

М.Б. Корбут, ст. викл.
Житомирський державний технологічний університет
М.С. Мальований, д.т.н., проф.
Національний університет «Львівська Політехніка»

ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНОГО БАСЕЙНУ В ЗОНІ ВПЛИВУ ЗВАЛИЩА ТПВ М. ЖИТОМИРА ШЛЯХОМ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД ОРГАНІЧНИХ ПОЛЮТАНТІВ, АМОНІЙНОГО АЗОТУ ТА ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Розроблено комбінований спосіб очищення стічних вод від органічних поліютантів, амонійного азоту та важких металів, якій завдяки новому та послідовному виконанню стадій очищення забезпечує можливість очищення висококонцентрованих багатокомпонентних стічних вод, з використанням незначної кількості реагентів і енергії та утворенням біогазу. Доведено можливість використання запропонованого способу для запобігання забруднення водного басейну в зоні впливу звалища ТПВ м. Житомира шляхом очищення стічних вод.

Ключові слова: полігон ТПВ (твердих побутових відходів), звалище, фільтрат, стічні води, органічні поліютанти, амонійний азот, важки метали.

Постановка проблеми. Полігони та звалища ТПВ є потужними джерелами забруднення всього навколишнього середовища – атмосфери, гідросфери, ґрунтів. Через різноманіття відходів, що надходять на звалища та полігони, оцінити хімічний склад відходів досить складно. Аналіз дрібних фракцій муніципальних відходів на багатьох полігонах дозволив виявити значний діапазон вмісту важких металів у субстратах ТПВ (мг/кг): Cd – 9,5–1290; Cu – 5,0–2000; Ni – 4,0–512; Zn – 34,6–7680; Mn – 65,0–1212; Cr – 10,4–2797; V – 8,9–914; Ti – 210–6200; Co – 2,0–242. Порівняно із незабрудненими ґрунтами, субстрати полігонів ТПВ найбільш збагачені Cu (до 1500 разів), Cd (до 408 разів), Zn (до 290 разів), Pb (до 107 разів), Cr (до 78 разів), Co (до 40 разів), V (до 27 разів), Ni (до 25 разів). На полігонах або звалищах на глибині 1,5–2 м і більше завжди виявляється рідина сіро-чорного кольору з БПК₅ в межах 500 – 5 тис. мг/дм³. Це так званий фільтрат, дуже отруйна рідина, яка безперервно витікає з товщі відходів. Токсичність фільтрату не зменшується навіть при його розведенні в 100 разів. Як правило, ці звалища не обладнані протифільтраційними екранами, системами збору фільтрату, який утворюється в тілі звалища внаслідок випадання атмосферних опадів і процесів розкладання органічних речовин, не здійснюється щоденне перекриття добового обсягу вивезених відходів ізолюючим шаром. Ґрунтові та поверхневі води, що протікають через земляну засипку, захоплюють розчинені і суспендовані тверді речовини та продукти біологічного розкладання, тому розчини вилуговування ТПВ містять різні хімічні елементи та сполуки [1].

