхневих вод в зоні впливу Грибовицького сміттєзвалища;
- провести моніторинг забруднення гідросфери в зоні впливу Грибовицького сміттєзвалища;
- дослідити процес біологічного очищення інфільтратів в аерованій лагуні в статичному режимі;
- встановити оптимальні умови біологічного очищення інфільтратів в аерованій лагуні в динамічному режимі;
- дослідити особливості розвитку біоценозу аерованої лагуни;
- встановити технологічні особливості реалізації стадії попереднього очищення інфільтратів сміттєзвалищ в аерованій лагуні;
- дослідити статичний режим доочищення інфільтратів на міських КОС;
- встановити стабільність параметрів доочищення інфільтратів на міських КОС;
- дослідити вплив важких металів, що містяться у інфільтраті, на склад активного мулу міських КОС;
- дослідити шляхи утилізації відпрацьованого активного мулу.

Об'єкт дослідження - забруднення ґрунтових, підземних та поверхневих вод інфільтратами в зоні впливу сміттєзвалищ.

Предмет дослідження – процеси мікробіологічного очищення інфільтратів сміттєзвалищ у аерованих лагунах та міських каналізаційних очисних спорудах.

Методи досліджень включають в себе розроблені методики експериментальних досліджень, хімічні методи визначення концентрацій сполук азоту, розчиненого кисню та хімічного споживання кисню.

Електрохімічні методи: кондуктометричне визначення електропровідності, рН та розчиненого кисню; потенціометричне визначення іонів амонію.

Наукова новизна одержаних результатів. З ціллю підвищення рівня екологічної безпеки гідросфери дисертантом отримані такі найбільш важливі наукові результати:

1. Вперше встановлено вплив параметрів реалізації процесу (часу затримки інфільтрату в аерованій лагуні, температури, внесення насадкових тіл та періодичності аерації) на ефективність очищення інфільтрату в аерованій лагуні, що дало можливість оптимізувати процес очищення.

2. Вперше досліджені особливості розвитку біоценозу аерованої лагуни, що дозволило прогнозувати розвиток біологічного процесу очищення інфільтрату.

3. Вперше досліджений вплив на склад активного мулу КОС важких металів, які містяться у інфільтратах, що дозволило забезпечити безперервність реалізації процесу доочищення інфільтрату на КОС.

4. Вперше у напівпромислових умовах на прикладі Львівських КОС досліджено особливості біорозкладу, склад газової фази біорозкладу та елементний склад активного мулу після біорозкладу, що дозволило реалізовувати технологічні заходи щодо зменшення екологічної небезпеки від заскладованого активного мулу.

5. Отримали подальший розвиток дослідження особливостей доочищення інфільтрату на міських КОС в статичному та динамічному режимі, що дало можливість встановити необхідну ступінь розбавлення інфільтрату побутовими стоками та підтвердило стабільність процесу доочищення.

Практичне значення одержаних результатів. Аналіз даних експериментальних досліджень дав змогу розробити та запропонувати для впровадження спосіб двостадійного очищення інфільтратів сміттєзвалищ в аеробних лагунах та міських очисних спорудах, на який отримано патент України. Результати експериментального дослідження двостадійного очищення інфільтратів сміттєзвалищ в аеробних лагунах та міських очисних спорудах, описані в дисертаційній роботі та виконані за госпдоговорами № 0543 «Натурні дослідження стану активного мулу на Львівських міських каналізаційних очисних спорудах КОС-II», №0557 «Лабораторне моделювання очищення інфільтратів твердих побутових відходів в умовах аеробної лагуни» та №0558 «Дослідження оптимальних умов реалізації стадії аерації інтегрованого двохстадійного процесу очищення інфільтратів Львівського полігону твердих побутових відходів в лабораторних та натурних умовах» передані для впровадження на комунальне підприємство «Збиранка», яке є оператором Грибовицького сміттєзвалища. Наукові та практичні результати дисертаційної роботи використані у лекційних курсах і практичних роботах з дисциплін «Очищення стічних вод» і «Переробка та утилізація муніципальних відходів» Національного університету «Львівська політехніка» для студентів спеціальності 101 «Екологія».

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто опрацьовано літературні джерела за темою дисертаційної роботи, проведено лабораторні та

натурні експериментальні дослідження, систематизовано й узагальнено експериментальний матеріал, сформульовано науково обґрунтовані висновки, підготовлено патент на корисну модель України. Постановка задач, розроблення методик дослідження процесів очищення стоків, обговорення поставлених завдань проводились та виконувались під керівництвом д.т.н., проф., Заслуженого діяча науки і техніки України Мирослава Мальованого.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були схвалені на таких міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях: Міжнародна науково-практична конференція «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки» (4 грудня 2015., м. Харків); П'ятнадцята міжнародна науково-практична конференція «Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання» (26-27 травня 2016 р., м.Львів); 4-й Міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (21-23 вересня 2016 р., м.Львів); VI Міжнародний молодіжний науковий форум «Litteris et Artibus» (24-26 листопада 2016 р., м.Львів); Міжнародна науково-практична конференція «Екогеофорум-2017 р. Актуальні проблеми та інновації» (22-25 березня 2017 р., м.Івано-Франківськ); V Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми біології, екології та хімії» (26-28 квітня 2017 р., м.Запоріжжя); Всеукраїнська науково-практична конференція «Екологічна безпека: сучасні проблеми та пропозиції» (21 квітня 2017 р., м.Харків); Міжнародна науково-технічна конференція «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів». (25-26 квітня 2017 р., м.Харків); Шістнадцята міжнародна науково-практична конференція «Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання» (25-26 травня, 2017 р., м.Львів); XVII Міжнародна науково-практична конференція «Ідеї академіка В.І. Вернадського та проблеми сталого розвитку освіти і науки» (01-03 червня 2017 р., м.Кременчук); Міжнародна науково-практична конференція «Chemical Technology and Engineering (Хімічна технологія та інженерія)» (26-30 червня 2017 р., м.Львів); Міжнародна науково-практична конференція «Сталий розвиток – XXI століття: управління, технології, моделі. Дискусії 2017» (11-12 травня 2017 р., м.Київ); 2-а Міжнародна науково-практична конференція «Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг» (18-19 жовтня 2017 р., м.Львів), Симпозіум «Сталий розвиток – погляд у майбутнє» (15 вересня 2017 р, м.Львів), Міжнародний науковий симпозіум SDEV'2018 «Сталий розвиток – стан та перспективи» (28 лютого – 03 березня 2018 р., с. Славське), Сімнадцята міжнародна науково-практична конференція «Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання». (24-25 травня, 2019 р., м.Львів); XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Ідеї академіка В.І. Вернадського та проблеми сталого розвитку освіти і науки» (11-13 травня 2018 р., м. Кременчук).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 28 друкованих наукових праць, в тому числі 3 статті – в колективних монографіях, 2 статті – у

виданнях, що входять до наукометричних баз даних (Scopus і Index Copernicus), 3 статті – у наукових фахових виданнях України, 19 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях та 1 деклараційний патент України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 177 сторінках машинописного тексту, ілюстровано 37 рисунками, текст містить 7 таблиць, у бібліографії наведено 143 літературних джерела, дисертація містить 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність завдання, яке розв'язується у дисертаційній роботі, сформульовано мету та завдання дослідження, охарактеризовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено відомості щодо апробації роботи.

Перший розділ присвячений аналізу науково-технічної літератури стосовно оцінки екологічної небезпеки забруднення гідросфери, технологій очищення господарсько-побутових стічних вод та перспективних технологій очищення інфільтратів сміттєзвалищ, досвіду застосування аеробних методів очищення інфільтратів сміттєзвалищ та полігонів ТПВ. Проведений аналіз технологій утилізації відпрацьованого активного мулу. На основі аналізу цієї інформації сформульовані цілі та завдання досліджень.

