

УДК 759.873.088.5:661.185

WAYS OF CLEANING THE ENVIRONMENT FROM HEAVY METAL POLLUTION

N. Antonyuk, N. Hryzenko

National University of Food Technologies

Key words: <i>Heavy metals</i> <i>Strain</i> <i>Surfactants</i>	ABSTRACT The article presents data on mechanical, physical, chemical and biological methods of cleaning soil from heavy metal pollution. It is noted that the use of mechanical and physical-chemical cleaning methods are costly and may cause another environmental problems, while biological methods are promising for use in environmental technologies. One of biological methods of cleaning involves the use of microorganisms and their synthesized surface-active substances (SAS), which allows removing 70-85% of heavy metal cations from soil. Microbial surfactants can be used for degradation of complex heavy metals from oil contamination. Some studies reported that the use of microbial surfactants can remove 88% of oil and 68% of heavy metals.
---	---

Key words:

Heavy metals
Strain
Surfactants

Article history:

Received 11.07.2014
Received in revised form
19.07.2014
Accepted 10.08.2014

Corresponding author:

N. Antonyuk
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article presents data on mechanical, physical, chemical and biological methods of cleaning soil from heavy metal pollution. It is noted that the use of mechanical and physical-chemical cleaning methods are costly and may cause another environmental problems, while biological methods are promising for use in environmental technologies. One of biological methods of cleaning involves the use of microorganisms and their synthesized surface-active substances (SAS), which allows removing 70-85% of heavy metal cations from soil. Microbial surfactants can be used for degradation of complex heavy metals from oil contamination. Some studies reported that the use of microbial surfactants can remove 88% of oil and 68% of heavy metals.

ШЛЯХИ ОЧИЩЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

Н.О. Антонюк, Н.А. Гриценко

Національний університет харчових технологій

У статті наведено дані про механічні, фізико-хімічні та біологічні методи очищення ґрунтів від забруднення важкими металами. Зазначено, що використання механічних і фізико-хімічних методів очищення є затратним та може спричиняти нові екологічні проблеми, тоді як біологічні методи більш перспективні для використання у природоохоронних технологіях. Одним із таких біологічних методів очищення ґрунтів від важких металів є використання мікроорганізмів і синтезованих ними поверхнево-активних речовин (ПАР), що дає змогу видаляти до 70—85 % катіонів важких металів із ґрунтів. Мікробні ПАР можуть застосовуватись і для деструкції комплексних з важкими металами нафтових забруднення ґрунтів. У деяких дослідженнях повідомляється, що завдяки використанню мікробних ПАР можна видалити 88 % нафти та 68 % важких металів.

Ключові слова: *важкі метали, шлам, поверхнево-активні речовини.*

Антропогенний вплив на довкілля упродовж багатьох десятиріч завдав серйозної шкоди біосфері [1]. Потрапляння різних ксенобіотиків у ґрунти спричиняє негативні зміни фізико-хімічних і агрохімічних властивостей,

погіршення умов життєдіяльності ґрунтової біоти, порушення нормального росту й розвитку культурних рослин. До найнебезпечніших забрудників належать важкі метали, в тому числі і радіонукліди, а також пестициди [2].

Важкі метали надходять у ґрунт у формі оксидів і катіонів (як розчинних, так і практично нерозчинних у воді). Поведінка важких металів у ґрунтах значною мірою відрізняється від властивостей більшості катіонів макроелементів. У разі збільшення кислотності ґрунту елементи важких металів із нерозчинних солей переходять в іонну форму і стають доступними для поглинання їх рослинами [3].

Відомо, що токсичні метали можуть порушувати метаболічну активність клітин кількома різними шляхами. Зв'язуючись із сульфгідрильними групами, вони призводять до конформаційних змін білків і блокують активні сайти ферментів. Цитотоксичність металів може проявлятися за рахунок заміщення необхідних кофакторів і спричинення дефіциту макроелементів. Так, відомо, що для кальцію ймовірними конкурентами є кадмій, ртуть, свинець; для магнію — нікель, мідь, кобальт і цинк; для заліза — алюміній [3].