Для розробки найбільш ефективних методів захисту та для мінімізації цього впливу потрібне всебічне вивчення механізмів і масштабів взаємодії джерела забруднення та навколишнього середовища. У зв'язку з цим, вивчення зон впливу полігонів ТПВ на гідросферу є актуальним питанням сучасності, з точки зору захисту та охорони природних вод.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У західній літературі матеріали, що стосуються тематики антропогенного навантаження на природні води в місцях складування ТПВ, з'явилися ще в 90-х роках минулого століття. Основним напрямком досліджень є вивчення змін хімічного складу природних вод під дією фільтрату. Такі дослідження проводяться в Центрі міського середовища в Лондоні RJ Slack, J.R. Gronow і N. Voulvoulis. У роботах [2, 3] описується склад фільтрату, якій утворюється на полігонах ТПВ і шляхи його міграції в підземні води. У Англії функціонує Школа цивільного будівництва та навколишнього середовища (School of Civil Engineering and the Environment) під керівництвом професора William Powrie, одним з напрямком діяльності якої є вивчення проблеми твердих побутових відходів та впровадження в систему їх управління новітніх наукових розробок. Проблеми звалищ ТПВ у США (Флориді) присвячена діяльність Richard A. Statom (Department of Geology and Geological Engineering, штат Колорадо) і Geoffrey Thyne (International Ground Water Modeling Center, штат Колорадо) [4], велика увага в їх дослідженнях приділяється можливості прогнозування зміни хімічних і фізичних властивостей фільтрату в часі. У США виходить журнал, присвячений проблемам гідрогеології – «DRAFT – Submitted to Hydrogeology Journal», в якому розглядаються проблеми забруднення природних вод відходами. Моніторингу якості підземних вод з метою запобігання аварійних ситуацій в районах звалищ на прикладі Канади присвячені дослідження Е. Зальцберг [5]. Методи контролю за станом якості природних вод в районах звалищ побутових відходів вивчаються в Інституті геохімії Китайської академії наук (КНДР). Зокрема, робота Aizhong Ding, Zonghu Zhang, Jiamo Fu та інших присвячена методам біохімічного контролю складу фільтрату [6]. У Росії проблемами ТПВ займаються велика кількість наукових інститутів. У Московському регіоні слід виділити роботи Л.П. Грибанової, присвячені комплексній

оцінці екологічного стану полігонів і звалищ відходів виробництва та споживання Московської області [7–9]. Науковий інтерес з тематики чинників утворення фільтрату також являють роботи професора Пермського державного технічного університету Я.І. Вайсмана [10]. В Україні найбільш значимим ім'ям, пов'язаним з дослідженням проблем щодо управління та поведження з ТПВ, є ім'я професора Донецького національного технічного університету М.С. Краснянського. В одній зі своїх публікацій, він розглядає впливу звалищ ТПВ м. Донецька та м. Макіївки на природне середовище [11]. Загальним висновком всіх перерахованих вище досліджень можна вважати те, що фільтрат містить велику кількість забруднюючих речовин в основному іонів важких металів та сполук азоту [12, 13].

Зазвичай захист від забруднення ґрунтів та ґрунтових вод здійснюється шляхом влаштування спеціального протифільтраційного екрану впродовж всього днища та бортів полігону, системи перехоплення, відведення та очищення фільтрату, а також системи спостережних свердловин для контролю якості ґрунтових вод. Захист поверхневих водних об'єктів від забруднення зливовими та талими водами, що стікають з території полігону, обмеженої лісосмугою, здійснюється шляхом очищення поверхневого стоку та відведення транзитних поверхневих вод [14, 15].

Стічні води полігонів поділяються на такі групи:

- дренажні води або фільтрат, які просочуються в ґрунт, забруднюючи його та підземні води;
- стічні води, які утворюються в результаті опадів і стікають поверхнею сміття, забруднюючи тим самим як поверхневі, так і ґрунтові води.

При аналізі літературних джерел було розглянуто існуючі методи знезараження фільтраційних вод полігонів ТПВ та обґрунтування їх вибору на кінцевих етапах життєвого циклу полігонів, досліджено процеси деструкції ТПВ, формування фільтраційних вод, які проведені спеціалістами з охорони навколишнього середовища [16–24].

Відомий спосіб очищення стічних вод від амонійного азоту [24], що містить двостадійну біологічну очистку у біореакторах із імобілізаційними насадками із залученням нітрифікуючих бактерій та апамтох-бактерій: на першій стадії очищення стічні води розділяються на 2 потоки у заданому співвідношенні за об'ємом, один із цих потоків подають в аеробний біореактор, де він обробляється нітрифікуючими бактеріями, а другий потік – в анаеробний реактор, де відбувається обробка гетеротрофними анаеробними бактеріями. В подальшому ці потоки об'єднуються в Апамтох-біореакторі, де відбувається друга стадія очищення. Апамтох-процес реалізується в анаеробних умовах і дозволяє забезпечити значну економію енергії внаслідок відсутності аерації. Проте спосіб не дозволяє досягти комплексного очищення висококонцентрованих багатокомпонентних стічних вод, оскільки не дозволяє очищати їх від важких металів та органічних забруднень. Окрім того, такі стічні води характеризуються високим вмістом легкозасвоюваних органічних сполук, тому бактерії Апамтох не зможуть конкурувати з денітрифікуючими бактеріями через низьку швидкість росту перших [26], що знижує загальну ефективність очищення фільтратів від амонійного азоту.

