

метода в зависимости от расчетных условий; при этом должны учитываться как адекватность используемых математических моделей, так и полнота, достоверность исходной информации;

- учитывать принципиальную невозможность расчета прогнозов состояния ВО с точностью, сопоставимой с точностью химических анализов.

1. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон УРСР від 25.08.91р.

2. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично-допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами: Затв. Мінприроди України 15.12.94. – Харків: УкрНЦОВ, 1994. – 79 с.

3. Дружинин Н.И., Шишкин А.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 392 с.

4. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. А.В.Караушева. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 285 с.

5. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добровольская С.А. Гидрология. – М.: Высш. шк., 2008. – 420 с.

6. Экологическое состояние трансграничных участков рек бассейна Днепра на территории Украины / Под. ред. А.Г.Васенко, С.А.Афанасьева – К.: Академперіодика, 2002. – 355 с.

7. USGS Water Data for the Nation / <http://waterdata.usgs.gov/nwis>.

Получено 27.11.2008

УДК 502.5 (204)

А.В.ЗАДНІПРОВСЬКА

Харківська національна академія міського господарства

МАЛОВИТРАТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОЗДОРОВЛЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Аналізується світовий досвід оздоровлення водних ресурсів за допомогою вищої водної рослинності, описано відповідні механізми. Запропоновано класифікацію основних форм фітореMediaції, зокрема для очистки води. Визначено можливості використання методики, що розглядається, зважаючи на тип забруднення та характер природної рослинності.

Щороку значна кількість забруднюючих речовин надходить до довкілля, спричиняючи чимале його забруднення. Національні та міжнародні організації досягли значних успіхів у дослідженнях, спрямованих на зменшення шкідливого впливу на довкілля. Починаючи з 1975 р. науковці всього світу все більше звертають увагу на альтернативні біотехнології для очистки стічних та природних вод завдяки їх економічній та екологічній ефективності, особливо для видалення органічних забруднюючих речовин.

У Радянському Союзі ця методика почала розроблятися на початку 60-х років минулого століття. Очисні споруди, побудовані за цим

принципом, здобули назву "біоплато" або "біоінженерних споруд". На теперішній час у Харківській області очисні споруди, побудовані за технологією "біоплато", працюють у с. В.Проходи, у смт. Шевченкове, їх будівництво заплановано у смт. Близнюки, смт. Старий Салтів, с. Єлизаветівка, с.Вільшани, м.Зміїв та ін.

У світовій науковій літературі найбільш розповсюдженою назвою для водоочисних споруд такого типу є терміни "Constructed Wetlands" або "Artificial Wetlands". Найбільш використовуваними такі технології є для очистки побутових стічних вод від малих населених пунктів, окремих котеджів, готелів, кемпінгів тощо; очистки поверхневого стоку та для оздоровлення водних об'єктів.

У країнах Європи вже видано ряд методичних та нормативних документів, які регламентують використання зазначеної технології для очистки стічних вод від малих населених пунктів у сільській місцевості [1]. Серед них варто зазначити такі:

1. Департаментом технології, промисловості та економіки Екологічної програми ООН (UNEP) у 2002 р. було видано методичний посібник "Guidelines for the Integrated Management of the Watershed – Phytotechnology and Ecohydrology" [2].

2. Департаментом екології та природних ресурсів Європейської комісії та Міністерством екології та довгострокового розвитку Франції видано розгорнуту інструкцію щодо використання фітотехнологій для очистки стічних вод для населених пунктів із населенням від 500 до 5000 чоловік [3].

3. У Німеччині діє державний стандарт із питань проектування, будівництва та експлуатації очисних споруд розглядуваного типу для комунально-побутових стічних вод [4].

4. Управлінням з питань твердих відходів та надзвичайних ситуацій та Управлінням з питань досліджень та розвитку Агенції з охорони довкілля США (US EPA) у 2000-2001 рр. було видано узагальнюючі доповіді, в яких проаналізовано багатолітній досвід використання фітотехнологій для видалення забруднюючих речовин із ґрунтів, поверхневих та підземних вод [5, 6] тощо.