З метою відновлення та збереження довкілля, враховуючи потенційну небезпеку важких металів для живих організмів, сьогодні широко розглядають питання оцінки шкоди, нанесеної екології, та можливості ліквідації даних речовин із навколишнього середовища [4].

Забруднення металами більш стійкі порівняно із забрудненнями органічної природи (нафтою або пестицидами). Сьогодні існує багато методів, що використовують для ліквідації таких забруднень: механічні, фізико-хімічні та біологічні.

Механічні та фізико-хімічні методи. Суть механічного методу полягає у тому, що забруднену частину ґрунту знімають, після чого її зберігають на біотехнологічному звалищі. Проте такий метод не вирішує даної проблеми, бо термін напіврозпаду металу може становити від 300 років (для цинку) до 5900 (для свинцю) і вище, крім того, є дуже затратним [5].

Фізико-хімічні методи ґрунтуються на створенні комплексів десорбент-метал та їх вимиванні за допомогою розчинника. Застосування фізико-хімічних методів характеризується низькою собівартістю та високою ефективністю видалення металів із ґрунту, проте вимивання комплексу метал-десорбент органічними й неорганічними розчинниками може призводити до погіршення властивостей ґрунтів. Відомо, що за використання фізико-хімічних методів потрібно враховувати багато факторів: рН, температура, час, природа десорбуючої речовини тощо. На практиці для виділення металів із ґрунту широке застосування знайшла динатрієва сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти (ЕДТА) [5]. Так, після обробки ґрунту розчином ЕДТА (у співвідношенні розчин: ґрунт = 6:1) залишкову концентрацію рухливих і кислоторозчинних форм важких металів визначали за методом анодної інверсійної вольтамперометрії (ІВА) на універсальному полярографі ПУ-1. Встановлено, що максимальна ефективність видалення металів спостерігається при рН = 4, при цьому ступінь очищення ґрунту від Cd (II) та Cu (II) становив 65—95 %, а для Pb (II) — 3—33 % [6].

Незважаючи на те, що використання сорбентів для видалення важких металів із ґрунту є досить ефективним і дешевим, їх застосування у природоохоронних технологіях може призводити до створення нових проблем. Вимивання сорбенту органічними та неорганічними кислотами створюватиме додатковий фактор руйнування природних властивостей ґрунтів, виключаючи можливість їх подальшого використання.

Біологічні методи. Сьогодні велику увагу вчених привертають біологічні методи очищення, які характеризуються високою ефективністю та нетоксичністю. Вони поділяються на: фітоекстракцію, очищення за використання мікроорганізмів, очищення за допомогою препаратів ПАР, очищення комплексних забруднень нафтою і важкими металами за допомогою мікроорганізмів і препаратів ПАР [7].

Фітоекстракція. Фітоекстракцією називають видалення важких металів та інших поллютантів із забрудненого ґрунту за допомогою рослин. Суть методу полягає у транслокації металів від коренів до надземних частин рослин і їх накопиченні.

Для запобігання накопичення у ґрунтах важких металів можна висаджувати декоративну рослинність. До таких рослин висувають низку вимог: стійкість до високих концентрацій металів у ґрунті, здатність поглинати декілька металів одночасно у високих концентраціях, забезпечення ефективного транспорту важких металів із кореневої системи у зелену частину рослини, висока швидкість росту, стійкість до різноманітних хвороб і шкідників [7].

Авторами [8] встановлено, що ефективність поглинання рослинами катіонів, купруму кадмію та свинцю залежить від їх комбінацій і концертрацій. Для дослідження використовували звичайну польову траву (райграс), яку вирощували за наявності Cu^{2+} , Cd^{2+} та Pb^{2+} у концентраціях 10, 1 та 5 мг/л відповідно. Крім того, у дослідні зразки вносили речовини, що стимулювали поглинання металів кореневою системою рослин: гістидин, амінополікарбонову кислоту (ЕДДС), поверхнево-активні речовини та неорганічний ліганд. Тривалість дослідів склала 30 діб. Встановлено, що підвищення здатності поглинати метали кореневою системою за додавання стимуляторів пов'язане з переведенням важких металів у більш доступний стан для кореневої системи. Результати показали, що найвищі показники очищення ґрунту від катіонів кадмію та плюмбуму спостерігали за внесення суміші речовин (рамноліпіди + ЕДДС) і досягали 98,5 та 65 % відповідно.