Відомий спосіб переробки рідких стоків тваринницьких ферм [27], який містить відділення фільтрату від твердої фази, упарювання фільтрату, його метанове зброджування, відділення та збір біогазу. Спосіб дозволяє ефективно очистити стічні води від органічних забруднень. Проте цей спосіб не забезпечує очищення від амонійного азоту та важких металів, які присутні в висококонцентрованих багатокомпонентних стічних водах.

Відомий спосіб очищення стічних вод, що включає очищення від органічних забрудників, амонійного азоту та важких металів [28]. Очищення від органічних забрудників здійснюють шляхом послідовної обробки стічних вод коагулянтном і флокулянтном з наступним відстоюванням та фільтруванням, обробкою пероксидом водню з кислотою. Очищення від важких металів здійснюють шляхом оброблення стічних вод лужним реагентом з наступним відстоюванням та фільтруванням. Очищення від амонійного азоту здійснюють шляхом віддувки аміаку. Після чого проводять корегування рН та фільтрування. Проте цей спосіб не може забезпечити високий ступінь очищення висококонцентрованих багатокомпонентних стічних вод, якими є фільтрати полігонів твердих побутових відходів, оскільки при його реалізації важко досягти вузьких значень рН для реалізації окремих процесів внаслідок багатокомпонентного складу та змінного в часі рН стічних вод, складності в досягненні необхідного рівня гомогенізації. Окрім того, спосіб потребує використання великої кількості реагентів та підвищеної кількості енергії для аерації розчину, а вилучений аміак потребує розроблення та впровадження окремої технології його утилізації.

Мета дослідження. Розроблення способу очищення стічних вод від органічних поллютантів, амонійного азоту та важких металів, який можна було б використовувати для запобігання забруднення навколишнього природного середовища, зокрема водного басейну стічними водами місця збору ТПВ м. Житомира.

Викладення основного матеріалу дослідження. На кожному полігоні ТПВ, по-перше, обов'язково повинна бути система збору фільтрату і, по-друге, фільтрат повинен піддаватись повному очищенню. Саме цим полігон ТПВ відрізняється від звалища.

В умовах відсутності стандартів з термінології у сфері поводження з відходами виникає непорозуміння щодо визначення понять «звалище ТПВ», «полігон ТПВ». У «Вказівках щодо організації та вдосконалення контрольованих звалищ (полігонів) для міст УРСР» РДМУ 204 УРСР 025-81 зазначено:

- звалище – територія, на якій ТПВ складають без виконання санітарних вимог;
- полігон – територія, на якій ТПВ складають відповідно до санітарних вимог.

Коли ми вживаємо термін "звалище ТПВ", то вкладаємо поняття місця видалення твердих побутових відходів, на яке не розроблявся проект, що не обладнане технічно (в тому числі протифільтраційним екраном) і не забезпечує екологічну та санітарну безпеку. Такий термін найбільш підходить до реально існуючих місць видалення ТПВ як у Житомирській області, так і в Україні в цілому. Побудовані сміттєзвалища до зарегулювання цього питання підзаконними актами та державними будівельними нормами, начебто також мають право подовжувати існувати. Однак це питання з природоохоронної та санітарно-епідеміологічної точки зору є досить дискусійним. Саме тому існуючі звалища то забороняють експлуатувати, то знову дозволяють. Мінбуд України наказом від 10.01.2006 № 5 затвердив «Рекомендації з удосконалення експлуатації діючих полігонів та звалищ твердих побутових відходів». Ці Рекомендації призначені для удосконалення експлуатації діючих полігонів та звалищ твердих побутових відходів, незалежно від їх підпорядкованості, які не мають проектів, роботи на яких виконуються з порушенням технології захоронення ТПВ, а персонал не забезпечений необхідними санітарно-гігієнічними умовами. Нажаль за перерахованими ознаками «полігон ТПВ» в місті Житомир є «полігоном» формально і лише на паперах (полігон працює без проекту, протифільтраційний екран відсутній), тому в подальшому тексті використовується термін «звалище ТПВ».

