

and biological activity of some heterocyclic systems containing anthraquinone / M. A. Berghot, M. A. Hanna, M. M. Girges // *Die Pharmazie*. – 1992. – Vol. 47, № 5. – P. 340–343. 14. Зіменковський Б. С. 4-Тіазолідони. Хімія, фізіологічна дія, перспективи: моногр. / Б. С. Зіменковський, Р. Б. Лесик. – Вінниця : Нова кн., 2004. – 105 с. 15. Synthesis and anticancer activity evaluation of 4-thiazolidinones containing benzothiazole moiety / D. Havrylyuk, L. Mosula, B. Zimenkovsky [et. al.] // *Euro. J. Med. Chem.* – 2010. – Vol. 45. – P. 5012–5021. 16. Остап'юк Ю. В.  $\alpha$ -Функціоналізовані тіоціанати – реагенти для синтезу гетероциклів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. хім. наук. : спеціальність 02.00.03 “Органічна хімія” / Юрій Володимирович Остап'юк. – Львів, 2008. – 20, [14] с. 17. Пат. 2756234 А США. Anthrapyridones / Elslager E. F. ; Parke, Davis & Company, Detroit, Mich, a corporation of Michigan. – № 395833; заявл. 2.12.1953; опубл. 24.07.1956. 18. Brown D. J., *Mechanisms of molecular migrations* / D. J. Brown // N. Y. : Wiley. – 1968. – Vol. 1. – P. 209–245.

УДК 579.222

А. Р. Сушко<sup>1</sup>, О. М. Дуган<sup>1</sup>, Л. Р. Журахівська<sup>2</sup>, Н. Г. Марінцова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України “КПІ”,  
кафедра промислової біотехнології,

<sup>2</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра технології біологічно активних сполук,  
фармації та біотехнології

## МІКРООРГАНІЗМИ ЯК ДЕСТРУКТОРИ ТА ІНДИКАТОРИ ТОКСИЧНОСТІ ГЕТЕРОЦИКЛІЧНИХ СПОЛУК

© Сушко А. Р., Дуган О. М., Журахівська Л. Р., Марінцова Н. Г., 2016

Розглянуто проблему забруднення природних об'єктів відходами техногенного походження як накопичувачів токсичних хімічних сполук. Наведено дані щодо кількості відходів роботи підприємств хімічної, гірничорудної, лісової та деревообробної, машинобудівної, металургійної, будівельної, паливно-енергетичної, харчової та легкої промисловостей України та вказано відсоток їх утилізації. Проаналізовано види токсичності речовин та різні види мікроорганізмів, які здатні їх виявляти. Також наведено приклади бактерій, дріжджів і грибів як деструкторів токсичних речовин.

Ключові слова: відходи, токсичні хімічні сполуки, мікроорганізми, деструктори речовин, індикатори токсичності.

A. R. Sushko, A. M. Dugan, L. R. Zhurahivska, N. G. Marintsova

## MICROORGANISMS AS A DESTRUCTORS AND INDICATORS OF TOXICITY OF HETEROCYCLIC COMPOUNDS

© Sushko A. R., Dugan A. M., Zhurahivska L. R., Marintsova N. G., 2016

The article considers the problem of pollution of natural objects with technogenic waste as storage of toxic chemical compounds. The data on the amount of waste of the enterprises of chemical, mining, forestry and wood processing, machine building, metallurgy, construction, energy, food and light industries of Ukraine and a specified percentage of their disposal is presented. Types of toxic substances and various types of microorganisms that are able to detect them are analyzed. Also are given examples of bacteria, yeast and fungi as destructors of toxic substances.

Keywords: waste, toxic chemicals, microorganisms, destructors of substances, indicators of toxicity.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими завданнями. Сьогодні загострюється проблема забруднення природних об'єктів відходами техногенного походження.

Відходи промислових підприємств отруюють повітря, воду і ґрунт, згубно впливають на живі організми і є для них токсичними. Серйозною екологічною проблемою, що вимагає невідкладного вирішення, є забруднення водних ресурсів і ґрунту нафтою і нафтопродуктами, важкими металами, пестицидами та іншими речовинами. Для їх знешкодження традиційно застосовують фізичні та хімічні методи. Однак з кожним роком зростає зацікавленість до використання біотехнологічних методів знешкодження відходів й очищення об'єктів довкілля від забруднення токсикантами як більш ефективними і економічними, а головне – екологічно безпечними методами очищення. Найпоширенішими методами очищення води, повітря та ґрунтів є адсорбційні методи. Однак більшість відомих сорбентів мають загальні недоліки (висока вартість, низька сорбційна ємність та ін.). Виробництво сорбентів традиційним способом характеризується багатостадійністю, складністю застосовуваного устаткування, обмеженістю сировинної бази тощо.