З описаних вище досліджень видно, що використання фітоекстракції для очищення від забруднення важкими металами можливе, проте це дорого-вартісний тривалий процес, який може застосовуватись тільки сезонно, тому застосування даних методів не є доцільним у промислових масштабах.

Участь мікроорганізмів в очищенні ґрунтів від важких металів. Деякі метали необхідні для нормального росту та розвитку всіх живих організмів. Вони можуть виступати кофакторами у ферментах або мікроелементами (наприклад, калій, кальцій, магній, залізо, марганець, цинк, мідь, молібден, нікель, кобальт). Проте для деяких металів не було встановлено жодної

біологічної ролі (свинець, кадмій). Незважаючи на те, що деякі метали необхідні для підтримання нормальної життєдіяльності, підвищена концентрація усіх важких металів спричиняє токсичну дію на макро- та мікроорганізми [8].

Характер взаємодії мікроорганізмів з металами визначається концентрацією металу, ступенем його токсичності, а також метаболічним потенціалом мікроорганізмів, дією самого металу на організм або клітину. Мікроорганізми можуть переводити іони металів у менш токсичні форми, тому їх використання для ліквідації таких забруднень є перспективним [9].

Групою арабських вчених [8] описано вплив важких металів на ґрунтову мікробіоту. У зразки ґрунту (по 20 см³) і неідентифікованою мікрофлорою вносили катіони Cd²⁺ та Pb²⁺ у концентраціях 8 та 15 мг на кг ґрунту відповідно, час експозиції становив 12 тижнів за температури 25±4 °С. Результати показали, що наявність важких металів спричиняє високий токсичний вплив, що призвело до зменшення кількості життєздатної мікробіоти до 52,4 %. Аналіз досліджуваних зразків показав, що залишкова кількість катіонів кадмію та свинцю, що залишилася після 9 тижнів експерименту, становила 48,2 та 37,8 % від початкової.

У [10] повідомляється про резистентні до меркурію бактерії, які було виділено із морської води. Встановлено, що виділені ізоляти належали до родин: *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Brevibacterium* та *Bacillus*, які в подальшому досліджували на здатність розвиватися за наявності меркурію. Концентрація меркурію становила 50 мг/кг, дослідження проводили упродовж 14 діб при 28 °С. Усі ізоляти показали високу резистентність до різних концентрацій меркурію, проте його наявність у середовищі значно подовжила лаг-фазу. Залишкова кількість меркурію становила 10 мг/кг.

Дослідження впливу важких металів на ріст *Serratia marcescens* показали, що дана культура здатна ефективно очищати ґрунт від забруднення важкими металами. У ході цього дослідження використовували штаб, який вирощували за наявності катіонів хрому (0,2 мг/мл), кадмію (0,2 мг/мл) та свинцю (0,2 мг/мл), тривалість тесту становила 120 хв. Результати показали, що використання даного штабу можливе для біоремедіації забрудненого ґрунту (Pb²⁺, Cd²⁺ та Cr³⁺), а кількість адсорбованого металу становила для Pb — 0,133—0,193 мг/г; 0,097—0,185 мг/г для Cd; та 0,105—0,176 мг/г Cr [11].

Аналіз деяких літературних даних дозволяє стверджувати, що незважаючи на те, що важкі метали спричиняють токсичний вплив, у тому числі і на мікроорганізми, деякі штаби бактерій є не тільки резистентними до наявності високих концентрацій різноманітних металів, а й здатні зменшувати їх концентрацію у середовищі існування.