В тілі звалища ТПВ фільтрат утворюється за рахунок ТПВ підвищеної вологості, а також за рахунок атмосферних опадів. Середньорічний об'єм надходження ТПВ на «полігон» м. Житомира – 162,2 тис. м³, або 54 тис. т при питомій вазі 0,333 т/м³. Розрахункова вологість – 60 %. Тобто за 1 рік на полігон вноситься близько 32,4 тис. м³ гравітаційної води. Під дією атмосферних опадів фільтрат утворюється під час танення снігу і випадіння дощів інтенсивністю більше, ніж «крапаючий». Дощ «крапаючий» для Північно-Західної території України складає 0,25 мм/рік, за один такий дощ випадає 1,00–1,25 мм опадів. Сума опадів для даної території складає 562 мм/рік (за даними репрезентативної метеостанції Житомир). Враховуючи середню площу тіла полігону (18,7 га), середньорічний об'єм опадів на тіло полігону складає 105,094 тис. м³/рік. Випаровування з поверхні полігону, яке залежить від суми опадів та радіаційного балансу поверхні випаровування (40,3 ккал/см² рік) та складає 460 мм/рік становить 86,02 тис. м³/рік. Таким чином, після проведених розрахунків об'єм утворення фільтрату на полігоні складає 51,47 тис. м³/рік, або 141 м³/добу (рис. 1). Експлуатація Житомирського полігону ТПВ практично на протязі всього терміну його функціонування проводилася тільки з частковою поверхневою герметизацією шарів сміття. Внаслідок цього звалищний масив формувався, як відкрита високоопорова система, що легко пропускає води від атмосферних опадів і води поверхневого змиву. В результаті накопичене сміття інтенсивно насичувалося інфільтраційними водами (інфільтратами), які в процесі міграції забруднювалися різними шкідливими речовинами.

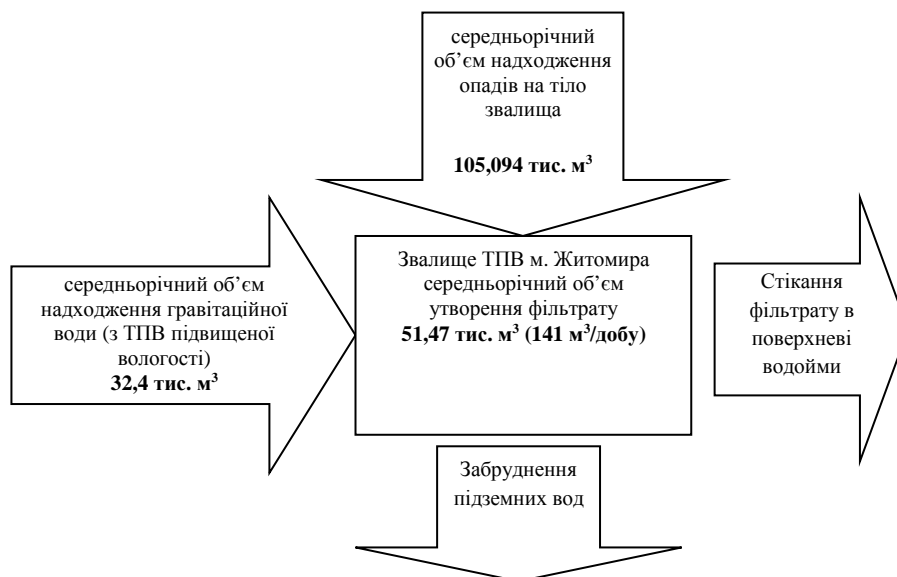


Рис. 1. Умови формування фільтрату на звалищі ТПВ м. Житомира та його потенційна екологічна загроза