Сьогодні приділяють значну увагу новим, високоефективним технологіям, які ґрунтуються на застосуванні біосорбентів, які об'єднують переваги сорбційного і біодеструктивного методів ліквідації забруднень. Біодеструктивні сорбенти локалізують забруднення і руйнують адсорбовані продукти за допомогою біологічних об'єктів різного рівня організації (мікроорганізми, водорості, рослини). При цьому досягається ефективне очищення від забруднень.

**Аналіз попередніх досліджень і публікацій.** У природних умовах переважна більшість мікроорганізмів живе, розмножується і проявляє різного роду біохімічну активність, прикріплюючись до мінеральних частинок ґрунту, донних відкладень водойм, коріння або наземної частини рослин. Тому для створення оптимальних умов розвитку мікроорганізмів-деструкторів, що вносяться до забрудненого водного середовища, та забезпечення їх тривалої життєдіяльності в ньому зазвичай використовують попередню іммобілізацію клітин на нерозчинних носіях. А джерелом отримання ряду матеріалів – носіїв мікроорганізмів – можуть бути шунгітові породи [1].

Використання мікроорганізмів-деструкторів хімічних речовин, які забруднюють довкілля, є актуальною складовою екологічних досліджень.

**Метою** нашої роботи є аналіз використання мікроорганізмів як деструкторів токсичних хімічних речовин для утилізації рідких і твердих відходів.

Токсичні відходи – будь-які тверді, газоподібні або рідкі субстанції, які містять отруйні речовини. Вони є небезпечними і в незначній кількості можуть призвести до тяжких отруєнь або смерті живих істот, зокрема людей [2].

Ці відходи є отруйними побічними продуктами промислового виробництва, сільського господарства, будівництва, транспорту та інших галузей промисловості. Вони містять органічні речовини різних груп і класів, важкі метали, радіаційні елементи, небезпечні патогени або їхні токсини [5].

У багатьох регіонах України спостерігається критична екологічна ситуація, яка зумовлена переробкою сировинних ресурсів з виділенням великої кількості відходів, що забруднюють навколишнє середовище. Основними чинниками такої ситуації в країні є тверді відходи, забруднені стічні води та викиди в атмосферу промислових підприємств і транспорту.

Основними джерелами утворення твердих відходів в Україні є підприємства хімічного, гірничорудного, лісового та деревообробного, машинобудівного, металургійного, будівельного та паливно-енергетичного комплексів, а також харчової й легкої промисловості [2,5].

Кількість твердих відходів, що утворюються в Україні, становить 0,6 млрд. м<sup>3</sup> щорічно, а загальна кількість – 28–30 млрд. т, які зберігаються на площі близько 50 тис. гектарів. На жаль, лише 0,6 млрд. м<sup>3</sup> твердих відходів утилізують для виробництва будівельних матеріалів і 0,1–0,12 млрд. м<sup>3</sup> — біомінеральних добрив.

Рідкі відходи промислових підприємств — це відходи, що містять луґи, кислоти, а також дисперсні домішки. До рідких відходів належать також відпрацьовані органічні розчинники, масла і органічні токсичні сполуки [16]. Токсичні відходи можуть містити берилій, свинець, ртуть, миш'як, хром, фосфор, кобальт, кадмій, талій, металоорганічні і ціаністі сполуки, канцерогенні речовини різної хімічної природи: бензопірен, нітрозаміни, афлотоксин. Це відходи переважно підприємств чорної і кольорової металургії, хімічної промисловості, машинобудування (гальванічні виробництва), гірничо-хімічні комбінатів тощо [7, 8].

Токсичність (від грец. *toxikon* – отрута) – здатність речовини порушувати фізіологічні функції організму, в результаті чого виникають симптоми інтоксикацій (захворювання), а при важких ураженнях – його загибель [6].

Токсичність – інтегральний показник реакції організму на дію речовини, який багато в чому визначається механізмом його токсичної дії. Важливе значення в прояві токсичності речовини мають: швидкість надходження речовини в кров, швидкість метаболічних перетворень речовини в крові і тканинах внутрішніх органів, швидкість проникнення його через гістогематичні бар'єри та взаємодія речовини з біомішенями, а також деякі інші чинники, що визначають величини токсодоз і особливості характеру токсичної дії на організм [6,7]. Під характером токсичної дії речовини на організм зазвичай мають на увазі особливості механізмів токсичної дії, особливості патофізіологічних процесів і симптомів інтоксикації, динаміку розвитку їх у часі, а також інші аспекти токсичної дії речовин. Ці особливості покладено в основу токсикологічної (фізіологічної) класифікації речовин [4, 8, 20].