У другому розділі наведені характеристики матеріалів та об'єктів досліджень, методів та методик проведення експериментальних досліджень, описано експериментальні установки. Запропонована логічно-структурна схема дисертаційних досліджень. Здійснено опис і характеристику Грибовицького (Львівського) сміттєзвалища. Наведена характеристика інфільтратів, які накопичені у ставках-накопичувачах на Грибовицькому сміттєзвалищі та активного мулу КОС. Розроблена та реалізована для Грибовицького сміттєзвалища методика проведення моніторингових досліджень і візуалізації даних цих досліджень. Приведені методики лабораторного моделювання очищення інфільтратів сміттєзвалища в умовах аерованої лагуни, методика дослідження стадії доочищення інфільтрату на КОС та методика досліджень біоценозу, інактивованого в аеробних лагунах. Наведена принципова схема пілотної установки для дослідження анаеробного розкладу відпрацьованого мулу Львівських КОС і методика цих досліджень. Адаптовані до умов досліджень методики аналізу проб (фотометричного визначення амоній-іонів, вимірювання концентрації розчиненого кисню (РК) із використанням киснеміра *sensionb*[™], йодометричний метод визначення РК, методика аналізування біохімічного споживання кисню, методика дослідження елементного складу активного мулу).

Третій розділ присвячено оцінці ступеня екологічної небезпеки від забруднення довкілля в зоні впливу Грибовицького сміттєзвалища. Виділено три потенційних джерела екологічної небезпеки:

1. Сама територія заскладованих твердих відходів разом із збірниками - накопичувачами інфільтратів і спорудами очищення інфільтратів.

2. Територія зберігання кислих гудронів (відходів нафтопереробки), що є власністю ВАТ «Львівський дослідний нафтомастозавод». Проблема їх утилізації чи захоронення залишається актуальною і не вирішеною до сьогоднішнього дня.

3. Господарська діяльність населення (забруднення стоками тваринництва та птахівництва, залишками мінеральних добрив, фекальними стоками, синтетичними мийними засобами).

За умови синергічності впливу цих джерел екологічної небезпеки у загальний розподіл забруднень конкретизувати вплив кожного із джерел складно.

Проведений моніторинг стану забруднень гідросфери в зоні впливу Грибовицького сміттєзвалища та їх візуалізація на карті. Дані моніторингу свідчать про значне поширення забруднення амонійним азотом в ґрунтових водах і підземних водоносних горизонтах. Перевищення ГДК змінюється в широких границях: від (274-560) ГДК (в самих інфільтратах) до (1,3 – 93,1) ГДК (в поверхневих та підземних водах). Це викликає необхідність реалізації заходів щодо збору та очищення інфільтратів, що дозволить ліквідувати екологічну небезпеку забруднення навколишнього середовища в зоні впливу сміттєзвалища. Необхідною умовою технічної рекультивації сміттєзвалища є створення кута відкосу, нормативне значення якого для посадки лісу, чагарників та дерев - не більше 18° , і який на сучасний день значно більший



Рис. 1 - Вид Грибовицького звалища на Google map.

норми. Для створення необхідного для рекультивації кута відкосу необхідне виположування шляхом засипки частини примикаючої території твердим матеріалом (відходами, землею, глиною і т.п.). Але, оскільки, на даний час місце засипки займають озера інфільтратів, яких накопичено на сьогоднішній день за різними оцінками 100 – 150 тис. м³ (рис. 1), то пріоритетним завданням є очищення та відведення цих інфільтратів, що дозволило б розпочати роботи із виположування схилу сміттєзвалища. На нашу думку,

у вирішенні проблеми ліквідації екологічної небезпеки, викликаній інфільтратами Грибовицького сміттєзвалища, необхідно відокремити 2 етапи:

1 - очищення накопичених інфільтратів з метою реалізації рекультивації сміттєзвалища;

2 – очищення інфільтратів, які постійно на протязі десятиліть утворюватимуться в тілі сміттєзвалища в результаті протікання там біологічних процесів розкладу органічної складової сміття.

Оскільки ці етапи корінним чином відрізняються за об'ємами інфільтратів, які поступають на переробку, їх фізико-хімічними характеристиками та часом реалізації кожного із етапів, тому, на нашу думку, передбачувати одну технологію для реалізації цих двох етапів неефективно як з технологічної, так і з фінансової позицій.

На основі проведеного аналізу можливих технологій очищення інфільтратів сміттєзвалища, нашу увагу привернула технологія очищення в аеробному середовищі в умовах аерованої лагуни. Відома практика застосування цієї технології в низці країн Європи дозволяє стверджувати про перспективність її застосування як однієї із стадій попереднього очищення інфільтратів Грибовицького сміттєзвалища із направленням їх в подальшому на доочищення на міські КОС, розвівши перед тим міськими каналізаційними стоками.

Таким чином, збір та очищення інфільтратів є пріоритетною проблемою Грибовицького сміттєзвалища на даний час. Оскільки на стадії спорудження сміттєзвалища не було приділено уваги створенню геологічного бар'єру та фільтратозбірної системи, проблема забруднення ґрунтових вод є значною. В дисертації показано, що вирішення проблеми впровадження інноваційних технологій управління ТПВ можливе лише за умови комплексного підходу: створення умов для проведення технічної та біологічної рекультиваци існуючого сміттєзвалища; забезпечення функціонування системи заходів з метою попередження забруднення довкілля; побудова нового полігону ТПВ, який би відповідав показникам українських нормативних документів та директив Євросоюзу; створення ефективних сміттепереробних комплексів із використанням існуючих передових технологій.

У четвертому розділі приведені результати досліджень стадії попереднього очищення інфільтратів сміттєзвалищ в аерованих лагунах. Стадія реалізується безпосередньо на території сміттєзвалища у геореакторі – водній лагуні, обладнаній системою аерації. У дослідженнях оптимальних параметрів реалізації стадії встановлювались, як особливості процесу в статичному режимі (за умов незмінного об'єму у геореакторі інфільтратів), так і в динамічному (безперервному) режимі очищення, за умови безперервного або періодичного відбору із геореактора порції очищеного інфільтрату та добавлення еквівалентної кількості неочищеного інфільтрату. Для першого (статичного) досліджуваного режиму встановлювалась кінетика зміни параметрів процесу та динаміка очищення від забруднень, залежність процесу очищення від витрати повітря аерації, можливість використання для інтенсифікації очищення внесення свіжих порцій активного мулу, вилученого із стадії аеробного очищення муніципальних стічних вод на КОС. Для другого (динамічного) режиму досліджень встановлювалась залежність ефективності очищення інфільтрату від часу його затримки в геореакторі, температури, внесення в систему насадкових тіл для іммобілізації на них біоценозу, періодичності

аерації. Саме результати цих досліджень дозволяють прогнозувати рівень очищення за різних параметрів навколишнього середовища та реалізації процесу. Окремі дослідження проведені для встановлення особливостей розвитку біоценозу аерованої лагуни.