У раніше здійснених дослідженнях щодо забруднення поверхневих вод за рахунок стікання та виток фільтрату проаналізовано кількісні показники вмісту забруднюючих речовин в водоймах, які знаходяться поруч з «полігоном». Аналіз показників проб фільтрату відстійників показав, що такі хімічні речовини, як фосфати, залізо, кобальт, кадмій, свинець на звалищі ТПВ міста Житомир значно перевищують ГДК, завищені показники ХСК ($124 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ при нормі $30 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$) та БСК ($48 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ при нормі $6 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$), а також лужність та жорсткість в декілька разів перевищують норматив.

В основу пропонованого способу очищення інфільтратів покладено ідею, яка полягає в тому, що в нове та послідовне виконання стадій очищення забезпечило би можливість очищення висококонцентрованих багатокомпонентних стічних вод, з використанням незначної кількості реагентів і енергії та утворення біогазу.

Поставлене завдання вирішується тим, що у способі очищення стічних вод, комбінується очищення від органічних забрудників, амонійного азоту та важких металів. Очищення від органічних забрудників здійснюють в біохімічному реакторі з вертикальним рухом рідинної фази через шар анаеробного мулу з отриманням біогазу, а очищення від амонійного азоту здійснюють у реакторі з бактеріями, що забезпечують Анаптох-процес, при цьому очищення від важких металів здійснюють після очищення від амонійного азоту.

Це дозволяє очистити висококонцентровані багатокомпонентні стічні води від органічних забрудників, амонійного азоту та важких металів, забезпечує енергоощадність в процесі біологічного очищення стічних вод від органічних забрудників із одержанням низькокалорійного біогазу, що подається в систему збору біогазу полігону, використання мінімальної кількості реагентів необхідних для очищення, ліквідувати енергетичні витрати на аерацію та витрати на введення в систему додаткового джерела азоту на стадії очищення стічних вод від амонійного азоту, оскільки процес відбувається в анаеробних умовах.

Дослідження процесу очищення від органічних забрудників проводились нами у термостатованому біохімічному реакторі об'ємом 3,5 л. з шаром анаеробного мулу об'ємом 1 л. Швидкість прокачування – 9,6 л/добу. В його нижню частину перильстатичним насосом подавали стічні води зі звалища твердих побутових відходів. Утворений біогаз відводили в газгольдер мокрого типу, контролювали вихід газу та його склад (за методом абсолютного калібрування на хроматографі "Газохром 3101"). У вхідних та очищених від органічних забруднень фільтратах визначали ХСК (хімічне споживання кисню) [29]. Дослідження проводили за різних значень температур. Результати досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Умови та результати дослідження

№ з/п	Температура, °С	Об'єм біогазу, см ³ /(добу. л. фільтратів)	Вміст метану, %	ХСК
Вхідні стоки				
	–	–	-	6880
Очищені стоки				
1	30	22,9	15,2	3520
2	32	29,2	18,1	3040
3	34	30,2	17,4	3150
4	36	29,3	17,5	3230

Аналіз результатів стадії очищення від органічних забруднень свідчить, що найкращі умови перебігу процесу спостерігаються за температури 32–340 °С. За температури нижче 320 °С спостерігається уповільнення біохімічного процесу, температуру вище 340 °С підвищувати недоцільно, оскільки суттєвого покращення процесу не спостерігається, а додатковий нагрів стічних вод потребує додаткової витрати енергії.

