

УДК 551.35:579:628.5(262.5)

Л.Л. СМІРНОВА

Науково-дослідний центр “Державний океанаріум”  
вул. Епронівська, 7, Севастополь 99024, Україна

## **МІКРОБІОТА МОРСЬКИХ ДОННИХ НАШАРУВАНЬ ЯК ІНДИКАТОР ЇХ ЗАБРУДНЕННЯ ЗАЛИШКАМИ ХІМІЧНИХ ОТРУЙНИХ РЕЧОВИН**

Залишки затоплених на чорноморському шельфі токсикантів ізолюють саркофагами. Відновлення мікробіоти, яка характерна для відносно чистих морських донних нашарувань, відбувається протягом 3 років. Поступово знижується чисельність сапрофітів та азотфіксаторів, зникають автотрофи циклу сірки, ціанобактерії, з'являються нітрифікуючі бактерії.

*Ключові слова: затоплені екоотоксиканти, саркофаг, екологічний стан, Чорне море*

У прибережних зонах Кримського узбережжя та Керченської протоки знайдені ділянки донних нашарувань, забруднені залишками хімічної зброї, затопленої в період Другої Світової війни [2]. Це забруднення має локальний характер. Однак, хімічна та мікробіологічна активність морського середовища сприяє руйнуванню затоплених об'єктів з наступною міграцією продуктів довгострокового гідролізу іприту і люїзиту в системи “дно – придонний шар води”. Підвищений вміст сполук сірки і миш'яку, що надійшли у донні нашарування, впливає на чисельність і структуру асоціацій донних мікроорганізмів, веде до біодеградації цих асоціацій і подальшого замулювання ґрунтів [1, 4, 5, 7].

Для покращення екологічної ситуації в місцях захоронення хімічної зброї проводяться підводні роботи, зв'язані з зведенням спеціальних саркофагів над джерелами забруднення. Мікробна біосистема в донних нашаруваннях є динамічною системою, здатною швидко адаптуватися до мінливих екологічних умов. Тому для контролю за якістю і надійністю детоксикації нами вивчається кількісний та якісний склад донних мікроорганізмів [1]. Основними групами мікроорганізмів-індикаторів багатокомпонентного забруднення донних нашарувань іприт-люїзитної суміші є сапрофіти, азотфіксатори і мікроорганізми циклу сірки [4, 8]. Дослідження, проведені з піщаними і замуленими донними нашаруваннями, показали, що різноманітність мікробіоти може бути універсальним індикатором зміни рівня забруднення [1, 5].

У роботі наводяться результати вивчення мікробіоти біля саркофагів та відзначені групи мікроорганізмів, які першочергово визначають поліпшення екологічної ситуації на досліджуваній ділянці морського дна.

### **Матеріал і методи досліджень**

Здійснювали мікробіологічні дослідження проб донних нашарувань, відібраних в літньо-осінній період 2007–2009 р.р. в прибережних акваторіях міст Керчі та Севастополя. Відбір проб здійснювали безпосередньо біля стінки саркофагу за допомогою водолазної техніки. Вміст сірки ( $\Sigma S$ ) в донних нашаруваннях, забруднених залишками іприту, досягав 3,0–12,0%. Концентрація миш'яку в місцях поховання іприт-люїзитної суміші змінювалася від 0,05% до 6,00% [4, 5].

Вивчали різні групи автотрофних і гетеротрофних мікроорганізмів, культивованих на рідких середовищах. Для групи сапрофітів використовували м'ясо-пептонний бульйон (МПБ), для азотфіксуючих бактерій – середовище Ешбі, для тіонових бактерій – середовище Старкі, для зелених фотосинтезуючих сіркобактерій і ціанобактерій, які можуть розвиватися в присутності сполук сірки, – середовище Ван-Ніля [3]. Інокульовані середовища інкубували протягом 15–30 діб при кімнатній температурі і природному сонячному освітленні. Підрахунок чисельності мікроорганізмів проводили методом граничних розведень за таблицею Мак-Креді. Для виділення мікроміцетів використовували тверді середовища Чапека і Сабуро; у кожену чашку Петрі з середовищем вносили по 0,2 мл суспензії донних відкладень.