Дослідження статичного режиму аеробного очищення виконували в лабораторних умовах на установці, яка моделювала умови аерованої лагуни, за такою методикою. В колбу заливався інфільтрат Грибовицького звалища ТПВ, відібраний із ставка-накопичувача в кількості 4 л. Через лабораторний аератор в нижню частину колби подавалось повітря із витратою $4,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$. Початкові параметри інфільтрату: концентрація розчиненого кисню (C_{PK}) – $1,87 \text{ мг}/\text{дм}^3$; рН – 8,64; концентрація іонів амонію – $900 \text{ мг}/\text{дм}^3$; хімічне споживання кисню – $11000 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$. Для статичного режиму досліджень (рис. 2) протягом всього циклу досліджень рН розчину монотонно зростав від 8,64 до 9,47. Для концентрації розчиненого кисню в інфільтраті спостерігаються екстремуми (на перший та дев'ятий день), що може бути пов'язано із періодами інактивації біоценозу, який забезпечує біологічне очищення інфільтрату в аеробних умовах. Аналіз результатів досліджень очищення інфільтрату (рис. 3) свідчить, що за період 16-денного циклу вдалось досягти зменшення ХСК майже в 2 рази, а концентрації іонів амонію – більше, ніж у 3 рази. Проте в реальних умовах ставити завдання очищення до цих максимальних рівнів недоцільно, оскільки це зв'язаного із значними матеріальними та енергетичними затратами.

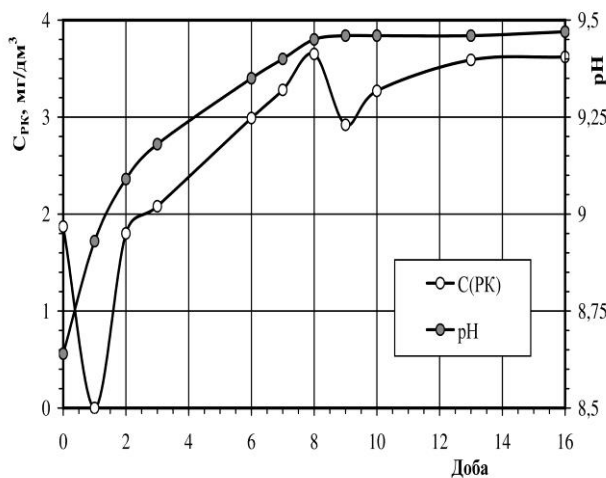


Рис. 2. Кінетика зміни рН та концентрації розчиненого O_2 у інфільтраті.

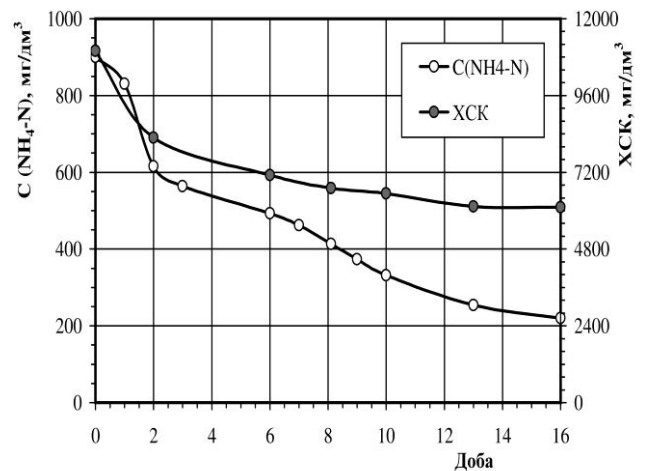


Рис. 3. Кінетика очищення інфільтрату від NH_4^+ та органічних забруднень.

Дослідження залежності динаміки очищення інфільтрату від витрати повітря аерації показало, що в умовах лабораторної установки навіть мінімальні показники аерації дозволяють забезпечити необхідну ступінь біологічного окиснення забруднень, тому їх слід продовжити в умовах промислової установки. Встановлена експериментально автотельність процесу очищення інфільтратів у відношенні добавки активного мулу КОС із початком процесу свідчить про те, що біологічна культура, яка бере участь у очищенні і яка інактивується в системі, відмінна від біоценозу КОС. Внесений штучно

біоценоз КОС не бере участь в очищенні інфільтрату і відмирає у невластивих та нежиттєздатних для нього умовах. Очищення починається після інактивації нового біоценозу, який і забезпечує необхідні умови процесу.

Результати дослідження аеробного біологічного очищення в динамічному режимі на експериментальній установці наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Результати дослідження аеробного біологічного очищення інфільтрату в динамічному режимі на експериментальній установці

Кількість відливу / доливу інфільтрату, мл/добу	Час затримки у реакторі, діб	C (NH ₄ -N), мг/дм ³	pH	C (PK), мг/дм ³	ХСК, мг/дм ³
250	16	583,09	9,38	3,90	5534,7
350	11,5	585,47	9,42	3,87	5536,4
400	10	584,19	9,37	3,91	5535,2
500	8	615,81	9,21	3,95	5487,1

Дослідження показали, що оптимальним часом затримки інфільтрату в реакторі є час 10 діб. У цьому випадку досягається 35 % очищення інфільтратів від іонів амонію і на 50 % зменшення ХСК.

Критерієм впливу температури на динаміку очищення служила зміна відносної концентрації амонійного азоту в інфільтраті (N), яка визначалась за формулою

$$N = \frac{C(NH_4 - N)_{fin}}{C(NH_4 - N)_{in}}, \quad (1)$$

де $C(NH_4 - N)_{in}$ і $C(NH_4 - N)_{fin}$ – відповідно початкова та кінцева концентрації амонійного азоту в інфільтраті, який очищається.

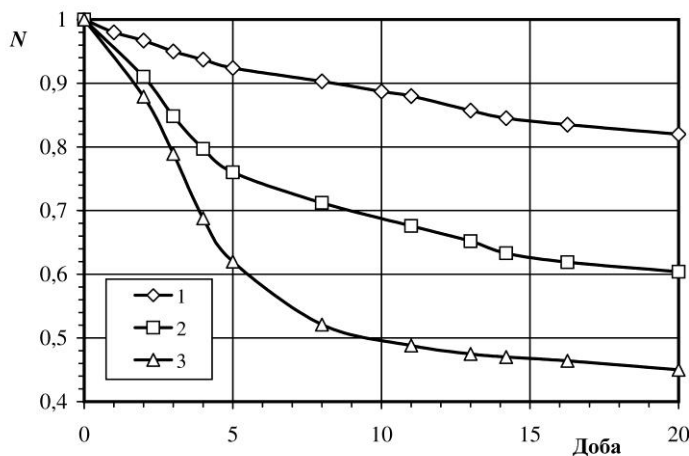


Рис. 4. Зміна відносної концентрації амонійного азоту в інфільтраті для температур реалізації процесу: 13°C(1), 20°C(2) і 30°C(3).

Залежність зміни відносної концентрації амонійного азоту в інфільтраті від температури реалізації процесу представлена на рис. 4. Із нього видно, що кінетика зміни відносної концентрації амонійного азоту в інфільтраті значною мірою залежить від температури, тому для двохстадійної технології очищення інфільтратів звалищ ТПВ в аерованих лагунах та на міських КОС необхідно корегувати режими реалізації окремих процесів враховуючи температуру навколишнього середовища. Зі зменшенням температури навколишнього середовища необхідно або збільшувати час

затримки інфільтрату у аерованій лагуні, або збільшувати кратність розбавлення інфільтратів міськими каналізаційними стоками.

Лабораторними дослідженнями встановлено, що в умовах лабораторної установки іммобілізація біоценозу на насадкових тілах збільшує ступінь очищення, проте не створює вирішального значення на динаміку очищення інфільтрату. Проте слід очікувати, що в натурних умовах аеробної лагуни, іммобілізація біоценозу на носіях у вигляді біоплівки повинна значно інтенсифікувати процес, сприяти технологічності його реалізації.