Використання мікробних поверхнево-активних речовин у біоремедіації довкілля від важких металів. До біологічних методів відноситься використання препаратів ПАР мікробного походження [12]. Застосування позаклітинних метаболітів, зокрема поверхнево-активних речовин, дозволить ефективно очищувати довкілля від важких металів [13]. Відомо, що ПАР переводять важкі метали з однієї форми в іншу, змінюючи рівень

токсичності. Використання мікробних ПАР має незаперечні переваги порівняно з використанням інших речовин. На відміну від своїх хімічних аналогів мікробні ПАР не спричиняють токсичного впливу на навколишнє середовище, розкладаються природною мікробіотою [14].

У [15] досліджувалась здатність ПАР штамів *Pseudomonas aerogenosa* JBR 425, *P. aerogenosa* DS10-129, *P. aerogenosa* BS2 знижувати концентрацію металів (As^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , та Zn^{2+} у концентраціях 148, 74, 237 та 259 мг/кг відповідно). Зразки ґрунту обробляли рамноліпідами (180 мл/кг), значення рН упродовж дослідження становило 10, тривалість експозиції 70 діб за температури 20 °С. Результати показали, що залишкова кількість металів в експериментальних зразках на кінець дослідження становила: As^{3+} — 39 %, Cu^{2+} — 28 %, Pb^{2+} — 38%, та Zn^{2+} — 54 %.

У [16] досліджувався вплив гліколіпідів, синтезованих *P. aerogenosa* АВ4, на видалення важких металів (Cd^{2+} та Pb^{2+}) із ґрунту. Штам АВ4 вирощували упродовж 7 діб при 40 °С, кількість синтезованих ПАР досягала 40 г/л. У досліджувані зразки (1,5 кг ґрунту) вносили 5 г Cd^{2+} та 5 г Pb^{2+} , а кількість гліколіпідів становила 1 та 2 % (об'ємна частка від маси забруднення). За таких умов залишкова кількість катіонів кадмію становила 50 та 46 %, п्लумбуму — 43 та 45 % відповідно до концентрацій гліколіпідів [16].

У [17] вивчалася можливість видалення купруму із руди за умов використання препаратів ПАР (рамноліпідів). Як досліджений зразок вико ристовували 1 кг руди, в якому містилося 8,950 мг купруму, час експозиції становив 6 діб за температури 25 °С із значенням рН 6. Результати показали, що найнижчі показники видалення купруму (28 %) із руди спостерігалися за внесення 10 мл 2% розчину рамноліпиду у зразок із 1 г руди. Додавання до рамноліпідів 1 % розчину гідроксиду натрію супроводжувалося збільшенням ступеня виділення — 42 %. Максимальні показники видалення купруму із руди спостерігалися за внесення 0,15—0,3 мМ рамноліпідів у зразок.

Хром є одним із найбільш токсичних забрудників, тому розробка технології для очищення ґрунтів від нього є актуальним питанням. Необхідною умовою для зменшення його токсичності є зміна валентності металів (Cr (IV) у Cr (III)). Відомо, що хром здатен адсорбуватися на певні органічні сполуки, а негативний заряд надає можливість використовувати рамноліпіди. Дослідження проводили з використанням каолініту, кількість Cr (IV) становила 7,500 та 500 мг/кг, рамноліпиду — 25 % (об'ємних), час експозиції — 24 доби. Встановлено, що Cr (III) здатен переходити до сполук окси- та гідрокарбонату у каолініті. Результати показали, що за 24 доби за використання рамноліпідів можна переводити 95—100 % Cr (IV) у Cr (III) [24].

У [17] порівнювалося застосування хімічних і мікробних ПАР для знешкодження дії важких металів (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+}). У дослідженнях порівнювали катіонний 1-додецилпіридинхлорид, неіонний олеїлдиметилбензил хлорид амонію й аніонні мікробні рамноліпіди синтезовані *P. aerogenosa* JBR-425. Всі три групи ПАР активували видалення важких металів з ґрунту: цинк — 39 %; мідь — 56 %; свинець — 43 %; кадмій — 68 %, порівняно з варіантами без ПАР (6 %). Аніонні рамноліпіди були найбільш ефективними (68 %).