Дослідження ефективності очищення від амонійного азоту проводили у реакторі, в якій подавали стічну воду з таким вмістом речовин: Na_2HPO_4 – 59 мг/л; NaNO_2 – 100 мг/л; NH_4Cl – 70 мг/л; NaHCO_3 – 714 мг/л; KCl – 373 мг/л; 1 мл/л розчину мікроелементів з наступним вмістом речовин в г/л: трилон Б – 19,1; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,43; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 0,24; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 0,99; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 0,25; $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,22; $\text{NiNO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 0,18; $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – 0,098; H_3BO_4 – 0,014, що відповідає складу стічних вод після змішування двох потоків – з аеробного та анаеробного біореакторів.

У реакторі на природних носіях були іммобілізовані бактерії виду *Brocadia*, *Kuenenia*, *Scalindua*, що реалізують ANAMMOX-процес.

Температура процесу була в межах 27–32 °С, рН середовища підтримували в межах 7,5–8,0. Проби відбирали з періодичністю 3 рази на тиждень на вході та на виході з експериментальної установки та аналізували на вміст іонів амонію [30] (табл. 2).

Таблиця 2

Результати очищення від амонійного азоту

День	Концентрація амонійного азоту*, мг/л	
	на вході в стадію	на виході зі стадії
2	63,8	5,1
5	66,8	7,1
10	61,2	5,7
15	75,2	8,4
20	71,9	9,9
25	71,6	10,7
30	76,4	9,4
35	79,6	9,0
40	76,8	5,6
45	64,2	3,6
50	67,1	3,0

Примітка: * – концентрація амонійного азоту за азотом

ГДК амонійного азоту у воді господарсько-питного водопостачання і рибогосподарського призначення рівні 2,0 та 0,5 мг/л відповідно.

Як видно із отриманих результатів, ANAMMOX-процес є високоефективним методом вилучення амонійного азоту і не потребує великої кількості енергії та додаткового джерела азоту, а, отже, може застосовуватись для очищення висококонцентрованих багатоконпонентних стічних вод від амонійного азоту.

Дослідження ефективності очищення від важких металів здійснювали таким чином. Стічні води після стадії очищення від амонійного азоту оброблялись лужним реагентом – 10 % розчином вапняного молока і подавались у відстійник-освітлювач, де відбувалося повне очищення від зважених речовин. В процесі досліджень вимірювались значення БПК (біологічна потреба в кисні) та ХПК (хімічна потреба в кисні). Результати досліджень наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати очищення від важких металів

№ з/п	Параметр, що вимірювали	На вході в стадію	На виході із стадії	ГДК речовин у воді	
				господарсько-питного водопостачання	рибогосподарського призначення
1	БПК, мгО ₂ /л	1600	20	–	–
2	ХПК, мгО ₂ /л	800	8	–	–
3	Залізо, мг/л	25	0,5	0,3	0,005
4	Цинк, мг/л	0,5	0,05	1,0	0,01
5	Свинець, мг/л	0,11	0,002	0,03	0,1
6	Хром, мг/л	0,68	0,002	0,05	0,001
7	Кадмій, мг/л	0,03	0,001	0,001	0,005

Висновки. Розроблено комбінований спосіб очищення стічних вод від органічних поллютантів, амонійного азоту та важких металів: очищення від органічних забрудників здійснюється в біохімічному реакторі з вертикальним рухом рідинної фази через шар анаеробного мулу з отриманням біогазу, очищення від амонійного азоту здійснюється у реакторі з бактеріями, що забезпечують Анаммох-процес, при цьому очищення від важких металів здійснюється після очищення від амонійного азоту.

Аналіз результатів експериментальних досліджень запропонованого способу очищення стічних вод від органічних поллютантів, амонійного азоту та важких металів, завдяки новому та послідовному виконанню стадій очищення забезпечує можливість очищення висококонцентрованих

багатокомпонентних стічних вод, з використанням незначної кількості реагентів і енергії та утворення біогазу на стадії очищення від важких металів свідчить про те, що він дозволяє ефективно провести очищення від багатокомпонентних забрудників, знизивши їх вміст в стічних водах до рівня менше ГДК.