Досліджувалась залежність ефективності очищення інфільтрату від періодичності аерації для трьох варіантів періодичності: 1 година аерації/1 година відключення подачі повітря; 1 година аерації/4 години відключення подачі повітря та безперервна аерація за умов $C_0=805$ мг/дм³; рН₀=8,46; T=20°C.

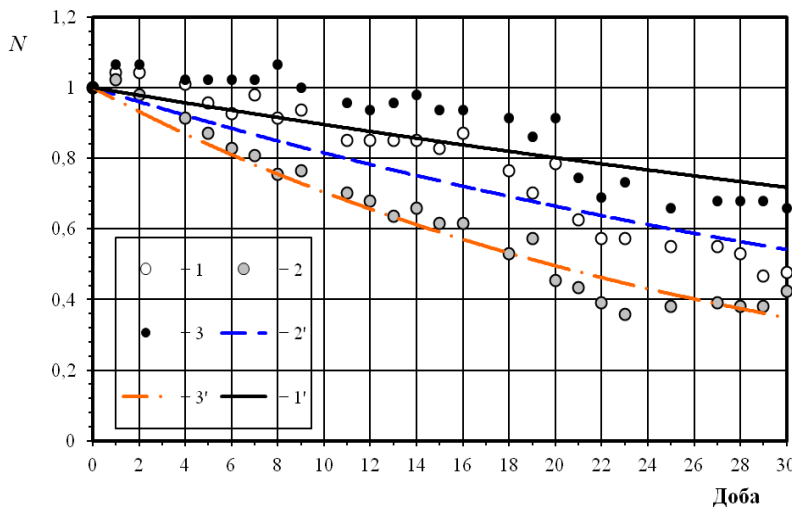


Рис. 5. Зміна в часі відносної концентрації амонійного азоту за різних режимів аерації інфільтрату: 1 – неперервний; 2 – періодичний № 1 (1 година аерації / 1 година перерви); 3 – періодичний № 2 (1 година аерації / 4 година перерви); 1', 2', 3' – відповідні апроксимації за експоненційним законом.

- 1) формування в аерованому інфільтраті аеробного мікробіоценозу протягом часу початкового затримання Δt_0 ;
- 2) біохімічне очищення інфільтрату, яке з достатньою точністю можна описати кінетичним рівнянням для реакцій першого порядку.

Отримано залежність часу початкового затримання Δt_0 від режиму аерації інфільтрату. Для вибраних експериментальних умов ($C_{noc}=805$ мг/дм³; рН₀=8,46; T=20°C) отримали значення $\Delta t_0 = 4$ доби для умов неперервної аерації; $\Delta t_0 = 2$ доби для періодичного режиму № 1 та $\Delta t_0 = 9$ діб для періодичного режиму № 2. Отримані значення константи швидкості реакції: $k_1=0,0262$ діб⁻¹ для неперервної аерації, $k_1=0,0369$ діб⁻¹ для періодичної аерації № 1 та $k_1=0,0203$ діб⁻¹ для періодичної аерації № 2. Це ще раз підтверджує протікання саме біологічних, а не хімічних процесів очищення інфільтратів.

Основним результатом дослідження є те, що ефект очищення за амонійним азотом в режимі періодичної аерації № 1 – вищий, ніж за умов неперервної аерації (рис. 5). Разом з тим, у режимі періодичної аерації № 2 (1 година аерації та 4 години перерви) ефект очищення від амонійного азоту – найнижчий серед трьох досліджених режимів на всіх часових відрізках.

Процес очищення інфільтратів від амонійного азоту можна представити у вигляді наступної двостадійної моделі:

Дослідженнями особливостей розвитку біоценозу аерованої лагуни встановлено, що мікроорганізми, виділені із інфільтрату Грибовицького сміттєзвалища, є перспективними для створення біотехнологій по очищенню забруднених вод, оскільки є стійкими до впливу поширених поллютантів, зокрема, іонів важких металів. Денітрифікувальні бактерії виявлено у біоценозі аерованої лагуни, а в інфільтраті, який піддавався очищенню, їх не виявлено, що також може свідчити про формування біоплівки бактеріями, які входять до складу цього біоценозу. Досліджено технологічні особливості стадії попереднього очищення інфільтратів сміттєзвалищ в аерованій лагуні та запропоновано конкретну схему реалізації процесу на Грибовицькому звалищі ТПВ.

У п'ятому розділі представлені результати досліджень стадії доочищення інфільтратів сміттєзвалищ на міських КОС. У відповідності із запропонованою двостадійною технологією інфільтрати після попереднього очищення в умовах аерованої лагуни безпосередньо на сміттєзвалищі направляються на КОС, де проходить розбавлення їх міськими каналізаційними стоками і остаточне доочищення. На відміну від попередньої стадії, яка вводиться вперше, доочищення на КОС проводиться за існуючою технологією на наявному обладнанні. Тому у цьому випадку не стоїть завдання встановлення оптимальних режимів реалізації процесу. Важливим є встановлення таких параметрів розбавлення інфільтратів, які б не погіршили функціонуючий процес очищення. Одночасно необхідно перевірити ризик концентрування важких металів у активному мулі КОС. У випадку, якщо ці умови виконуються, не потрібно проводити пошуки будь-яких шляхів оптимізації процесу – завдання очищення інфільтратів можна вважати виконаним.

Дослідження проводились на експериментальній пілотній установці, яка була змонтована на Львівських КОС. До складу установки входив модельний аераційний реактор, виготовлений із поліетилену, із внутрішнім діаметром 1,2 м, на дні якого був встановлений трубчастий аератор. Встановлювались значення вхідних концентрацій іонів амонійного азоту та значень ХСК для різних кратностей розбавлення інфільтрату міськими стічними водами М (10; 500; 1000; 1250; 1500). Досліджувалась залежність від цих кратностей розбавлення ефекту очищення суміші стічних вод та інфільтрату від іонів амонію та динаміки зменшення забруднень за ХСК.

Дослідженнями у статичному режимі встановлено, що тільки у випадку кратності розбавлення фільтрату $M=10$ концентрація амонійного азоту в суміші перевищує граничну норму для скиду в каналізацію, тому ця кратність розбавлення недопустима для застосування в реальних процесах очищення. За значення кратності розбавлення інфільтрату міськими стічними водами $M=1000$ досягається максимальне значення ефекту очищення і для іонів амонію, і для ХСК. Слід зазначити, що досліджувалось очищення інфільтратів, які не проходили попереднього очищення в аерованій лагуні (яка на сьогоднішній день не обладнана), і, відповідно, концентрації забруднень у такому інфільтраті вищі, ніж ті, які будуть у попередньо очищеному. У випадку доочищення попередньо очищених інфільтратів у аерованій лагуні ця кратність розбавлення

буде ще меншою, тому приймати на практиці кратність розбавлення інфільтратів міськими стоками більшою за $M=1000$ недоцільно.

Про стабільність дотримання показників очищення в часі, в процесі очищення інфільтратів на міських КОС у динамічному режимі керувались зміною мулового індексу та стабільністю значень ефектів очищення від забруднень. Досліджувалась динаміка осадження активного мулу в процесі довготермінового безперервного очищення суміші інфільтрату та міських каналізаційних стоків. Приймалась кратність розбавлення інфільтрату міськими стічними водами $M=500$. Дослідженнями встановлено, що, починаючи із четвертої доби досліджень, активний мул осідав повільніше і ставав однорідним, що дає підставу зробити висновок про його часткове пригнічення. Проте значення мулового індексу до кінця досліджень не перевищувало граничного для експлуатації міських очисних споруд – $130 \text{ см}^3/\text{г}$. Ймовірно, для повної адаптації біоценозу активного мулу міських КОС необхідно більший період часу. Окрім того, ефективність та стабільність процесу доочищення на міських КОС значно покращиться у випадку реалізації стадії попереднього очищення інфільтрату в умовах аерованої лагуни.