Крім того, в мережі Інтернет створено ряд сайтів, на яких науковці з усього світу можуть обмінюватись інформацією щодо своїх досліджень, стежити за здобутками своїх колег, дізнаватися про тематичні конференції, симпозиуми, форуми тощо. Це, наприклад, PHYTONET (<http://www.dsa.unipr.it/phytonet/>) і RTDF (Phytoremediation Technologies Development Forum, форум з розвитку фітотехнологій – <http://www.rtdf.org/>).

Термін "фітотехнології" було запропоновано й обґрунтовано ЮНЕП для визначення однотипних технологічних рішень, що ґрунтуються на принципі використання вищої водної рослинності [1, 2]. Під фітотехнологіями, як правило, розуміють комплекс методик, що використовуються для видалення, деструкції або зв'язування шкідливих хімічних речовин, які містяться у ґрунті, осадах, підземних та поверхневих водах та навіть у атмосфері. У англійській літературі поряд із терміном *phytotechnologies* (фітотехнології) використовується термін *phytoremediation* (фіторемедіація), що останнім часом набуває популярності і у вітчизняному науковому суспільстві. Встановлено, що рослини можуть використовуватись для видалення багатьох класів забруднюючих речовин, включаючи вуглеводні, хлорорганічні сполуки, пестициди, метали, радіонукліди та біогенні речовини. Види рослин обираються залежно від їхньої здатності всмоктувати воду, кількості вироблюваних ними корисних ферментів, рівнем росту, глибиною кореневої системи та здатністю акумулювати шкідливі речовини.

Наразі під фітотехнологіями розуміють значну кількість підходів, які включають багато методик, що визначаються конкретними умовами території та характером забруднення. Тому, зважаючи на різноманіття хімічних речовин та видів рослин, для кожного конкретного випадку необхідно використовувати результати спеціальних досліджень, зіставляючи кількісний та якісний склад забруднення із здатністю рослин виводити забруднюючі речовини з доквілля.

Незважаючи на різноманіття методів фітотехнологій, їх використання обмежене певними факторами. Так, вони можуть застосовуватись лише у місцях, що добре пристосовані для розвитку рослин, де концентрації забруднюючих речовин не є токсичними для обраних видів та розташовані не надто глибоко у ґрунті. Таким чином, фітотехнології є найбільш придатними для мало забруднених ділянок, де шкідливі речовини не проникають глибоко у ґрунт, або для сильно забруднених ділянок на другій та третій фазі очищення, крім того, за їх допомогою можна формувати буферні зони.

Найбільш конкретизованою, використовуваною та, напевне, зрозумілою є класифікація методів фітотехнологій за механізмом видалення забруднюючих речовин. Нижче надано коротку оцінку технологій, які є найбільш поширеними, важливими або найкраще вивченими формами фіторемедіації.

Ризофільтрація – це адсорбція чи осадження на поверхні коріння, або абсорбція до корневих тканин хімічних забруднюючих речовин, що знаходяться у середовищі, яке оточує кореневу систему рослини, завдяки біотичним та/або абіотичним процесам. Залежно від типу за-

брудноючої речовини може відбуватися її всмоктування, акумуляція та транслокація. Головним результатом цього механізму є вилучення та акумуляція шкідливої речовини у тканині або на поверхні коренів, що в подальшому має бути видалена з ділянки через фізичне видалення рослини. До ризофільтрації схильні такі елементи: метали: Pb, Cd, Cu, Fe, Ni, Mn, Zn, Cr(VI); радіонукліди: ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}U , ^{236}U , які знаходяться у воді. Серед переваг механізму можна назвати такі:

- можна використовувати як наземну, так і водну рослинність. Хоча наземна рослинність потребує спорудження додаткових плаваючих платформ, вона видаляє більше забруднюючих речовин, ніж водна;
- може однаково ефективно використовуватися як у лабораторних, так і в натурних умовах;
- місце розташування фільтруючої системи не має принципового значення.