Після очищення вода може бути відведена у поверхневі водойми, що створить умови для запобігання забруднення навколишнього природного середовища, зокрема водного басейну стічними водами місця збору ТПВ м. Житомира.

Список використаної літератури:

1. Управління та поведження з відходами : підручник / Т.П. Шанина, О.Р. Губанова, М.О. Клименко та ін. – Одеса, 2012. – 270 с.
2. Household hazardous waste disposal to landfill: Using LandSim to model leachate migration / Rebecca J.Slack, Jan R.Gronow, David H.Hall, N.Voulvoulis // Centre for Environmental Policy, Imperial College, Prince Consort Road, London.
3. Slack R.J. Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate / R.J. Slack, J.R. Gronow, N.Voulvoulis // Department of Environmental Science and Technology, Imperial College, Prince Consort Road, London.
4. Statom Richard A. Temporal Changes in Leachate Chemistry of a Municipal Solid Waste Landfill in Florida / Richard A.Statom, G.Thyne, John E.McCray // USA. DRAFT // Submitted to Hydrogeology Journal.
5. Зальцберг Э. Мониторинг качества подземных вод в целях предотвращения аварийных ситуаций в районах свалок (на примере Канады) / Э.Зальцберг // Вод. ресурсы. – 1997. – Т. 24, № 5. – С. 630–633.
6. Biological control of leachate from municipal landfills / A.Ding, Z.Zhang, Jiamo Fu and Lirong Cheng Aizhong Ding // Институт геохимии, Китайская академия наук. – Гуанчжоу, провинция Гуандун.
7. Грибанова Л.П. Геоэкологические исследования на Саларьевском полигоне твердых бытовых и промышленных отходов / Л.П. Грибанова, А.П. Афонин // Экол. и пром-ть России. – 1997. – Июнь. – С. 8–10.
8. Грибанова Л.П. Организация и ведение экологического мониторинга на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов в Московском регионе / Л.П. Грибанова, В.Н. Гудкова // Науч. и техн. аспекты охраны окруж. среды / ВИНТИ. – М., 1999. – № 3. – С. 60–64.
9. Грибанова Л.П. Контроль подземных и поверхностных вод в районах полигонов твердых бытовых отходов Московского региона / Л.П. Грибанова, Т.Г. Портнова // Экол. вестн. Подмосковья. – 1993. – № 4. – С. 27–29.
10. Вайсман Я.И. Факторы, влияющие на объем образующегося фильтрата полигонов захоронения (депонирования) твердых бытовых отходов / Я.И. Вайсман, В.Ю. Петров, Т.Г. Серeda // Пробл. охраны окруж. среды на урбанизир. территориях : матер. междунар. конф. студ. и мол. ученых. – Пермь, 1996. – С. 26–38.
11. Бельгасем А. Исследование влияния свалок ТБО г. Донецка и г. Макеевки на природную среду / А.Бельгасем, М.Е. Краснянский // Экология и науч.-техн. прогресс : Матер. III междунар. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и мол. ученых. – Пермь, 2005. – С. 247–255.
12. Крилюк В.М. Екологічний аудит як дієвий засіб прийняття практичних рішень в сфері екологічної безпеки / В.М. Крилюк // Екологічна безпека. – 2012. – № 1. – С. 31–34.
13. Каишковский В.И. Сточные воды свалок твердых бытовых отходов: проблемы решения / В.И. Каишковский, В.В. Войновский // Сотрудничество для решения проблемы отходов : V междунар. конф. – Х., 2009. – С. 39–45.
14. Мальований М.С. Утилізація дренажних вод полігонів твердих побутових відходів / М.С. Мальований, Н.Ю. Малик, В.В. Рошко // I Всеукраїн. з'їзд екологів (ECOLOGY–2006) : матер. міжнар. наук.-практ. конф. (4–7 жовт. 2006 р., Вінниця). – Вінниця, 2006. – С. 32.
15. Гайдін А.М. Комплексне вирішення проблеми Львівського сміттєзвалища / А.М. Гайдін, В.О. Дяків, І.І. Зозуля // Сотрудничество для решения проблемы отходов : сб. IV Междунар. конф. (31 янв.–1 февр. 2007 г., Харьков). – Х., 2007. – С. 224–227.
16. Barlaz M.A. Mass balance analysis of anaerobically decomposed refuse / M.A. Barlaz, R.K. Ham // J. Environ. Eng. ASCE 115(6). – 1989. – Pp. 1088–1102.
17. Barlaz M.A. Methane production from municipal refuse./ M.A. Barlaz, R.K. Ham // Critical reviews in environmental control. – 1990. – Vol. 19 (3, 6).
18. Baccini P. Water and element balances of municipal solid waste landfills / Baccini P., Henseler G., Belevi H. // Waste Management Research. – 1987. Vol. 5. – Pp. 483–499.
19. Baccini P. The landfill. Reactor and Final Storage / Baccini P. // Presented at the Swiss Workshop on Land Disposal //Conference center Gerzensee. Switzerland. – 1988.