У процесі реалізації динамічного режиму доочищення спостерігалась також стабільність значень ефектів очищення від амонійного азоту та за ХСК. Це свідчить про можливість ефективного доочищення інфільтратів звалищ ТПВ на міських каналізаційних очисних спорудах.

На протязі червня – вересня 2016 року відбувалась подача інфільтратів Грибовицького сміттєзвалища на Львівські міські КОС, де вони розбавлялись побутовими стоками із кратністю 500 і подавались на очищення. Це дало змогу провести дослідження впливу важких металів на склад зольної частини активного мулу. Результати аналізів елементного складу циркуляційного активованого мулу Львівських міських КОС-II, виконаних за допомогою рентгено-флуоресцентного аналізатора EXPERT-3L, вказують на порівняно стабільний вміст макро- та мікроелементів у сухій речовині активованого мулу. Не спостерігається систематичного статистично значимого зростання концентрацій в активованому мулі жодного із важких металів.

Досліджувався біорозклад відпрацьованого активного мулу в термофільних умовах. Встановлено, що виділяється кондиційний біогаз, який може знайти застосування для вирішення різних енергетичних потреб. Елементний аналіз відпрацьованого активного мулу після біорозкладу підтвердив можливість використання його як добрив для рекультивації порушених земель, кар'єрів, териконів, біологічної рекультивації відпрацьованих полігонів ТПВ.

Запропонована схема двостадійного очищення інфільтратів сміттєзвалищ дозволяє ефективно проводити очищення інфільтратів із попереднім очищенням в умовах аерованої лагуни на території сміттєзвалища: транспортування інфільтрату трубопроводом «сміттєзвалище – міські КОС», розбавлення його міськими каналізаційними стоками і доочищення на міських КОС, яка представлена на рис. 6.

У відповідності із цією схемою, інфільтрати збираються у ставку – накопичувачу, який одночасно служить аерованою лагуною. Для цього він обладнується системою аерації згідно із розрахованою необхідною встановленою потужністю і екранується захисним екраном за відомими технологіями.

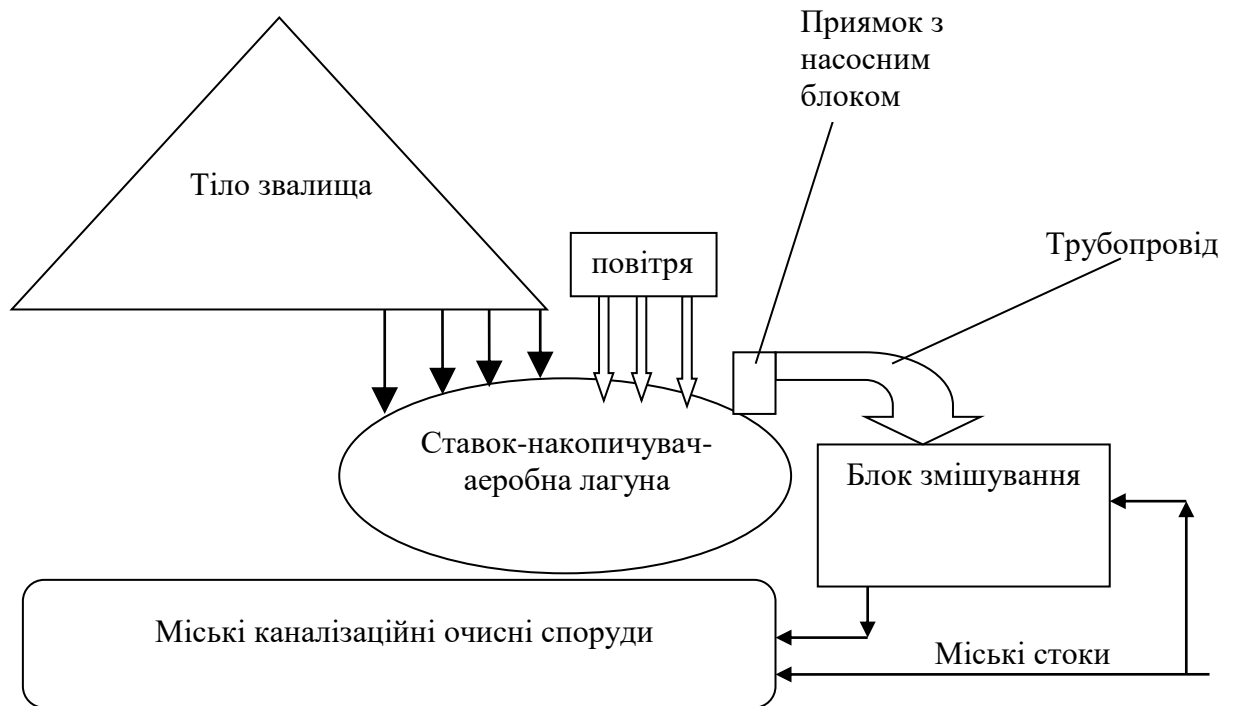


Рис. 6. - Принципова схема двостадійного очищення інфільтратів сміттєзвалищ в аеробних лагунах та міських очисних спорудах.

В аерованій лагуні проходить біологічне аеробне окиснення органічних забруднень та амонійного азоту. Реалізується постійний притік і відбір інфільтратів за умови забезпечення необхідного періоду перебування інфільтрату в реакторі. Відбір інфільтрату здійснюється насосною станцією через встановлений трубопровід «сміттєзвалище – міські КОС» інфільтрат перекачується в блок змішування КОС, де в заданій пропорції змішується із комунальними стоками і в суміші потрапляє на доочищення в міські КОС.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційної роботи розв'язано актуальне науково-практичне завдання підвищення рівня екологічної безпеки шляхом двостадійного очищення інфільтратів сміттєзвалищ у аерованих лагунах та міських каналізаційних очисних спорудах. Основні наукові та практичні результати роботи полягають у:

1. Проведена ідентифікація джерел екологічної небезпеки в зоні впливу Грибовицького сміттєзвалища. Встановлено, що в зоні негативного впливу Грибовицького сміттєзвалища на довкілля можна виділити три потенційних

джерела екологічної небезпеки: заскладовані ТПВ, озера кислих гудронів та господарська діяльність населення, вплив яких синергічний.

2. Результати моніторингу забруднення гідросфери в зоні впливу Грибовицького сміттєзвалища свідчать про значне поширення забруднення амонійним азотом в ґрунтових водах і підземних водоносних горизонтах. Перевищення ГДК змінюється в широких границях: від (274-560) ГДК (в самих інфільтратах) до (1,3 – 93,1) ГДК (в поверхневих та підземних водах).

3. В результаті узагальнення даних досліджень процесу біологічного очищення інфільтратів в аерованій лагуні в статичному режимі встановлено, що протягом всього циклу досліджень рН розчину монотонно зростав від 8,64 до 9,47. Для концентрації розчиненого кисню в інфільтраті спостерігаються екстремуми (на перший та дев'ятий день), що може бути пов'язано із періодами інактивації біоценозу, який забезпечує біологічне очищення інфільтрату в аеробних умовах. За період 16-денного циклу досліджень вдалось досягти зменшення ХСК майже в 2 рази, а концентрації іонів амонію – більше, ніж у 3 рази.