У [18] досліджувалася адсорбція катіонів цинку з суміші ґрунту з польовим шпатовим під дією ПАР рамноліпідів. На початку досліджень у зразки вносили 0,47 та 4,08 мМ цинку, а концентрація рамноліпиду становила 12,5 — 100 мМ. Результати показали, що кількість адсорбованих із ґрунту катіонів цинку рамноліпідами становила 67,74 та 19,47 % відповідно. Крім того, було встановлено, що на даний процес впливає значення рН, тому наступним етапом досліджень було визначення оптимального значення рН. Встановлено, що значення рН при сорбції цинку знаходилось у межах 5,0–7,6, а ступінь видалення металів становив 83,87 %, за початкової концентрації Zn^{2+} 0,91 мМ. Дослідження показали, що оптимальна концентрація рамноліпідів становила 25 мМ, а значення рН — 6,8. За цього значення ступінь вилучення металу становив 98,83 % за наявності 2,19 мМ цинку та 25 мМ рамноліпідів [18].

На основі приведених вище даних можна стверджувати, що використання препаратів мікробних ПАР, синтезованих різними штамми-продуцентами, є досить перспективним напрямом у розвитку природоохоронних технологій. Використання препаратів ПАР дорожче за використання хімічних аналогів, проте більш безпечно та ефективно.

Ліквідація комплексних забруднень нафти з важкими металами. З літературних джерел відомо [19], що забруднення в екосистемах найчастіше мають комплексний характер (одночасна наявність як нафти, так і металів), тому актуальним є пошук таких методів очищення, які б дали змогу видаляти такі комбіновані забруднення. Серед широкого спектра методів очищення довкілля від цих сполук перспективними є біологічні, зокрема з використанням мікроорганізмів та їх метаболітів [20].

У [19] досліджувалася ефективність застосування комбінації поверхнево-активних речовин різних видів бактерій і лігандів йоду для видалення з ґрунту забруднення кадмію та фенатрену. У дослідних зразках (2,5 г ґрунту) наявні кадмій і фенатрен у концентраціях 1 мМ та 1 мг/мл відповідно, тривалість досліду — 72 год. За допомогою ПАР було видалено до 88,0 % забруднення фенатреном з усіх дослідних зразків. Одержані дані свідчать, що видалення кадмію з ґрунту збільшувалося пропорційно збільшенню концентрації ліганду у середовищі, особливо у тих варіантах, де були наявні ПАР *Bacillus subtilis* LBBMA 155, *Flavobacterium sp.* LBBMA 168 і TritonX-100. Максимальна ефективність очищення зразків від катіонів кадмію (99,2 %) спостерігалася за наявності *Arthrobacter oxydans* LBBMA 201 і *Bacillus sp.* LBBMA 111A. Максимальна активність для TritonX-100 становила 65,0 %. Тобто результати досліджень показали, що використання комплексу ПАР-ліганд може ефективно видаляти комплексні забруднення органічними речовинами з важкими металами [19].

У [21] встановлено, що штам *Pseudomonas sp.* LP1 завдяки синтезованим ПАР здатен споживати сиру нафту та дизель на 93 та 95 % відповідно. Ефективність деструкції нафти під дією мікробних ПАР (10 г/л) софороліпідної природи за наявності важких металів становила 30 % за перші 15 діб досліду, метали фактично вимивалися із ґрунту та переходили у розчин. Додатково внесення софороліпідів у зразок супроводжувалося біологічним розкладанням

суміші із 2-метилнафталену, гексадекану й терпеноїду (прістану). Крім того, цей метод виявився ефективним для розкладання сирової нафти у ґрунті впродовж 80 діб на 72 %. Результати показали потенціал використання мікробного софоро ліпиду як перспективного препарату для застосування у технологіях біоремедіації довкілля. Використання софороліпідів (10 г/л) виявилось ефективнішим за використання хімічних засобів.