### **Результати досліджень та їх обговорення**

Зразки проб, що містять залишки іприту, були представлені сірими або чорними замуленими відкладеннями. Залишки високотоксичної іприт-люїзитної суміші (вміст миш'яку від 6,00% до

0,05%) надавали донним нашаруванням червоно-коричневий колір. В таких біотопах порушувався кругообіг біогенних елементів, накопичувалися проміжні продукти розкладання органічної речовини і створювалися анаеробні умови.

Мікробіологічні дослідження донних нашарувань у місцях поховання залишків іприту, що містять хлоровані органічні сульфіди та елементну сірку, показали збільшення на два-три порядки чисельності сапрофітних груп мікроорганізмів, мікроорганізмів циклу сірки, нитчастих ціанобактерій і зниження чисельності та активності нітрифікаторів 1 і 2 фаз [1, 4, 8]. Дослідження в Керченській протоці показали, що фототрофна компонента мікробіоти донних нашарувань, забруднених сполуками відновленої сірки, представлена різноманітними асоціаціями ціанобактерій і зеленими фотосинтезуючими сіркобактеріями. На рисунку представлені асоціації фототрофних мікроорганізмів, виділених з донних нашарувань на середовищі Ван-Ніля.

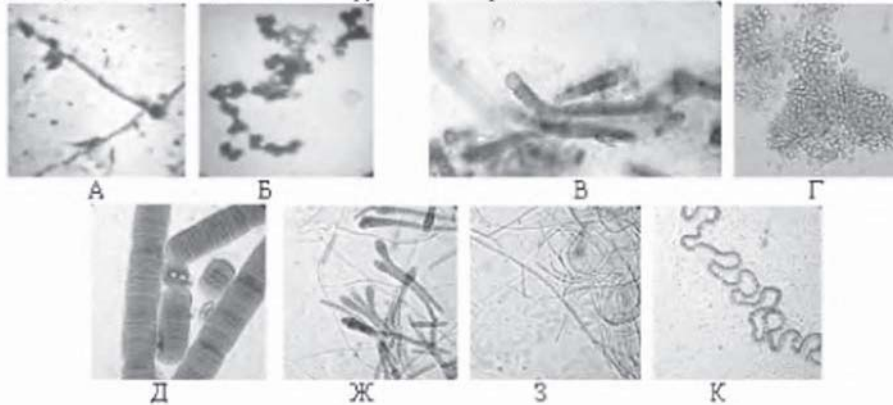


Рис. Фототрофні мікроорганізми донних нашарувань, що містять залишки іприту. А – асоціації фототрофних зелених сіркобактерій, Б – ланцюжок *Prosthecochloris sp* (x1300); ціанобактерії ( x600); В – *Tolypothrix sp*. Г – *Chroococcus sp*. Д – *Lyngbya sp*. Ж – *Calothrix sp*. З – *Phormidium sp*. К – *Nostoc sp*.

Середовище Ван-Ніля містить сполуки сірки, що дозволяє виявити більшу кількість ціанобактерій, здатних до сульфатзалежної оксигенової фотоавтотрофії. Серед ціанобактерій переважають нитчасті і нитчасті з гетероцистами представники родів *Lyngbya*, *Anabaena*, *Phormidium*, *Tolypothrix*. Після зведення саркофагу над джерелами хімічного забруднення чисельність та життєдіяльність донної мікробіоти відновлювалася протягом 2–3 років (табл.).