А серед недоліків – такі:

- рН середовища має бути пристосованим для оптимального поглинання металів;
- механізм хімічного перетворення та взаємодії має бути добре дослідженим та оціненим для всіх видів рослин, що взаємодіють із забруднюючою речовиною;
- необхідна добре спроектована система для контролю концентрації та обсягу стоку;
- рослини (особливо наземні) мають бути спеціально вирощеними та посадженими у ризофільтраційну систему;
- необхідно проводити періодичний збір та переробку рослинної маси;
- лабораторні результати з іммобілізації та всмоктування речовин можуть виявитися недосяжними у натурних експериментах.

Під *ризодеградацією* розуміють руйнування органічних забруднюючих речовин у ґрунті, ґрунтових або поверхневих водах з використанням спеціальних наплавних систем [11], завдяки мікробіологічній активності, що збільшується внаслідок наявності кореневої системи. Ризосферна біодеградація – це механізм, завдяки якому відбувається ризодеградація. Виділення кореневої системи, серед яких амінокислоти, органічні кислоти, жирні кислоти, ферменти та інші утворення, є поживним середовищем для мікроорганізмів та стимулюють їхню активність. Ці мікроорганізми в свою чергу відповідають за руйнування забруднюючих речовин у кореневій зоні.

Переваги механізму ризодеградації:

- акумуляція та вивільнення у повітря хімікатів набагато менше, ніж в інших типах фітотехнологій, оскільки руйнування токсичної ре-

човини відбувається безпосередньо у забрудненому середовищі;

- може відбуватися додаткова мінералізація ґрунту;
- низькі капітальні та поточні витрати.

Недоліки:

- формування працездатної кореневої системи потребує часу;
- глибина кореневої системи може виявитися недостатньою;
- багато з досліджених речовин можуть поглинатися рослинами;
- рослини можуть вимагати додаткового удобрення внаслідок надзвичайного розвитку ризосферних мікроорганізмів та їхньої боротьби за поживні речовини [5];
- рослинна органічна речовина може стати джерелом поживних речовин для мікроорганізмів, внаслідок чого зменшиться рівень біодеградації забруднюючих речовин.

За допомогою рослин може відбуватися вивільнення менш шкідливих форм хімікатів у атмосферне повітря (або фітотранспірація) через поглинання, трансформацію у метаболічних процесах або транслокацію та випаровування забруднюючої речовини з ґрунтових вод, ґрунту, осадів та мулів. Такий механізм транспірації рослинних метаболітів у повітря може також прискорити фотодеградацію хімікатів. Серед негативних сторін використання цієї технології можна зазначити можливість утворення та накопичення шкідливих метаболітів у тканинах рослин і їх вивільнення. В ході досліджень щодо вивчення цих механізмів не було отримано однозначних результатів [5], тому, розглядаючи перспективу використання фітотехнологій для очистки від забруднення, необхідно проводити дослідження з цього питання.

Фітодеградація (або фітотрансформація) – це методика руйнування забруднюючих речовин, поглинутих рослинами, завдяки метаболічним процесам у їх тканинах або зовні завдяки утворенням рослин (наприклад, ферментам). Фітодеградація може бути успішно використана для очистки ґрунту, осадів, мулів, ґрунтових та поверхневих вод. Зазвичай фітодеградацію відокремлюють від ризодеградації, оскільки для ризодеградації більш характерною є руйнація хімічних речовин завдяки ризосферним мікроорганізмам. Деструкція забруднюючих речовин, спричинена виробленими рослинами ферментами, може відбуватися у середовищі, вільному від мікроорганізмів (наприклад, у такому, де вони загинули внаслідок надто великої концентрації токсичних речовин), а рослини можуть рости навіть у стерильних ґрунтах та ґрунтах, у яких концентрація забруднюючих речовин токсична для мікроорганізмів. Тому область використання фітодеградації значно ширша, ніж біодеградації. Недоліком цієї методики є, як і для фітотранспірації,

можливість утворення токсичних метаболітів. Так, наприклад, у дослідженнях, що не були безпосередньо пов'язані з вивченням фітореєдмєдїації, пентахлорофенол перетворювався у потенційно мутагенний тетрахлорокатехол у пшениці та клітинних культурах [10]. Іншим недоліком є складність визначення метаболітів у тканинах рослини та, відповідно, складність у визначенні рівня деструкції забруднюючої речовини.