Висновки

Проаналізувавши дані стосовно комплексних забруднень вуглеводнями та важкими металами, можна зробити висновок, що використання препаратів мікробних ПАР є ефективним і безпечним для відновлення забруднених біотопів.

Нами були проведені дослідження впливу препаратів ПАР *Acinetobacter calcoaceticus* ІМВ В-7241 на деструкцію комплексних з важкими металами (Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+}) нафтових забруднень у ґрунті за зниженої температури.

Досліджено деструкцію нафти під дією препаратів ПАР *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 у вигляді постферментаційної культуральної рідини за наявності різних катіонів металів і при зниженій температурі. Встановлено, що при температурі 8—12 °С розкладання нафти на 90—95 % у ґрунті (20г/кг), обробленому культуральною рідиною штаму ІМВ В-7241 (200 мл/кг ґрунту), відбувається у два рази повільніше, ніж в аналогічних умовах при вищій (22—25 °С) температурі. Встановлено, що за наявності Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} (0,1—1,0 мМ) ступінь деструкції нафти у ґрунті (20 г/кг) під дією ПАР *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 при 8—12 °С на 60 добу становив 65—79 %, у той час як у варіантах без катіонів металів — 65—68 %. Найвищий ступінь розкладання нафти (77—79 %) спостерігався за наявності катіонів купруму, що може бути зумовлене тим, що Cu^{2+} є активатором алкангидроксилаз як штаму-продуценту ПАР, так і природної (автохтонної) нафтоокиснювальної мікробіоти. Одержані результати засвідчують можливість використання ПАР *A. calcoaceticus* ІМВ В 7241 у вигляді культуральної рідини для деструкції комплексних з важкими металами (Cu^{2+} , Cd^{2+} і Pb^{2+}) нафтових забруднень у ґрунті при зниженій температурі.

Література

1. *Mulligan C.N.* Environmental applications for biosurfactants // *Environ Pollution*. — 2005. — Vol. 133, № 6. — P. 183—198.
2. *Carla L., Marta H., Amaya F., Enrique R.* Inventory of heavy metal content in organic waste applied as fertilizer in agriculture: evaluating the risk of transfer into the food chain. // *Environ Sci Pollut Res* — 2011. — DOI 10.1007/s11356-011-0444-1.
3. *Neha S., Ranu G.* Biological methods for speciation of heavy metals: different approaches. // *Critical Reviews in Biotech.* — 2010. — DOI: 10.1080/07388550903284462.
4. *Hashima M.A., Soumyadeep M., Jaya N. S., Bhaskar S.* Remediation technologies for heavy metal contaminated groundwater // *Journal of Environmental Management*. — 2011. — doi:10.1016/j.jenvman. 2011.06.009.