Таблиця

Динаміка чисельності різних груп мікроорганізмів в зразках донних нашарувань біля саркофагу на протязі трьох років після його зведення

Роки	Найбільш вірогідна кількість мікроорганізмів, кл / г сухого ґрунту				
	Сапрофіти	Мікроміцети	Тіонові	Азотфіксатори	Нітрифікатори, 2 фаза
1	$1,4-5,6 \cdot 10^7$	$1,2-1,9 \cdot 10^6$	$3,1-8,4 \cdot 10^7$	$4,8-7,2 \cdot 10^6$	$3,0-5,0 \cdot 10^1$
2	$1,9-2,4 \cdot 10^6$	$0,6-1,9 \cdot 10^3$	$2,5-6,0 \cdot 10^3$	$3,0-8,9 \cdot 10^3$	$1,3-4,3 \cdot 10^2$
3	$2,0-6,4 \cdot 10^4$	$2,5-5,0 \cdot 10^3$	$2,5-4,5 \cdot 10^2$	$1,5-4,5 \cdot 10^3$	$1,1-7,2 \cdot 10^3$

Згідно отриманих даних, протягом першого року після зведення саркофагу відзначені значні зміни у складі мікроорганізмів циклу сірки. Чисельність тіонових бактерій у донних нашаруваннях зменшувалася, відбувалася заміна лідируючого комплексу фототрофних зелених сіркобактерій родів *Chlorobium* і *Pelodyction* на *Prosthecochloris sp*. Через 2 роки після зведення саркофагу вже не спостерігалось зростання зелених сіркобактерій, вирощених на середовищі Ван-Ніля. Активний ріст асоціацій ціанобактерій припинялося через 2,5–30 роки, на середовищі Ван-Ніля відзначалися лише одиничні клітини або нитки ціанобактерій. Мікроорганізми 1 та 2 фаз нітрифікації виявилися дуже чутливими до екологічних факторів донних нашарувань, забруднених сполуками сірки. Відновлення чисельності та активності цієї групи мікроорганізмів спостерігалось через 2,0–2,5 роки. Відомо, що процес нітрифікації залежить від рН морського середовища, сповільнюється при високій концентрації органічної речовини та часто лімітує цикл азоту. Збільшення чисельності і різноманітності азотфіксуючих мікроорганізмів, більш стійких до анаеробних умов, мабуть,



пов'язане з дефіцитом окислених форм азоту у біотопах донних нашарувань, забруднених екотоксикантами. Крім мікроорганізмів, що ростуть на середовищі Ешбі, біологічну фіксацію азоту здійснювали різноманітні азотфіксуючі нитчасті гетероцистні ціанобактерії і фототрофні зелені сіркобактерії роду *Chlorobium sp.* У дослідженнях Н. Paert, і J Zehr [6] показано, що представники цього роду є азотфіксуєчими мікроорганізмами.

У високотоксичних донних нашаруваннях, що містять люїзит (вміст миш'яку більше 1,0%), життєздатної мікробіоти не виявлено. Тільки після зниження концентрації миш'яку до 0,08% в донних нашаруваннях, з'являються нитчасті ціанобактерії і відновлює життєдіяльність сапрофітна мікробіота, що росте на МПБ, мікрOMICETI, денітрифікуючі та тіонові бактерії. При роботі з високотоксичними донними нашаруваннями, що містять іприт-люїзитну суміш, контроль за відновленням життєдіяльності мікробіоти доцільно проводити експрес-методом на мікробіологічному аналізаторі Біоскрін С [5].

### Висновки

Отже, після зведення саркофагу над контейнером, з якого витікала суміш іприт-люїзиту та продуктів їх довгострокового гідролізу, відбувається поліпшення екологічного стану довкілля. У донних відкладеннях на 2–3 порядки зменшується чисельність сапрофітних, тіонових та азотфіксуючих мікроорганізмів порівняно з їх кількістю поблизу неізолюваних джерел забруднення. Спостерігається зникнення автотрофних мікроорганізмів циклу сірки, ціанобактерій, поява нітрифікуючих бактерій. Після зведення захисних саркофагів відновлення мікробіоти, яка характерна для відносно чистих нашарувань, відбувається протягом 3 років. У Керченській протоці є перспективною альгоіндикація рівня забруднення донних нашарувань іприт-люїзитною сумішшю за різноманітністю асоціацій ціанобактерій, особливо представникам родів *Phormidium* і *Anabaena*.