Небезпека забруднення ґрунту хімічними речовинами пов'язана, по-перше, з їх токсичними властивостями (гострою і хронічною загальнотоксичною діями, наявністю алергенних, мутагенних і канцерогенних, ембріотоксичних, тератогенних властивостей, репродуктивної токсичності та ін.), по-друге, з особливостями їхньої поведінки в навколишньому середовищі (стабільністю в ґрунті і в воді водоєм, міграційною здатністю) [6, 8, 19].

Людина створила велику кількість хімічних речовин. Абсолютно точного числа назвати неможливо, але за науковими даними це число перевищило 6 млн. речовин, яке постійно зростає на 3–5% від їх загальної кількості щорічно. Дані свідчать, що близько 80 000 сполук використовує людина в господарстві та науковій діяльності [10].

Шкідливі речовини можуть потрапляти в організм людини через органи дихання (пари, газы, пил), шкіру (рідкі, масляні, тверді речовини), шлунково-кишковий тракт (рідкі, тверді і газы). Найчастіше шкідливі речовини потрапляють в організм людини через органи дихання і швидко проникають у життєво важливі центри людини [11].

Крім загальної дії на організм людини шкідливі речовини можуть чинити і місцевий вплив. Так діють кислоти, луги, деякі солі і газы (хлор, сірчистий ангідрид, хлористий водень та ін.). Хімічні речовини можуть спричинити опіки трьох ступенів.

Отрути потрапляють в шлунково-кишковий тракт за недотримання правил особистої гігієни. Отруйні речовини – ціаніди – можуть всмоктуватися вже в порожнині рота, потрапляючи в кров [11,12].

У класифікації за токсичним (шкідливим) ефектом впливу на організм людини хімічні речовини поділяють на загальнотоксичні, подразнювальні, сенсibiliзувальні, канцерогенні, мутагенні, що впливають на репродуктивну функцію [12].

Загальнотоксичні хімічні речовини (вуглеводні, сірководень, синильна кислота, тетраетилсвинець) спричиняють розлади нервової системи, м'язові судоми, впливають на кровотворні органи, взаємодіють з гемоглобіном крові.

Подразнювальні речовини (хлор, аміак, оксид азоту, фосген, сірчистий газ) впливають на слизові оболонки і дихальні шляхи.

Сенсibiliзувальні речовини (антибіотики, сполуки нікелю, формальдегід, пил та ін.) підвищують чутливість організму до хімічних речовин, а у виробничих умовах призводять до алергічних захворювань [8–12].

Канцерогенні речовини (бензопірен, азбест, нікель та його сполуки, оксиди хрому) спричиняють розвиток усіх видів ракових захворювань [17, 20].

Хімічні речовини, що впливають на репродуктивну функцію людини, спричиняють виникненню вроджених вад розвитку і відхилень від нормального розвитку у потомства, впливають на ембріональний та постнатальний розвиток організму.

Мутагенні речовини впливають на нестатеві (соматичні) клітини, що входять до складу всіх органів і тканин людини, а також на статеві клітини. Мутагенні речовини є причиною пошкодження (мутації) в генотипі людини, що контактує з цими речовинами [17]. Число мутацій збільшується з

дозою, і якщо мутація виникла, вона має стабільний характер. Такі індуковані хімічними речовинами мутації мають ненапрявлений характер, додаються до спонтанних і раніше накопичених мутацій. Генетичні ефекти від мутагенних факторів є відтермінованими і тривалими [10, 11, 20].

Загальнотоксична дія металів може бути пов'язана з неспецифічним гальмуванням ряду ферментів внаслідок денатурації білків.

Хромовмісні сполуки спричиняють ураження печінки, нирок, шлунково-кишкового тракту та серцево-судинної системи.

Загальнотоксична дія важких металів на людину і тварин призводить до зміни діяльності центральної і периферичної нервової систем, кровотворення, внутрішньої секреції; сприяє виникненню злоякісних новоутворень і порушенню спадкового апарату [11, 18].

Кадмій, хром, нікель, свинець, ртуть впливають на статеві клітини, специфічну канцерогенну дію мають миш'як, кобальт, кадмій, хром, нікель та деякі пестициди. Крім загальнотоксичної дії, ці метали мутагенно і тератогенно активні, тому їх надходження у водойми є небезпечним для здоров'я населення. Найтоксичнішими є сполуки хрому та кадмію, дещо менш токсичні – нікель і мідь і найменш токсичний цинк [18].