4. У біологічному аеробному очищенні інфільтратів Грибовицького звалища ТПВ від забруднень в динамічному режимі оптимальний час затримки інфільтрату в реакторі склав 10 діб. Зміна відносної концентрації амонійного азоту в інфільтраті значною мірою залежить від температури реалізації процесу, тому для реалізації двостадійної технології очищення інфільтратів звалищ ТПВ в аерованих лагунах та на міських КОС необхідно корегувати режими реалізації окремих процесів враховуючи температуру навколишнього середовища. Встановлено, що найбільш ефективним є процес, який реалізується за умов періодичної аерації (2 година аерації, 1 година перерви), що підтверджує протікання саме біологічних процесів очищення інфільтратів.

5. Встановлено, що мікроорганізми, виділені із інфільтрату Грибовицького сміттєзвалища, є перспективними для створення біотехнологій по очищенню забруднених вод, оскільки є стійкими до впливу поширених поллютантів, зокрема, іонів важких металів. Денітрифікувальні бактерії виявлено у біоценозі аерованої лагуни, а в інфільтраті, який піддавався очищенню, їх не виявлено, що може свідчити про формування біоплівки бактеріями, які входять до складу цього біоценозу. Запропоновано використовувати штучно внесені в систему носії для іммобілізації біоценозу у біоплівці, рішення захищене патентом України.

6. Досліджено технологічні особливості реалізації стадії попереднього очищення інфільтратів сміттєзвалищ в аерованій лагуні та запропоновано схему реалізації процесу на Грибовицькому звалищі ТПВ.

7. Дослідженнями очищення інфільтратів на міських КОС у статичному режимі встановлено, що за значень кратності розбавлення інфільтратів міськими стічними водами $M=1000$ досягається максимальне значення ефекту очищення як за іонами амонію, так і за ХСК.

8. Дослідженнями очищення інфільтратів на міських КОС у динамічному режимі підтверджена стабільність показників очищення в часі. Значення

мулового індексу до кінця досліджень не перевищувало граничного значення для експлуатації міських КОС.

9. Результати аналізів елементного складу циркуляційного активованого мулу Львівських міських каналізаційних очисних споруд КОС-II, виконаних протягом червня–вересня 2016 року за допомогою реагентно-флуоресцентного аналізатора EXPERT-3L, вказують на порівняно стабільний вміст макро- та мікроелементів у сухій речовині активованого мулу. Не спостерігається систематичного статистично значимого зростання концентрацій в активованому мулі жодного із важких металів.

10. Дослідженнями встановлено, що біорозклад відпрацьованого активного мулу в термофільних умовах дозволяє отримати кондиційний біогаз, який може знайти застосування у енергетичних цілях. Елементний аналіз відпрацьованого активного мулу підтвердив можливість використання його як добрив для рекультивації порушених земель, кар'єрів, териконів, біологічної рекультивації відпрацьованих полігонів твердих побутових відходів.

11. Матеріали дисертаційної роботи передані для впровадження на комунальне підприємство «Збиранка», яке є оператором Грибовицького сміттєзвалища.

Список праць за темою дисертації

Колективна монографія

1. Дослідження технології біологічного очищення інфільтратів Грибовицького сміттєзвалища в аеробній лагуні/ Мальований М.С., Жук В.М., Слюсар В.Т., Середа А.С. *Сталий розвиток – XXI століття: управління, технології, моделі. Дискусії 2017*: Колективна монографія. Київ, 2017. С.429-439. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень та аналіз перспектив застосування технологій біологічного очищення інфільтратів.*
2. Technological aspects of the pre-treatment of leachate, stored at the retention ponds of the Grybovychi landfill, Lviv region, Ukraine/ Malovanyu M. and oth. *Water security: monograph*. Mykolaiv: PMBSNU; Bristol: UWE, 2017. P. 88-97. *Особистий внесок – розроблення принципової технологічної схеми очищення інфільтратів сміттєзалищ.*
3. Scientific and technological aspects of a two-stage leachate pretreatment at Lviv municipal solid waste landfil/ Malovanyu M. and oth. *Water supply and wastewater disposal: monograph*. Lublin: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak, 2018. P. 110-123. *Особистий внесок – аналіз ефективності очищення інфільтрату на стадії аерованої лагуни.*

Статті у наукових фахових виданнях, які входять до наукометричної бази даних (Scopus, Index Copernicus)

4. Two-stage landfill leachate treatment in aerated lagoons and at a municipal wastewater treatment plant/ Malovanyu M., Zhuk V., Sliusar V., Sereda A. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 1(10). P. 11-18. **(Scopus)**
Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень, узагальнення результатів експериментів.
5. Аналіз перспектив аеробного очищення інфільтратів сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів/ Мороз О.І. та ін. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27(3). С.83-88. **(Index Copernicus)**. *Особистий внесок – експериментальне дослідження статичного режиму біологічного очищення інфільтратів у аерованих лагунах.*

Статті у наукових фахових виданнях України

6. Аналіз екологічної небезпеки існуючих сміттєзвалищ та стратегія її мінімізації (на прикладі Грибовицького сміттєзвалища) /Мальований Мирослав, Слюсар Віра, Серeda Андрій, Стокалюк Олег. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2017. № 1 (15). С.5-11. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень, розроблення стратегії переходу на нові форми менеджменту твердих побутових відходів.*
7. Біогаз із осадів стічних вод муніципальних каналізаційних очисних споруд в Україні. Перспективи виробництва/ Мальований М.С. та ін. *Хімічна промисловість України*. 2015. № 6(13). С. 34-39. *Особистий внесок – відбір і аналіз проб біогазу та збродженого активного мулу.*
8. Malovanyu M., Sereda A., Sliusar V. Ways to Minimize Environmental Hazards From Pollution of the Environment in the Zone of Influence of the Hrybovychi Landfill. *Environmental problems*. 2017. V 2, N 2. P.65-70. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень.*

Тези доповідей

9. Мальований М.С. Серeda А.С., Мальований А.М. Стратегія уникнення екологічної небезпеки від нагромадження відпрацьованого активного мулу на Львівських очисних спорудах/ *Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки*: зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. Харків: НУЦЗУ, 2015. С.130. *Особистий внесок – аналіз статистичної інформації щодо нагромадження відпрацьованого мулу.*
10. Виробництво біогазу із осадів стічних вод муніципальних каналізаційних очисних споруд в Україні / Мальований М.С., Жук В.М., Серeda А.С., Одуха М.С. *Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання*: Матеріали 15 Міжнар. наук.-практ. конф. 26-27 травня 2016 р. Львів: НУ ЛП, 2016. С. 168-170. *Особистий внесок – оцінка перспектив використання відпрацьованого мулу для виробництва біогазу.*