1. Антонова Л.С. Мікробіологічний моніторинг морських донних нашарувань, забруднених екотоксикантами та пошук їх штамів-деструкторів / Л.С. Антонова, Н.А. Андреева, Л.Л. Смирнова [и др.] // Моніторинг навколишнього середовища: науково-методичне, нормативне, технічне, програмне забезпечення: наук.-практ. конф., 18–22 вер. 2006: мат. – Коктебель (АР Крим), 2006. – С. 135–138.
2. Антонова Л.С. Екологічні проблеми знешкодження хімічних токсикантів, затоплених в морській економічній зоні України / Л.С. Антонова, В.В. Гурик, А.Г. Місюра [i in.] // Екологічні проблеми Чорного моря: 4 ий міжнар. симпоз., 31 жовт.–1 лист. 2002: мат. – Одеса, 2002. – С. 17–21.
3. Гудзь С. Практикум з мікробіології. Ч. 1.: посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / С. Гудзь, С. Гнатуш, І. Вілінська – Львів: Видав. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2003. – 80 с.
4. Смирнова Л.Л. Микрофлора морских донных отложений в местах захоронения остатков химического оружия / Л.Л. Смирнова, Н.А. Андреева, Л.С. Антонова [и др.] // Морск. эколог. журн. – 2005. – Вып. IV, №3. – С. 88–93.
5. Смирнова Л.Л. Активність мікрофлори як показatelj токсичності морських донних отложений шельфової зони чорного моря и Керченського проливу / Л.Л. Смирнова, Н.А. Андреева, Л.С. Антонова [и др.]: зб. наук. праць // Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу, 2005. – Вып. 12 – С. 533–539.
6. Paert H.W. Marine nitrogen fixation. / Paert H.W., Zehr J.P. // Microbial ecology of the oceans / ed. D.L. Kirchman. – Delaware: University of Delaware, U.S.A, 2000. – P. 387–426.
7. Smyrnova L.L. Microorganisms of the sulfur cycle in chemically polluted marine bottom sediments / L.L. Smyrnova L.S. Antonova, V.V. Gurik [et. al.] // Environmental micropaleontology microbiology and meiobenthology: The fifth intern. conf., 17–25 Feb., 2008: materials. – Chennai, India, 2008. – P. 300–303.
8. Smyrnova L.L. Cyanobacteria in the marine benthic microflora around sulphur mustard dumpsites / L.L. Smyrnova, N. A. Andreeva // IGCP 521 – INQUA 0501 Fourth Plenary Meeting and Field Trip Bucharest (Romania) – Varna (Bulgaria), 4–16 October, 2008.: Extended Abstracts – P. 165–166.

Л.Л. Смирнова

Научно-исследовательский центр “Государственный океанариум”, Севастополь, Украина

### МИКРОБИОТА МОРСКИХ ДОННЫХ НАСЛОЕНЫХ КАК ИНДИКАТОР ИХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОСТАТКАМИ ХИМИЧЕСКИХ ЯДОВИТЫХ ВЕЩЕСТВ

Химические токсиканты, затопленные на черноморском шельфе, изолируют саркофагами. Восстановление микробиоты, характерной для чистых морских отложений, происходит в течение 3 лет. Постепенно снижается численность сапрофитов и азотфиксаторов, исчезают автотрофы цикла серы и цианобактерии, появляются нитрифицирующие бактерии.