Фітоекстракцією називають поглинання забруднюючих речовин кореневою системою рослин, їх перенесення та акумуляцію у пагонах. Ця технологія потребує набагато менше витрат, ніж будь-яка інша, та в умовах України є, мабуть, єдино можливою методикою для видалення забруднення з ґрунту. Ця технологія використовується головним чином для видалення забруднюючих речовин з ґрунту, осадів та мулів, а також, у меншій мірі, з води. Серед забруднюючих речовин, що піддаються видаленню таким методом, наступні: метали – Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, As, Se; радіонукліди – ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu , ^{238}U , ^{234}U ; неметали – В. Ця форма фітореєдмєдїації більше за всі інші потребує втручання людини, оскільки через деякий час (залежно від використовуваної рослинності, типу забруднення, характеристик середовища та кліматичних показників) рослини мають бути видалені та відправлені на переробку. Серед інших недоліків застосування фітоекстракції зазвичай зазначають повільний ріст та неглибоку кореневу систему більшій частини рослин, що здатні до акумуляції металів, фітотоксичну дію металів та часту невідповідність лабораторних результатів результатам натурних експериментів.

Рослинні берегові коридори та буферні смуги зазвичай висаджуються уздовж річок та водних потоків, щоб попередити забруднення водного об'єкту через потрапляння до нього забруднюючих речовин із поверхневим та підземним стоком. Такі системи також використовуються для запобігання переміщенню та очистки забруднених ґрунтових вод. Механізм такого типу фітореєдмєдїації включає поглинання води та забруднюючих речовин і їх перетворення у тканинах рослин. Концептуально такі буферні смуги схожі з геохімічними бар'єрами, однак за допомогою цього типу фітотехнологій відбувається вилучення хімічної речовини з води або ґрунту. За допомогою цієї методики можна вилучати органічні та неорганічні пестициди та біогенні речовини. Серед "побічних ефектів" застосування берегових коридорів можна зазначити укріплення берегів, боротьбу з ерозією; до того ж берегова рослинність має сподобатися місцевій фауні.

В Україні широко застосовується регулювання рівня та якості ґрунтових вод за допомогою рослин (особливо деревної рослинності).

Дослідження цього методу проводились у середині 90-х років у Сполучених Штатах [8] і Франції [9] на прикладі тополь. Ця методика не потребує спорудження спеціальних систем, що значно знижує її вартість у порівнянні з традиційними системами механічної регуляції. Крім того, коренева система дерев охоплює значно більший об'єм ґрунту та спектр дії, ніж гідравлічні свердловини та інші споруди для традиційного механічного контролю рівня та якості ґрунтових вод. Однак використання такої технології обмежене, по-перше, глибиною кореневої системи, а, по-друге, часовими рамками. Дослідження американських вчених показали, що максимальною глибиною для використання цієї методики є 30 футів (9 м) для регулювання рівня та 1-4 фути (0,3-1,2 м) для ефективного видалення забруднюючих речовин у ґрунтових водах. Крім того, використання листяних дерев (основного типу рослинності для цієї методики) визначається кліматичними та сезонними чинниками, оскільки в холодний період року рівень метаболічних процесів та, відповідно, ефективність технології, зменшується.

На нашу думку, розглянуті вище технології фітореMediaції є основними методиками для видалення забруднюючих речовин із довкілля за допомогою рослинних угруповань. Їх розрізнення може бути корисним для більш глибокого розуміння процесів, що відбуваються у рослинах, для прогнозування очікуваних результатів та попередження небажаних ефектів. Наведений у статті матеріал є корисним для початкового ознайомлення з фітотехнологіями як такими.