20. Вайсман Я.И. Биодegradация загрязняющих веществ в фильтрационных водах / Я.И. Вайсман, Т.А. Зайцева, Л.В. Рудакова // Экология и промышленность России. – 2000. – № 4. – С. 45–48.
21. Вайсман Я.И. Полигоны депонирования твердых бытовых отходов. / Я.И. Вайсман, В.Н. Коротаев, Ю.В. Петров. – Пермь, 2001. – С. 150.
22. Коротаев В.Н. Научно-методические основы и технические решения по снижению экологической нагрузки при управлении движением твердых бытовых отходов : автореф. ... докт. техн. наук / В.Н. Коротаев // Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2000. – 330 с.
23. Рудакова Л.В. Научно-методическое обоснование снижения эмиссии загрязняющих веществ полигонов захоронения твердых бытовых отходов биотехнологическими методами: автореферат д-ра техн. наук / Л.В. Рудакова. – Пермь, 2000.
24. Швецов В.Н. Глубокая очистка природных и сточных вод на биосорберах / В.Н. Швецов, С.В. Яковлев, К.М. Морозова // Водоснабжение и сан. техника. – 1995. – № 11.
25. Пат. на корисну модель України № 33353 «Спосіб біологічного очищення стічних вод від амонійного азоту» / Гвоздяк П.І., Безкровна М.В., Михайловська М.В. // МПК C02F3/30, Бюл. № 12, 2008 р.
26. Suppression of anaerobic ammonium oxidizers under high organic content in high-rate Anammox UASB reactor / C.-J. Tang, P.Zheng, C.-H. Wang, Q.Mahmood // Bioresource technology. – 2010. – № 101(6). – Рр. 1762–1768.
27. Деклараційний патент України № 535112 "Спосіб переробки рідких стоків тваринницьких ферм" / Тенденко С.О., Шапорєв В.П., Перцев Л.П. // МКИ 7 C05F3/00, Бюл. № 1, 2003 р.
28. Деклараційний патент України № 72677 "Спосіб комплексного очищення висококонцентрованих стічних вод" / Корчик Н.М., Бухальська Ю.Г., Омельчук В.П., МПК (2006) C02F 9/00, C02F 1/20, Бюл. № 3, 2005 р.
29. КНД. 211.1.4.021-95. Методика визначення хімічного споживання кисню в поверхневих і стічних водах.
30. КНД 211.1.4.030-95 Методика фотометричного визначення амоній іонів з реактивом Неслера в стічних водах.

КОРБУТ Марія Броніславівна – старший викладач кафедри екології гірничо-екологічного факультету Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– управління та поводження з відходами.

Тел.: (098)259–34–03.

E-mail: myanovskamb@rambler.ru

МАЛЬОВАНІЙ Мирослав Степанович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету "Львівська політехніка".

Наукові інтереси:

– управління та поводження з відходами.

Тел.: (050)371–47–01; (0322)34–00–62.

E-mail: mmal@ polynet.lviv.ua

Стаття надійшла до редакції 25.09.2013