До канцерогенних речовин зараховують [11, 17, 20]:

• продукти перегонки і фракціонування кам'яного вугілля, зокрема дьоготь, пек, креозот тощо;

- продукти перегонки і фракціонування сланців, деревного вугілля, нафти, неочищений віск;
- ароматичні аміни, нітро- та азотовмісні сполуки;
- деякі продукти обробки хромової і нікелевої руд;
- неорганічні сполуки миш'яку;
- азбест;
- ізопропілове масло;
- деякі сполуки берилію.

Відходи класифікують за галузями промисловості, можливостям переробки, агрегатним станом, токсичністю тощо. У кожному конкретному випадку характер їх класифікації відповідає розглянутим аспектам: складування, очищення, переробки, захоронення відходів, запобігання токсичному впливу та ін. Кожна галузь промисловості має класифікацію власних відходів.

Класифікація відходів можлива за різними показниками, але найголовнішим з них є ступінь небезпеки для людського здоров'я. Шкідливими відходами, наприклад, вважають інфекційні, токсичні і радіоактивні. Їх збір і ліквідація регламентуються спеціальними санітарними правилами [3, 4].

Відповідно до стандарту “Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки”, всі промислові відходи поділяють на чотири класи небезпеки:

Клас	Характеристика речовини (відходів).
Перший	надзвичайно небезпечні
Другий	високонебезпечні
Третій	помірнебезпечні
Четвертий	малонебезпечні

Для прикладу можна навести клас небезпеки деяких хімічних речовин, який визначаються розрахунковим методом:

– наявність у відходах ртуті, сулеми, хромокислого калію, трихлористої сурми, бензопірену, оксиду миш'яку та інших високотоксичних речовин дозволяє віднести їх до першого класу небезпеки;

– наявність у відходах хлористої міді, хлористого нікелю, триоксидної сурми, азотокислого свинцю та інших, менш токсичних речовин дає підставу віднести ці відходи до другого класу небезпеки;

– наявність у відходах сірчанокислої міді, щавлевокислої міді, хлористого нікелю, оксиду свинцю, чотиріхлористого вуглецю та інших речовин дозволяє віднести їх до третього класу небезпеки;

– наявність у відходах сірчаноокислого марганцю, фосфатів, сірчаноокислого цинку, хлористого цинку дає підставу віднести їх до четвертого класу небезпеки.

Мікробні популяції можуть розглядатися як індикатори фізико-хімічних і біологічних процесів, а групи мікроорганізмів, що реагують на забруднення зміною своїх фізіологічних властивостей і чисельністю, називають індикаторними. Завдяки малим розмірам бактерії мають велику відносну поверхню контакту із середовищем і здатні швидше реагувати на його забруднення, ніж більш високоорганізовані організми. Високі швидкості росту та розмноження бактерій дають можливість в короткий термін простежити за дією будь-якого екологічного чинника протягом десятків і навіть сотень поколінь [14, 15].

У розкладанні (деструкції) того чи іншого субстрату беруть участь різні види мікроорганізмів, що входять до групи об'єднаних тільки цією функцією і становлять поняття екологічно-трофічної індикаторної групи. Біологічна доцільність виникнення індикаторних видів визначається їх особливим призначенням: вони заповнюють “прогалини” в біоценозах, що утворилися в результаті негативного антропогенного впливу і допомагають їх відновлювати, беручи, таким чином, участь у збереженні стійкості екосистем [14]. Мікроорганізми завдяки фізіологічним і генетичним особливостям швидко реагують на зміну якості середовища і на дію стресових факторів. Окремий організм адаптується за допомогою включення одного або декількох механізмів індивідуальної резистентності. Мікроорганізми здатні утилізувати всі наявні в природі органічні речовини. Причому необхідні для цього ферменти є індукційні, тобто синтезуються в їхніх клітинах у міру необхідності (присутність відповідного субстрату в середовищі). Завдяки цьому мікроорганізми швидко реагують на присутність в середовищі нових хімічних сполук природного або антропогенного походження.

Залежно від забруднення водного середовища виділяють бактерії – індикатори біологічного, фекального і техногенного забруднення [13, 14].