У статті надано загальну класифікацію фітотехнологій за двома ознаками: долею хімічної речовини та механізмом видалення забруднюючих речовин. Визначено, для якого середовища найбільш підходить та чи інша технологія, проаналізовано переваги та недоліки кожного з методів, названо забруднюючі речовини або їх класи, що можуть бути видалені за допомогою того чи іншого процесу.

Важливо пам'ятати, що фітореMediaція – це комплекс технологій. До того ж неможливо уявити ситуацію, де відбувався б лише один із описаних вище процесів. Тому для кожного конкретного експерименту з використанням фітотехнологій необхідно проводити попередні дослідження для виявлення та попередження всіх небажаних результатів. Всі ці технології, методики та процеси об'єднує те, що вони є найбільш дешевим [1] та естетично привабливим методом звільнення ґрунтів, підземних та поверхневих вод від забруднення. В умовах сучасної економічної ситуації в Україні вони можуть допомогти у вирішенні проблеми оздоровлення довкілля.

1. Стольберг Ф.В. Фитотехнологии для Украины // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – Харьков, 2007. – С.13-23.
2. Zalewski M. Guidelines for the Integrated Management of the Watershed: Phytotechnology and Ecohydrology. Published By United Nations Environment Programme (Freshwater Management Series No 5). – 2005. – 188 p.
3. Quality of the Environment and Natural Resources Department of the European Commission and Water Department of Ministry of Ecology and of Long-Term Development of France Extensive Wastewater Treatment Process. (Adapted to small and medium sized communities from 500 to 5000 population equivalents). [online]. Available from: World Wide Web: www.pedz.uni-mannheim.de/daten/edz-bn/gdu/02/waterguide_en.pdf [Accessed 20 August 2008].
4. Germany ATV Standards. Standard ATV – A 201 E. Principles for Dimensioning, Construction and Operation of Wastewater Lagoons for Communal Wastewater. October, 1989. – 7 p.
5. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency Introduction to Phytoremediation. [online]. Available from: World Wide Web: <http://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf> [Accessed 20 December 2006].
6. United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Office of Research and Development Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. [online]. Available from: World Wide Web: http://www.epa.gov/ada/download/issue/epa_540_s01_500.pdf [Accessed 10 January 2007].
7. Jonathan Chappell Phytoremediation of TCE using Populus. [online]. Available from: World Wide Web: www.clu-in.org/download/studentpapers/phytotce.pdf [Accessed 20 December 2006].
8. Gatliff E.G. Vegetative Remediation Process Offers Advantages Over Traditional Pump-and-Treat Technologies. Remed. Summer. – 1994. – №4(3). – pp.343-352.
9. Wright A.G. and Roe A. It's Back to Nature for Waste Cleanup. ENR. – 1995. – July 15. – pp.28-29.
10. Komossa D., Langebartels C. and Sandermann H. Metabolic Processes for Organic Chemicals in Plants. In S.Trapp and J.C.McFarlane (eds.), Plant Contamination: Modeling and Simulation of Organic Chemical Processes. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. – 1995. – pp.32-56.
11. Maurizo Giannotti. Water Reclamation and Phytotechnology. Guidelines on the most suitable phytotechnologies for the treatment recovery and reuse of polluted water. Litocart, Roma, 2005. – 78 p.

Отримано 19.11.2008

УДК 504.064.2.001.18

Н.О.ТЕЛЮРА

Харківська національна академія міського господарства

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ НА ПРИРОДНИХ ТЕРИТОРІЯХ ТА ОБ'ЄКТАХ ОСОБЛИВОЇ ОХОРОНИ

Розглядаються проблеми прогнозування стану природних територій та об'єктів особливої охорони. Пропонується система екологічного моніторингу як основа розробки оптимізаційних методів регулювання використання рекреаційних ресурсів, регламентації поведінки рекреантів тощо.