11. Malovanyu M., Sereda A., Sliusar V Disposal of waste sludge from municipal sewage treatment plants. *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*: зб. матеріалів 4-й Міжнар. конгр. 21-23 вересня 2016 р. Львів: НУ ЛП, 2016. С.160. *Особистий внесок – узагальнення даних експериментальних досліджень та даних статистичного аналізу.*
12. Слюсар В.Т. Середя А.С Дослідження можливості очищення фільтратів львівського полігону твердих побутових відходів аерацією. *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*: зб. матеріалів 4-й Міжнар. конгр. 21-23 вересня 2016 р. Львів: НУ ЛП, 2016. с. 152. *Особистий внесок – аналіз кількості накопичених інфільтратів на Львівському полігоні твердих побутових відходів.*
13. Sliusar Vira, Sereda Andriy, Malovanyu Myroslav Research Possibility of the Previous Cleaning of Filtrates at Lviv landfill by an Aeration Methods. *Litteris et Artibus*: Матеріали. VI Міжнар. молодіжн. наук. форум. 24 - 26 листопада 2016. Львів: НУ ЛП, 2016. С. 476-477. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень.*
14. Дослідження кінетики біологічного очищення інфільтратів Грибовицького сміттєзвалища в аеробній лагуні / Мальований М.С. та ін. «Екогеофорум-2017». *Актуальні проблеми та інновації*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. 22-25 березня 2017 р. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. – С. 141-142. *Особистий внесок – аналіз даних досліджень.*
15. Технологічні аспекти очищення накопичених у ставках-накопичувачах фільтратів Грибовицького сміттєзвалища. Мальований М.С. та ін. *Сучасні проблеми біології, екології та хімії*: зб. матеріалів V Міжнар. наук.-практ. конф. 26-28 квітня 2017 р. Запоріжжя: ЗНУ, 2017– С. 209-210. *Особистий внесок – розроблення принципової технологічної схеми очищення накопичених у ставках-накопичувачах фільтратів Грибовицького сміттєзвалища.*
16. Мальований М.С., Середя А.С., Слюсар В.Т. Алгоритм мінімізації екологічної небезпеки в зоні впливу Грибовицького сміттєзвалища у Львівській області. *Екологічна безпека: сучасні проблеми та пропозиції*: зб. наук. праць Всеукр. наук.-практ. конф. 21 квітня 2017 р. Харків: Харків. держ. наук. б-ка ім. В.Г.Короленка, 2017. С.20-25. *Особистий внесок – проведення та аналіз експериментальних досліджень.*
17. Вашкурак М.Ю., Середя А.С., Мальований М.С. Перспективна технологія біологічного очищення інфільтрату полігонів твердих побутових відходів у аеробних лагунах. *Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів*: матер. Щорічн. міжнар. наук.-техн. конф. (Студентська секція). 25-26 квітня 2017 р. Харків. 2017. С. 156. *Особистий внесок – визначено основні забруднювачі стічних вод і запропоновано альтернативний метод очищення.*
18. Очищення інфільтратів Грибовицького сміттєзвалища в аеробній лагуні / Середя А.С. та ін. *Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання*: матер. 16 міжнар. наук.-практ. конф. 25-26 травня, 2017 р. Львів: НУ ЛП, 2017. С.142-143. *Особистий внесок –*

проведення експериментальних досліджень та визначення ефективних параметрів процесу.

19. Мінімізація екологічної небезпеки від впливу сміттєзвалищ/ Середа А.С. та ін. *Ідеї академіка В.І. Вернадського та проблеми сталого розвитку освіти і науки*: Матеріали XVII Міжнар. наук.-практ. конфер. 01–03 червня 2017 року. Кременчук: КрНУ, 2017. – С.88. *Особистий внесок – оцінка ступеня екологічної небезпеки сміттєзвалищ.*

20. Комбіновані процеси інтегрованих технологій очищення стічних вод із використанням природних сорбентів / Мальований М., Сакалова Г., Шандрович В., Середа А. *Chemical Technology and Engineering*: зб: тез допов. Міжнар. наук.-практ. конф. 26-30 червня 2017 року. Львів: НУ ЛП, 2017. С.400-401. *Особистий внесок – розроблення схем комбінування процесів інтегрованих технологій.*

21. Дослідження вмісту інфільтратів звалища твердих побутових відходів (на прикладі Львівського полігону)/Середа А.С., Слюсар В.Т., Вронська Н.Ю., Мальований М.С. *Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг*: Матер. 2-ї Міжнар. наук.-практ. конф. 18-19 жовтня 2017р. Львів: НУ ЛП, 2017. - С.101. *Особистий внесок – відбір проб інфільтратів та визначення їх складу.*

22. Мальований М., Середа А., Жук В. Розроблення системи заходів для ліквідації екологічної небезпеки в зоні впливу Грибовицького сміттєзвалища. *SDEV'2018*: Матер. Міжнар. наук. симпоз. 28 лютого – 3 березня 2018 р., Славське: НУ ЛП, 2018. С.171-173. *Особистий внесок – аналіз перспективних технологій очищення інфільтратів сміттєзвалищ.*

23. Двостадійна аеробно-реагентна технологія очищення інфільтратів сміттєзвалищ/Мальований М та ін. *SDEV'2018*: Матер. Міжнар. наук. симпоз. 28 лютого – 3 березня 2018 р., Славське: НУ ЛП, 2018. С.147-149. *Особистий внесок – дослідження очищення інфільтратів на модельній установці.*

24. Мікробіоценози озер інфільтратів львівського полігону твердих побутових відходів/Масловська О. та ін. *SDEV'2018*: Матер. Міжнар. наук. симпоз. 28 лютого – 3 березня 2018 р., Славське: НУ ЛП, 2018. С.218-220. *Особистий внесок – ідентифікація біоценозу, який розвивається в умовах аерованої лагуни.*

25. Слюсар В.Т. Середа А.С. Екологічна небезпека, спричинена інфільтратами сміттєзвалищ (на прикладі Грибовицького сміттєзвалища). *Сталий розвиток – погляд у майбутнє*: зб. матеріалів семінару. 15 вересня 2017 р. Львів: НУ ЛП, 2017. - С.40. *Особистий внесок – аналіз забруднення довкілля в зоні впливу Грибовицького сміттєзвалища.*

26. Інноваційні комплексні технології очищення побутових стоків та інфільтратів сміттєзвалищ/Мальований Мирослав та ін. *Ідеї академіка В.І. Вернадського та проблеми сталого розвитку освіти і науки*: Матеріали XVIII Міжнар. наук.-практ. конфер. 11–13 травня 2018 року. Кременчук: КрНУ, 2018. – С.108. *Особистий внесок – аналіз існуючих технологій очищення побутових стоків та інфільтратів сміттєзвалищ.*

27. Вплив режиму аерації на ефективність зменшення вмісту амонійного азоту в фільтратах Грибовицького сміттєзвалища/Мальований М.С., Жук В.М., Середа

А.С., Слюсар В.Т. *Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання*: матер. 17 міжнар. наук.-практ. конф. 24-25 травня, 2018 р. Львів: НУ ЛП, 2018. С.136-139. *Особистий внесок – експериментальні дослідження режимів аерації.*

Патент

28. Спосіб очищення інфільтратів звалищ твердих побутових відходів: пат. 120857 Україна: МПК С02F 3/00. № u201704247; заявл. 28.04.2017; опубл. 27.11.2017, Бюл. № 22. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень.*

АНОТАЦІЯ

Середа А.С. Двостадійне очищення інфільтратів сміттєзвалищ в аеробних лагунах та міських очисних спорудах. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2018.

В дисертаційному дослідженні розв'язане актуальне науково-практичне завдання: підвищення рівня екологічної безпеки гідросфери шляхом двостадійного очищення інфільтратів сміттєзвалищ у аеробних лагунах та міських каналізаційних очисних спорудах. Запропонований спосіб уникнення екологічної небезпеки від інфільтратів сміттєзвалищ дозволить успішно реалізувати в подальшому технічну та біологічну рекультивацію сміттєзвалищ.

Розглянуто методологічні основи досягнення екологічної безпеки сміттєзвалищ в умовах переходу на сучасні технології утилізації твердого побутового сміття в Україні. Наведено дані моніторингу забруднень гідросфери в зоні впливу сміттєзвалища на прикладі Грибовицького (Львівського) звалища ТПВ. Показано, що вирішення проблеми впровадження інноваційних технологій управління ТПВ можливе лише за умови комплексного підходу.