#### **Техногенне забруднення**

Нафтоокиснювальні мікроорганізми. Частково поява нафтовуглеводнів (НВ) пов'язана з природними процесами, але їх концентрація збільшується в багатьох екосистемах внаслідок діяльності людини. Мікробні асоціації можуть трансформувати НВ у проміжні метаболіти або мінералізувати в діоксид вуглецю і воду. Серед нафтоокиснювальних бактерій з високою активністю можна назвати грампозитивні корінеформні бактерії (*Mycobacterium*, *Nocardia*, *Corynebacterium*, *Arthrobacter* та ін.), представників роду *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*. Що стосується нафтоокиснювальних дріжджів, призначених переважно для очищення поверхневих шарів вод, то більшість їх належать до родів *Candida*, *Rhotorula* і *Trichosporon*, рідше активні представники родів *Debaryomyces*, *Endomyces*, *Pichia*, *Torulopsis*. Дріжджі окиснюють переважно парафінову фракцію нафти. Серед міцеліальних грибів найактивніше окиснюють нафту представники родів *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor* і *Cladosporium* [20].

Окиснення ароматичних вуглеводнів не є властивістю роду або виду мікроорганізмів – це ознака штамів. Так, на тлі загальної пригнічувальної дії токсиканта з'являються штами, здатні його розщеплювати, які, ймовірно, є природними мутантами. Якщо парафіни – субстрат, що легко окиснюється нормальними мікроорганізмами біоценозу, то ароматичні вуглеводні окиснюються швидше за все мутантами, а залучення їх у кругообіг є складним для мікробіоценозу процесом [14, 21].

#### **Металостійкі мікроорганізми**

Справжніми рекордсменами, що очищують навколишнє середовище від важких металів, є мікроорганізми: бактерії, гриби, мікроскопічні водорості, що живуть у ґрунті, прісноводних водоймах і морській воді. Гриби-мікроміцети *Aspergillum* містять до 0,3 % міді – у 30 000 разів більше, ніж у навколишньому середовищі. Багато мікроорганізмів у великих кількостях накопичують уран: прісноводна мікроводорість хлорела – до 0,4 % сухої маси, актиноміцети – до 4,5 %, денітрифікуючі бактерії – 14 %, а спеціально відібрані культури дріжджів або псевдомонад – до 50 %. Важкі метали навіть у незначних концентраціях отруйні. Проникаючи в живі клітини, вони порушують їх життєдіяльність, але свою токсичну дію важкі метали проявляють тільки у вигляді

йонів. Якщо ж їх тим чи іншим способом перевести в зв'язану форму, то вони втрачають токсичні властивості. Встановлено, що недисоційовані солі і йони, що утворюють комплекси, зазвичай менш токсичні, ніж вільні йони в тих самих концентраціях. Отже, метал, відкладений в клітинній стінці в кристалічному вигляді або у вигляді погано розчинних сполук, виявляється нешкідливим для мікроба.

Важкі метали відіграють двояку роль у процесах життєдіяльності організмів. Mg, Cu, Ni, Zn – важливі мікроелементи. Cd, Pb, Sn, Ag, Hg – токсичні [21,22]. При високій концентрації всі метали шкідливі для організму, оскільки вони здатні: змінювати конформацію і структуру нуклеїнових кислот, білка; інгібувати активність ферментів; впливати на осмотичний та енергетичний баланс клітини.

Відомі два шляхи надходження важких металів до клітини мікроорганізму: неспецифічний транспорт за градієнтом концентрації і специфічний транспорт білка з використанням енергії АТФ. У мікроорганізмів існують спеціальні механізми для запобігання токсичному впливу металів [21]:

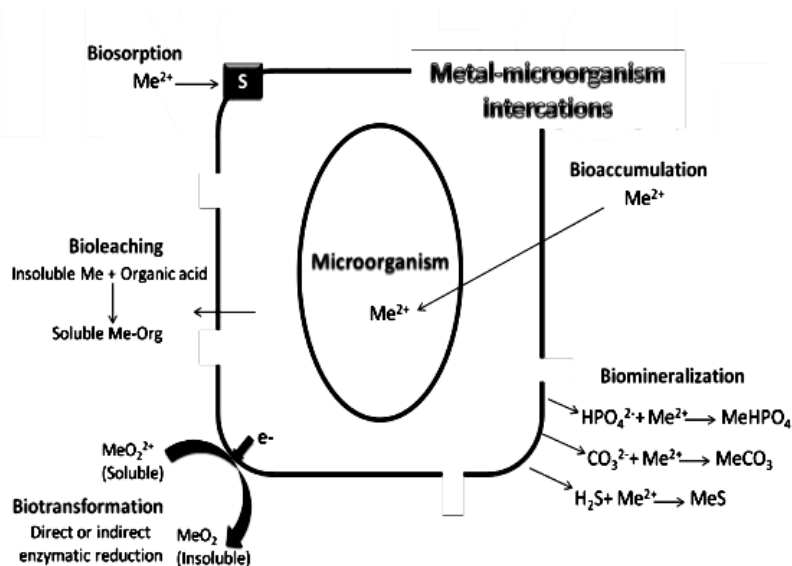
1. Активне виведення або викид металу з клітини.
2. Зниження надходження металу внаслідок зміни проникності клітинної мембрани. Порушення синтезу білка пуринів.
3. Внутрішньоклітинне зв'язування токсичних металів, їх детоксикація.
4. Внутрішньоклітинна ізоляція металів за допомогою капсули.