5. *Singh N., Gadi R.* Biological methods for speciation of heavy metals: different approaches // *Critical Reviews in Biotechnology*. — 2009. — DOI: 10.1080/07388550903284462.
6. *Ozdemir G., Yapar S.* Adsorption and desorption behavior of copper ions on Namontmorillonite: Effect of rhamnolipids and pH. // *Journal of Hazardous Materials* — 2008. — doi:10.1016/j.jhazmat.12.059.
7. *Nessner V., Esposito E.* Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals // *Biotechnology Advances*. — 2009 — doi:10.1016/j.biotechadv.09.002.
8. *Khan S., El-Latif Hesham A., Qiao M., Rehman S.* Effects of Cd and Pb on soil microbial community structure and activities // *Environ Sci Pollut Res* № 17. — P. 288—296.
9. *Sotirova, A., Spasova D., Vasileva-Tonkova, E., Galabova, D.* Effects of rhamnolipid-biosurfactant on cell surface of *Pseudomonas aeruginosa* // *Microbiol. Res.* — 2009. — Vol. 164. — P. 297—303.
10. *De J., Ramaiah N.* Characterization of marine bacteria highly resistant to mercury exhibiting multiple resistances to toxic chemicals // *Ecological Indicators* — 2006 — doi:10.1016/j.ecolind.05.002.
11. *Cristani M., Naccari C., Nostro A., Pizzimenti A., Trombetta D., Pizzimenti F.* Possible use of *Serratia marcescens* in toxic metal biosorption (removal) // *Environ Sci Pollut Res* — 2011 — DOI 10.1007/s11356-011-0539-8.
12. *Lopes C., Herva M., Franco-Uría A., Roca E.* Inventory of heavy metal content in organic waste applied as fertilizer in agriculture: evaluating the risk of transfer into the food chain // *Environ Sci Pollut Res Int.* — 2011. — Vol. 18, № 6. — P. 918—939.
13. *Fernandes V.C., Albergaria J.T.* Dual augmentation for aerobic bioremediation of MTBE and TCE pollution in heavy metal-contaminated soil // *Biodegradation* — 2009 — 20, № 3 — P. 75—82.
14. *Juwarkar A., Nair A, Dubey K., Singh S., Devotta S.* Biosurfactant technology for remediation of cadmium and lead contaminated soils // *Chemosphere*. — 2007 — Vol. 68 — P. 1996—2002.
15. *Bondarenko O., Rahman P., J. Rahman T., Kahru A., Ivask A.* Effects of Rhamnolipids from *Pseudomonas aeruginosa* DS10-129 on Luminescent Bacteria: Toxicity and Modulation of Cadmium Bioavailability // *Microb Ecol.* — 2010. — DOI 10.1007/s00248-009-9626-5.
16. *Hazra C., Kundu D., Ghosh P., Dandi N., Chaudhari. A.* Screening and identification of *Pseudomonas aeruginosa* AB4 for improved production, characterization and application of a glycolipid biosurfactant using low-cost agro-based raw materials // *Chem Technol Biotechnol.* — 2010. — Vol. 86 — P. 185—198.
17. *Ilya B. Slizovskiy Y., Jason W. Kelsey Y., Paul B. Hatzinger B.* Surfactant-facilitated remediation of metal-contaminated soils: efficacy and toxicological consequences to earthworms // *Envir., Lawren. USA.* — 2011. — Vol. 30. — P. 112—123.
18. *Yeliz A., Macid N., Yesfim Saga A.* Removal of zinc ions from a soil component Na-feldspar // *Y. Asf ç i et al. / Desalination.* — 2007. — doi:10.1016/j.desal.2007.01.205.

19. Paswa-Płociniczak M., Plaza G.A., Piotrowska-Seget Z., Cameotra S.S. Environmental applications of biosurfactants: recent advances // Int. J. Mol. Sci. — 2011. — Vol 12, № 1. — P. 633—654.

20. Kang, S.W.; Kim, Y.B.; Shin, J.D.; Kim, E.K. Enhanced biodegradation of hydrocarbons in soil by microbial biosurfactant, sophorolipid // Appl. Biochem. Biotechnol. — 2010. — Vol. 160. — P. 780—790.

21. Song S., Zhu L., Zhou W. Simultaneous removal of phenanthrene and cadmium from contaminated soils by saponin, a plant-derived biosurfactant // Environmental Pollution. — 2008 — doi:10.1016/j.envpol.2008.06.018.

ПУТИ ОЧИСТКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Н.О. Антонюк, Н.А. Гриценко

Национальный университет пищевых технологий

В статье приведены данные по механическим, физико-химическим и биологическим методам очистки почв от тяжёлых металлов. Использование механических и физико-химических методов затратно и может приводить к новым экологическим проблемам, в то время как биологические методы считаются перспективными для использования в природоохранных технологиях. Одним из биологических методов очистки почв от тяжёлых металлов считается использование микроорганизмов и их метаболитов, в частности поверхностно-активных веществ, что позволяет ликвидировать 70—85 % катионов тяжёлых металлов из почвы. Микробные ПАВ могут применяться и для ликвидации комплексных с тяжёлыми металлами нефтяных загрязнений. В некоторых работах сообщается, что с помощью микробных ПАВ деструкция нефти составляет до 88 %, а тяжёлых металлов — до 68 %.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, итамм, поверхностно-активные вещества.