Запропоновано попереднє очищення інфільтрату Грибовицького сміттєзвалища здійснювати в аерованій лагуні, а доочищення - на каналізаційних очисних спорудах Львова. В лабораторних умовах досліджено аеробну стадію (в статичних та динамічних умовах). В статичних умовах досліджено кінетику зміни концентрації $\text{NH}_4\text{-N}$, рН, ХСК та розчиненого кисню в процесі біологічного аеробного очищення інфільтрату, а також залежність цієї кінетики від витрати повітря аерації та добавки активного мулу. В динамічних умовах встановлено оптимальний час затримки інфільтрату в аерованій лагуні, залежність зміни відносної концентрації амонійного азоту в інфільтраті для температури реалізації процесу, добавлення в систему насадкових тіл для іммобілізації на них біоценозу, кінетику зміни відносної концентрації амонійного азоту в інфільтраті від періодичності аерації. Досліджено особливості розвитку біоценозу аерованої лагуни. Проведений аналіз технологічних особливостей реалізації стадії попереднього очищення інфільтратів сміттєзвалищ в аерованій лагуні.

На основі виконаних досліджень на пілотній установці, що імітує роботу Львівських каналізаційних очисних споруд, встановлено мінімально допустиму ступінь розведення фільтратів міськими стоками з метою забезпечення ефективної роботи цих очисних споруд. Для очищення фільтратів на міських каналізаційних очисних спорудах у динамічному режимі підтверджена стабільність показників очищення в часі. Систематичного статистично значимого зростання концентрацій в активованому мулі жодного із важких металів в процесі очищення суміші інфільтрату та побутових стоків не спостерігалось. Елементний аналіз відпрацьованого активного мулу після його біорозкладу підтвердив можливість використання його як добрив для рекультивації порушених земель. В результаті узагальнення даних досліджень запропонована загальна стратегія двостадійного очищення інфільтратів сміттєзвалищ.

Ключові слова: екологічна безпека, інфільтрати, двостадійне очищення, аерована лагуна, біоценоз, каналізаційні очисні споруди, динамічний, статичний режим.

ABSTRACT

Sereda A.S. Two-stage purification of landfill infiltrates in aerobic lagoons and municipal wastewater treatment facilities. – On the rights of manuscript.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (PhD) in the specialty field 21.06.01 – Ecological Safety. - Lviv Polytechnic National University Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2018.

In the dissertation research an actual scientific and practical task is solved: the increase of hydrosphere environmental safety through two-stage purification of landfill infiltrates in aerobic lagoons and municipal pollution control facilities. The proposed method of avoiding the environmental hazard from the landfill infiltrates will allow to successfully implement technical and biological re-cultivation of landfills.

The methodological bases for achievement of environmental safety of landfills in the conditions of transition to modern technologies for solid municipal waste`s utilization in Ukraine were considered. The data of the monitoring of hydrosphere pollution in landfill`s impact zone, on the example of Hrybovyske (Lviv) landfill, of solid municipal waste were collected. It was concluded that solving the problem of introducing innovative technologies for management of solid waste is possible only under the condition of an integrated approach.

Pretreatment of Hrybovyske landfill infiltrates was suggested to be applied in aerobic lagoon and the final treatment – on sewerage pollution treatment facilities in Lviv. The aerobic stage was studied in the laboratory conditions (under the static and the dynamic conditions). Under the static conditions the kinetics of concentrations alteration of $\text{NH}_4\text{-N}$, pH, COD and dissolved oxygen was studied in the process of biological aerobic purification of the infiltrate, as well as the dependence of this kinetics from the air consumption and the addition of active sludge. In dynamic conditions the optimal time of infiltration delay in the aerated lagoon is determined, as well as the dependence of the change in the relative concentration of ammonium

nitrogen in the infiltrate for the temperature of the process implementation, the addition of the adjuvant bodies to the system for immobilization on them of biocenosis, the kinetics of the change in the relative concentration of ammonium nitrogen in the infiltrate from the periodicity of aeration. The peculiarities of the biocenosis development of the aerated lagoon were studied. The analysis of technological features of the pre-cleaning stage of dumps infiltration in the aerated lagoon was carried out.

Based on conducted research in the pilot plant, that imitates work of Lviv sewerage pollution control facilities, a minimal permissible level of the filtrates dissemination in the municipal sewage was set, aiming the effective work supply of these pollution control facilities. In order to clean the filtrates in municipal sewage treatment plants, the stability of the time clearing indicators has been confirmed in dynamic mode. No systematic statistically significant increase in concentrations of any of the heavy metals in the activated sludge in the process of cleaning the mixture of infiltration and household effluents was observed. During the elemental analysis of the spent active sludge after its biodegradation it was confirmed that it is possible to use it as a fertilizer for damaged lands re-cultivation. As a result of the generalization of these studies, a general strategy for two-stage cleaning of landfill infiltrates is proposed.

Keywords: environmental safety, infiltrates, two-stage purification, aerobic lagoon, biocenosis, sewerage pollution control facilities, dynamic, static regime.

АННОТАЦИЯ

Серета А.С. Двухстадийная очистка инфильтратов свалок в аэробных лагунах и городских очистных сооружениях. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.06.01 «Экологическая безопасность». - Национальный университет «Львовская политехника», Львов, 2018.

В диссертационном исследовании решена актуальная научно-практическая задача: повышение уровня экологической безопасности гидросферы путем двухстадийной очистки инфильтрата свалок в аэробных лагунах и городских канализационных очистных сооружениях. Предложенный способ избегания экологической опасности от инфильтрата свалок позволит успешно реализовать в дальнейшем техническую и биологическую рекультивацию свалок.

Рассмотрены методологические основы достижения экологической безопасности свалок в условиях перехода на современные технологии утилизации твердого бытового мусора в Украине. Приведены данные мониторинга загрязнений гидросферы в зоне влияния свалок на примере Грибовицкой (Львовской) свалки ТБО. Показано, что решение проблемы внедрения инновационных технологий управления ТБО возможно лишь при условии комплексного подхода.

Предложено предварительную очистку инфильтрата Грибовицкой свалки осуществлять в аэрированной лагуне, а доочистку - на канализационных очистных сооружениях Львова. В лабораторных условиях исследована аэробная стадия (в статических и динамических условиях). В статических условиях исследована кинетика изменения концентрации $\text{NH}_4 - \text{N}$, pH, ХПК и растворенного кислорода в процессе биологической аэробной очистки инфильтрата, а также зависимость этой кинетики от затраты воздуха аэрации и добавки активного ила. В динамических условиях установлено оптимальное время задержки инфильтрата в аэрированной лагуне, зависимость изменения относительной концентрации аммонийного азота в инфильтрате для температуры реализации процесса, добавки в систему насадочных тел для иммобилизации на них биоценоза, кинетику изменения относительной концентрации аммонийного азота в инфильтрате от периодичности аэрации. Исследованы особенности развития биоценоза аэрированной лагуны. Проведен анализ технологических особенностей реализации стадии предварительной очистки инфильтрата свалки в аэрированной лагуне.

На основе исследований на пилотной установке, которая имитирует работу Львовских канализационных очистных сооружений, установлено минимально допустимую степень разведения фильтратов городскими стоками с целью обеспечения эффективной работы этих очистных сооружений. Для очистки фильтратов на городских канализационных очистных сооружениях в динамическом режиме подтверждена стабильность показателей очистки во времени. Систематического статистически значимого роста концентрации в активированном иле ни одного из тяжелых металлов в процессе очистки смеси инфильтрата и бытовых стоков не наблюдалось. Элементный анализ отработанного активного ила после его биоразложения подтвердил возможность использования его как удобрений для рекультивации нарушенных земель. В результате обобщения данных исследований предложена общая стратегия двухстадийной очистки инфильтрата свалок.

Ключевые слова: экологическая безопасность, инфильтрат, двухстадийная очистка, аэрированная лагуна, биоценоз, канализационные очистные сооружения, динамический, статичный режим.