Рівень індивідуальної стійкості бактеріальних штамів до йонів важких металів оцінюють, визначаючи мінімальну концентрацію (МК) солі кожного металу. МК визначають як найменшу концентрацію токсиканту в середовищі, яка за певних умов повністю інгібує ріст бактерій [21, 22].

На відміну від органічних забруднень, метали не можна знищити, але їх необхідно або перетворити на стабільну форму, або видалити. Біологічного очищення металів досягають через біотрансформацію. Механізми, за допомогою яких мікроорганізми впливають на важкі метали, передбачають біосорбцію (сорбцію металів на поверхні клітин за фізико-хімічними механізмами), біовилучення (мобілізацію важких металів через екскреції органічних кислот або метилювання), біомінералізацію (важкі метали іммобілізуються через утворення нерозчинних сульфідів або полімерних комплексів), внутрішньоклітинне накопичення і каталізування ферментним перетворенням (окисно-відновні реакції).

Основні мікробні процеси, які впливають на біомінералізацію металів, наведено на рисунку [21].

Мікроорганізми захищають себе від токсичної дії важких металів за допомогою різних механізмів, таких, як адсорбція, поглинання, метилювання, окиснення і відновлення.



Основні мікробні процеси, які впливають на біомінералізацію металів

Мікробне метилювання важких металів відіграє важливу роль, оскільки метильовані метали втрачають свою токсичність. *Alcaligenes faecalis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus* sp., *P. aeruginosa* і *Brevibacterium iodinium* – зв'язують важкі метали [22].

Дріжджі відіграють важливу роль у видаленні токсичних важких металів. Дослідження показали, що дріжджі здатні накопичувати важкі метали, такі як Cu (II), Ni (II), Co (II), Cd (II) і Mg (II). У біосорбції хрому (VI) найважливішими є 3 види дріжджів: *Cyberlindnera fabianii*, *Wickerhamomyces anomalus* і *C. tropicalis*. Встановлена ефективність іммобілізованих клітин дріжджів щодо видалення металів, наприклад, є *Schizosaccharomyces pombe* для видалення міді [21].

Найбільший збиток біоресурсам наносять сполуки, що не володіють специфічними токсичними властивостями, – органічні речовини, неорганічні біогенні компоненти (сполуки фосфору й азоту) і жири.

Відомо, що надзвичайно важливу роль на початкових етапах розщеплення органічних субстратів, в кругообігу біогенних елементів відіграють мікроорганізми, що виділяють в середовище гідролітичні ферменти. У середовищах, забруднених органічними речовинами, зростає кількість мікрофлори, що утилізує відповідні субстрати, і чисельність цих мікроорганізмів може бути показником ступеня органічного забруднення середовища [23].

Багато індикаторних бактерій виявляють у річкових стоках, особливо в місцях їх впадання в море, де часто спостерігаються максимальні концентрації органічних речовин. Значна кількість індикаторної мікрофлори в природних водах свідчить про наявність в них легкодеградабельних органічних речовин, таких як ліпіди, білки і вуглеводи [1,14].

Біохімічна активність ліполітичної мікрофлори, яка концентрується в області поверхневої плівки, сприяє звільненню поверхневих вод від жирних речовин і нормалізує газо- та теплообмін між водною поверхнею і атмосферою.

Амілолітичні бактерії є індикаторами наявності у водному середовищі полісахаридів. Здатність до розщеплення крохмалю за допомогою амілолітичних екзоферментів поширена у багатьох мікроорганізмів. Багато ґрунтових грибів – активні продуценти амілази. Серед бактерій до активних продуцентів амілаз належать деякі бацили (*Bacillus macerans*, *B. subtilis*), псевдомонади і різні види стрептоміцетів [1, 21].

