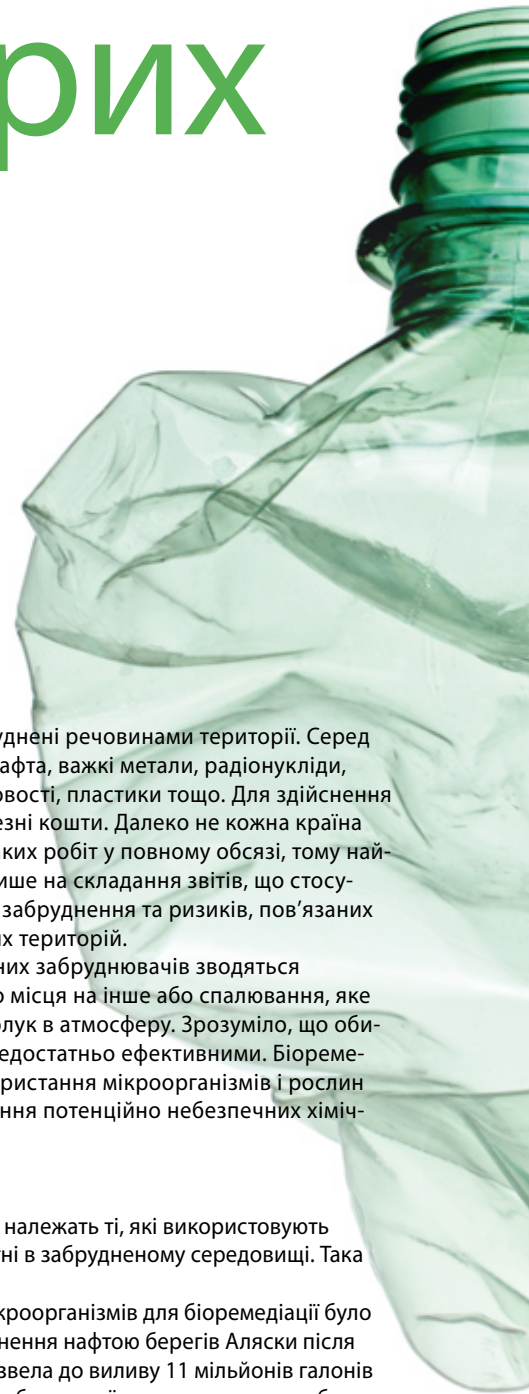


# Ліки для хворих екосистем

Забруднення навколишнього середовища як природними, так і синтетичними речовинами, токсичними для всього живого, із кожним роком посилюється. Про небезпеку для здоров'я людей внаслідок такого розвитку подій годі вже й казати. Одним із шляхів виходу з цього становища є використання живих організмів, перш за все мікробів і рослин, для очищення забруднених територій. Такий новітній підхід одержав назву «біоремедіація»



## ТЕРИТОРІЇ, ЩО ПОТРЕБУЮТЬ ОЧИЩЕННЯ

У багатьох країнах світу існують забруднені речовинами території. Серед забруднювачів найчастіше фігурують нафта, важкі метали, радіонукліди, пестициди, хімічні реагенти промисловості, пластики тощо. Для здійснення процедури очищення потрібні величезні кошти. Далеко не кожна країна може собі дозволити фінансування таких робіт у повному обсязі, тому найчастіше виділених коштів вистачає лише на складання звітів, що стосуються детального вивчення ступеня забруднення та ризиків, пов'язаних із використанням й очищенням таких територій.

Існуючі способи видалення хімічних забруднювачів зводяться до простого їх перенесення з одного місця на інше або спалювання, яке призводить до викиду токсичних сполук в атмосферу. Зрозуміло, що обидва ці шляхи є вельми витратними й недостатньо ефективними. Біоремедіація пропонує дещо інший підхід: використання мікроорганізмів і рослин на забруднених територіях для перетворення потенційно небезпечних хімічних сполук на безпечні або менш токсичні.

## МІКРОБИ БЕРУТЬСЯ ДО РОБОТИ

До більш успішних технологій біоремедіації належать ті, які використовують мікроорганізми, що за природних умов присутні в забрудненому середовищі. Така технологія отримала назву «біодеградація».

Ефективність використання природних мікроорганізмів для біоремедіації було продемонстровано під час ліквідації забруднення нафтою берегів Аляски після славнозвісної катастрофи танкера, що призвела до вилиття 11 мільйонів галонів нафти в море. Близько 1,5 тисяч кілометрів берегової смуги виявилися забрудненими. Процедура біоремедіації берегової смуги полягала у внесенні до ґрунту добрива, яке містило азот і тим самим стимулювало метаболізм природних мікроорганізмів, здатних здійснювати деградацію вуглеводнів нафти. Виявилось,

**Деякі бактерії здатні руйнувати хімічні забруднювачі, що для більшості з цих мікроорганізмів не є звичним ростовим субстратом**



# 36 у фокусі

що цей метод у 3–5 разів пришвидшує процес деградації нафти. У результаті проведеної біоремедіації негативний ефект від забруднення нафтою, який, за розрахунками спеціалістів, мав тривати близько 10 років, було скорочено до 2 років. При цьому витрати на біоремедіацію були набагато меншими, ніж за традиційної технології очищення.