Ключевые слова: затопленные экотоксиканты, саркофаг, экологическое состояние, Черное море

*L.L. Smirnova*

Research Center "State oceanarium", Sevastopol, Ukraine

MICROBIOTA OF THE MARINE GROUND STRATIFICATIONS AS INDICATOR OF THEIR CONTAMINATION BY TAILINGS OF CHEMICAL POISONOUS MATTERS

Chemical toxicant dumpsites into the Black Sea shelf isolate by sarcophag. Microbiota characteristics of clean marine sediments occur within 3 years there. Autotrophs of sulfur cycle and cyanobacteria disappear, the number of saprophytes and nitrogen-fixing bacteria decrease gradually and nitrifying bacteria appear.

*Key words: ecotoxicants flooded, sarcophagus, ecological state, Black sea*

УДК [597.556:591.5] [210.7.262.5.477.74.043.5]

С.М. СНИГРЬОВ, В.І. МЕДІНЕЦЬ, О.М. АБАКУМОВ

Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова  
пров. Маяковського 7, Одеса 65082, Україна

**РІЗНОМАНІТНІСТЬ ІХТІОФАУНИ ПРИБЕРЕЖНИХ ВОД  
ОСТРОВА ЗМІЇНИЙ У 2004-2009 РР.**

Наведено результати досліджень видового складу іхтіофауни прибережної акваторії острова Зміїний у 2003–2009 рр. Проаналізовано індекси видового різноманіття риб. Обговорюються тенденції зміни біорізноманіття іхтіофауни в прибережних водах острова Зміїний за останні 6 років та ймовірні причини змін, що спостерігаються.

*Ключові слова: іхтіофауна, різноманітність, о. Зміїний, Чорне море*

Дослідження останніх років [4] показали, що прибережні води біля острова Зміїний, де знаходиться зоологічний заказник державного значення, є унікальними за біорізноманіттям гідробіонтів. Вжиті протягом останніх роки заходи з розвитку інфраструктури острова Зміїний ставлять на перший план проблему збереження унікального біологічного різноманіття прибережної екосистеми, однією з найважливіших складових якої є іхтіофауна.

Мета цієї роботи – визначити тенденції змін різноманіття іхтіофауни прибережних вод о. Зміїний за результатами досліджень, проведених на науково-дослідній станції «Острів Зміїний» Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова у 2004–2009 рр.

**Матеріал і методи досліджень**

Методи лову і визначення видового складу риб, що використовувалися, детально викладено в [4]. Вивчено прибережну акваторію загальною площею близько 2,0 км<sup>2</sup>; проаналізовано понад 360 сітних уловів риби.

Для кількісної оцінки різноманіття іхтіофауни використовували такі показники: показник видового багатства за Маргалєфом [9], індекс загального різноманіття Шеннона [3, 9], індекс вирівняності Пієлу [3, 9].

Статистичну обробку проводили на персональному комп'ютері з використанням програмного пакету STATISICA 6.

Результати досліджень та їх обговорення

Всього в період з 2004 р. до 2009 р. у прибережних водах острова було зареєстровано 50 видів риб, що належать до 12 родин, 30 сімейств і 41 роду [5]. Аналіз видового складу іхтіофауни показав, що 64% приострівної іхтіофауни (32 види) є рідкісними видами та такими, що охороняються (11 видів риб включено до Червоної книги України [10], 14 видів – до Червоної книги Чорного моря [11], 8 – охороняються Бернською конвенцією [1], 14 – Бухарестською конвенцією [2], 5 видів занесені до Червоного списку IUCN [12]. Рідкісні і охоронювані види риб представлені загонами Perciformes (16 видів), Syngnathiformes (5), Acipenseriformes (2) (Scorpaeniformes (2), Gobiesociformes (2) Beloniformes (1) і Pleuronectiformes (1).

Аналіз отриманих нами результатів показав, що, хоча досліджувана зона прибережних вод о. Зміїний за площею становила лише 2 км<sup>2</sup>, кількість зафіксованих поблизу острова риб становить близько 68% від кількості видів, які мешкають в Придунайському районі Чорного моря [5]. При