Мікроорганізми протеолітики є індикаторами присутності у водному середовищі речовин білкової природи: казеїну, желатину, колагену і т.д. Здатність розщеплювати пептиди і білки мають протеолітичні бактерії (бактероїди, протей, ешерихії, клостридії та ін.).

Мікроорганізми, що мають високу гідролітичну активність щодо руйнування органічних речовин природного та антропогенного характеру, відіграють важливу роль у самоочищенні середовища. Високу гідролітичну активність при біогенному забрудненні мають ціанобактерії [1].

Найактивнішими продуцентами гідролаз у морському середовищі є бактерії родів *Vibrio*, *Bacillus*, *Pseudomonas alteromonas*. Широкий спектр активності гідролаз виявлено у бактерій родів *Pseudoalteromonas* і зазначено різницю в рівні активності і наборі екзоферментів у штамів різної видової приналежності, а також вилучених з різних місць проживання [1, 21, 24].

Пестициди – це речовини або суміші речовин, призначені для знищення шкідників та захисту від них. Пестициди, які швидко розкладаються називають нестійкими, тоді як ті, які протистоять деструкції, – стійкими. Найпоширеніший тип деструкції, здійснюваний грибами і бактеріями, які використовують пестициди як поживні речовини. Бактерії, що є деструкторами пестицидів: *Providencia stuartii*, *Bacillus*, *Staphylococcus* і *Stenotrophomonas*. Найбільш досліджені гриби: *Aspergillus i.e. A. ustus*, *A. nidulans var. nidulans*, *A. versicolor*, *Penicillium chrysogenum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Alternaria alternata*, *Mucor racemosus*, *Phoma glomerata* і *Trichoderma longibrachiatum*, є деструкторами пестицидів за допомогою ферментних систем: внутрішньоклітинної (цитохроми P450) і позаклітинної (лігнін-руйнівна система в основному складається з пероксидази і лактази) [25].

10 родів, які є найкращими деструкторами вуглеводнів: *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Shigella*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* and *Enterobacter*, *Bacillus*.

Бактеріальні штами, які здатні руйнувати ароматичні вуглеводні, знаходяться в ґрунті. Це, як правило, грамнегативні бактерії, більшість з яких належать до роду *Pseudomonas*. Також такі самі деструктивні властивості мають бактерії родів *Mycobacterium*, *Corynebacterium*, *Aeromonas*, *Rhodococcus* і *Bacillus* [21].

Аналізуючи дослідження бактеріальних штамів, які здатні руйнувати азобарвники в аеробних і анаеробних умовах, встановили, що деструкція азобарвників є ефективнішою в анаеробних умовах. З іншого боку, ці умови призводять до утворення ароматичного аміну, а він є мутагенним і токсичним для людини, і тому необхідний ще один етап деструкції. Деструкторами азобарвників є *Proteus* sp., *Pseudomonas* sp. і *Enterococcus* sp.

Дріжджі можуть використовувати ароматичні сполуки як субстрат для росту, але важливішою є їх здатність перетворювати ароматичні речовини метаболічно. Деякі види, такі як ґрунтові дріжджі *Trichosporon cutaneum* мають специфічну енергозалежну систему поглинання ароматичних субстратів (наприклад, фенолу).

Типовими представниками дріжджів-деструкторів алканів є *Candida lipolytica*, *C. tropicalis*, *Rhodotorularubra*, *Aureobasidium(Trichosporon) pullulans*. *Rhodotorula aurantiaca* і *C. Ernobii* – деструктори дизельного пального [21,23].

Крім ароматичних і аліфатичних сполук, мікроскопічні гриби можуть деструктувати такі ароматичні забруднювачі, як поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) і біфеніли, дибензофурані, нітроароматичні сполуки, різні пестициди і пластик [14,21].

**Висновки.** Мікроорганізми завдяки фізіологічним і генетичним особливостям швидко реагують на зміну якості середовища і дію стресових факторів. У зв'язку з цим їх можна використовувати для оцінювання ступеня і характеру забруднення середовища.

До індикаторів біологічного забруднення належать мікроорганізми, що виділяють в середовище гідролітичні ферменти, що розщеплюють органічні сполуки.

Мікроорганізми дуже важливі для відновлення і очищення нашого навколишнього середовища. Шляхом деструкції мікроорганізми здатні деградувати і трансформувати величезну кількість синтетичних і органічних сполук та інших хімічних речовин, що мають токсичні властивості.