На жаль, до навколишнього середовища потрапляють і синтетичні речовини, які, на відміну від нафти, не піддаються руйнуванню мікроорганізмами через те, що містять хімічні зв'язки (наприклад, галоген — вуглець), яких не існує у природних речовинах. У таких випадках для повної деградації шкідливих речовин необхідна спільна дія двох або більше мікроорганізмів.

Ще одним із шляхів вирішення цієї проблеми є використання генетично модифікованих мікроорганізмів. Однак така технологія має і свої недоліки, зокрема, ймовірність «утечі» невлавистих даному середовищу мікроорганізмів за межі території, що обробляється. Це може спричинити серйозні проблеми.

## РОСЛИНИ-ЧИСТИЛЬНИКИ

Відомо, що рослини можуть акумулювати важкі метали, вилучаючи їх із ґрунту та води. Ці їхні властивості нині використовують для створення основ так званої фіторемедіації, яка поділяється на фітоекстракцію та ризофільтрацію. Під першою розуміють використання швидкорослих рослин для вилучення й акумуляції важких металів із ґрунту.

Ризофільтрація — це абсорбція, концентрація та преципітація кореннями рослин токсичних металів із води. Ці технології передбачають збирання рослин та їхнього коріння після завершення процесу акумуляції ними металів, а також їх компостування або спалювання з подальшим вилученням того чи іншого металу.

Рослини суттєво відрізняються за здатністю до акумулювання металів. Наприклад, брюссельська капуста здатна накопичувати до 3,5% свинцю від сухої маси рослини, а її коріння — навіть до 20% цього металу. Також вона може акумулювати до великих концентрацій такі метали, як мідь, цинк, нікель, хром та ін.

Одним із найновіших напрямів фіторемедіації є використання трансгенних рослин для очищення ґрунтів та ґрунтових вод від забруднювачів. Гени беруть найчастіше із плазмід (внутрішньоклітинні утворення з власною ДНК) бактерій. Стійкі до ртуті бактерії експресують плазмідний ген Mer-A, який кодує білок транспорту й детоксикації ртуті.

Модифіковану конструкцію цього гена вже використовували для трансформації таких рослин, як тютюн, рапс, тополя та деяких інших. У гідропонній культурі рослини з цим геном вилучали з водного розчину до 80% іонів ртуті. Стійкість до ртуті передавалася цими рослинами у семи поколіннях.

Вченим із Вашингтонського університету вдалося створити сорт генетично модифікованої тополі, який здатний руйнувати деякі високотоксичні промислові речовини, зокрема, хлороформ, бензол, трихлоретилен, що забруднюють довкілля, шляхом перетворення їх на безпечні продукти (вода, вуглекислий газ та нешкідливі солі). Результати лабораторних досліджень засвідчили, що генетично модифікована тополя в 100 разів краще видаляє із ґрунту трихлоретилен, ніж її природні «сестри». Ці генетично модифіковані дерева також були здатними вловлювати токсичні речовини з повітря й розкладати їх до безпечних метаболітів у своєму листі.

## ЄВРОПА ВАГАЄТЬСЯ

Біоремедіація має великі потенційні можливості щодо попередження забруд-

нення довкілля, а також боротьби із вже існуючими забрудненнями. Порівняно з іншими методами очистки навколишнього середовища, біоремедіація безпосередньо в районі забруднення (*in situ*) є значно дешевшою. За умов розсіяного забруднення, наприклад, у випадку з пестицидами, які застосовували на величезних площах у сільському господарстві, або при забрудненні нафтою та нафтопродуктами великих територій, альтернативи біоремедіації просто не існує. Але, на відміну від промислової біотехнології, де можна в замкненому циклі суворо контролювати всі параметри технологічного процесу для одержання кінцевого стандартного продукту, біоремедіація з інтродукцією генетично модифікованих мікробів і рослин до навколишнього середовища проводиться у відкритій системі, а це потребує поглибленого контролю взаємодії введених «чистильників» із цією системою. Така взаємодія є дуже багатofакторною та багаторівневою. Тому в цьому випадку, певно, необхідні додаткові законодавчі акти і правила, що регламентуватимуть таку інтродукцію. Тим не менш зараз у США на біоремедіацію з використанням бактерій витрачають близько 2%, а на фіторемедіацію — до 0,5% від всіх затрат на очищення навколишнього середовища, і ці цифри мають тенденцію до зростання. В Європі поки що вагаються щодо впровадження біоремедіації, але в найближчому майбутньому ситуація може змінитися через велику кількість забруднених районів і територій у східноєвропейських державах — членах Євросоюзу. Однак певною мірою доля біоремедіації в Європі буде залежати від сприйняття цієї біотехнології широкою громадськістю, адже, незважаючи на те, що мова йде про втручання тільки у «хворі» екосистеми, «ліки» для їх відновлення все ж таки багато в чому залишаються непередбачуваними.

Підготував Руслан Прімак



**Розробка технологій використання фіторемедіації для очищення ґрунту та води від радіоактивних забруднень — дуже перспективний напрям**