1. Дроздовская О. А. Поиск микроорганизмов – индикаторов и деструкторов фенолов в прибрежных водах дальневосточных морей: дис... канд.. биол. наук: 03.00.16. – Владивосток, 2000. – 156 с. 2. Закон України "Про відходи" – [чинний від 5.03.98] – № 187/98-ВР, із змінами та доповненнями. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua>. 3. Класифікатор відходів: ДК 005-96 від 01.10.1996 N 89 – Державний комітет України по стандартизації, метрології та сертифікації – (Державний класифікатор України). 4. Охорона природи. Поводження з відходами. Класифікація відходів за генетичним принципом і віднесення їх до класифікаційних категорій: ДСТУ 3910-99 – [чинний від 01.01.01] –14 с. – (Державний стандарт України). 5. Коммунальная гигиена: учебник / Е. И. Гончарук, В. Г. Бардов, С. И. Гаркавий, А.П. Яворовский и др.; под ред. Е. И. Гончарука. – К.: Здоров'я, 2006. — 792 с. 6. Методы определения токсичности и опасности химических веществ / под ред. И. В. Саноцкого. – М., Медицина, 1970. – 343 с. 7. Обґрунтування гігієнічних нормативів шкідливих хімічних речовин у різних середовищах на основі системного підходу: Методичні вказівки МВ 1.1.5-088-02. – К., 2002. – 55 с. 8. Дедю И. И. Экологический энциклопедический словарь / И. И. Дедю; предисл. В. Д. Федорова. – Кишинев: Гл. ред. Молд. сов. энцикл., 1990. — 406 с. 9. Гигиена с основами экологии человека : учебник / В.И. Архангельский и др.; под ред. П. И. Мельниченко. – 2010. – 752 с. 10. Негативное



воздействие вредных веществ на организм человека. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/vozdeystvie-vrednyh-veshchestv.html>.

11. Общетокическое действие. Большая Энциклопедия Нефти Газа. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id660878p1.html>. 12. Безопасность жизнедеятельности. Основы охраны труда / Информационный материал. – Харьков, 2013. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://nadovsem.in.ua/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti.-osnovyi-okhranyi-truda.html>.

13. Заварзин Г. А., Колотилова Н. Н. Введение в природоведческую микробиологию. – М.: Книжный дом “Университет”, 2001. – 256 с. 14. Репина М. А. Нефтеуглеводородоокисляющие микроорганизмы прибрежных вод юга острова Сахалин : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / М. А. Репина. – Владивосток, 2009. – 19 с. 15. Родионова И. А. Глобальные проблемы человечества: Пособие для учащихся и студентов, 2-е изд., испр. и доп. / И. А. Родионова. – М.: Аспект Пресс, 1995. – 159 с. 16. Hazardous Waste Characteristics -A User-Friendly Reference Document, October 2009 [Electronic resource] – <http://www3.epa.gov/epawaste/hazard/wastetypes/wasteid/char/hw-char.pdf>.

17. Substances classified as carcinogenic, mutagenic and toxic for reproduction (CMR) and other substances of concern in consumer products/ Summary -Dessau-Roßlau, April 2011- <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4092-0.pdf>. 18. Heavy Metals Toxicity and the Environment G Yedjou, A K Patlolla – EXS. 2012; 101: – P. 133–164. 19. The Function of Allergy: Immunological Defense Against Toxins / Margie Profet . The Quarterly Review of Biology. – Vol. 66, No. 1 (Mar., 1991), – P. 23–62. 20. Risk assessment methodologies and approaches for mutagenic and carcinogenic substances (Preliminary report agreed by written procedure by SCHER, SCCP and SCENIHR on 24 October 2008) [Electronic resource] – [http://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/committees/04\\_scher/docs/scher\\_o\\_107.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scher/docs/scher_o_107.pdf). 21. Biodegradation: Involved Microorganisms and Genetically Engineered Microorganisms N. T. Joutey, W. Bahafid, H. Sayel, N.El Ghachtouli – 2013- Additional information is available at the end of the chapter: <http://dx.doi.org/10.5772/56194>. 22. Microbial detoxification of metals and radionuclides. Current Opinion in Biotechnology J. R Lloyd, D. R Lovley – Current Opinion in Biotechnology, 2001. – No. 12. – P. 248–253. 23. R. E. McKinney Microbiological Process Report. Activity of Microorganisms in Organic Waste Disposal II. Aerobic Processes’ – 1956. – Vol. 5. – P. 167–174. 24. Shewanella fidelis sp. nov., isolated from sediments and sea water / E. P. Ivanova, T. Sawabe, K. Hayashi et al. // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. – 2003. – Vol. 53. – P. 577–582. 25. Vargas J. M. Pesticide degradation. Journal of Arboriculture 1975. 1(12) – P. 232–233.