



УДК 634/7:581.524.1

© 2009

О. Ф. Рильський, К. О. Домбровський, П. І. Гвоздяк, О. О. Капітан

Біосорбція комплексу іонів важких металів біоплівкою *Zannichellia palustris*

(Представлено членом-кореспондентом НАН України О. Ю. Митропольським)

*Розглядається можливість використання адсорбційної здатності біоплівки водної рослини *Zannichellia palustris* щодо важких металів (Cr^{3+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+}) та їх застосування для біологічного очищення природних та стічних вод.*

Більшість малих річок басейну Дніпра, що протікають урбанізованими територіями, в теперішній час зазнають інтенсивного впливу антропогенних факторів. Їх гирла зневоднені, русла спрямлені, берега забудовані, а вони самі є фактично відстійниками численних промислових, сільськогосподарських і комунальних стоків.

Прикладом таких річок є р. Мокра Московка, яка опинилася майже в центрі м. Запоріжжя і слугує, по суті, колектором, до якого потрапляють зливові та деякі стічні води міста. Внаслідок замулення річки утворюються значні мілководні ділянки, що інтенсивно заростають вищою водною рослинністю, на зануреній поверхні якої розмножуються бактеріальні асоціації та розвиваються різні представники перифітонного угруповання, утворюючи потужну біоплівку.

Мокра Московка — ліва притока Дніпра, бере початок у с. Московка. Довжина річки 62 км, площа водозбору 457 км². По території м. Запоріжжя протікає впродовж 7 км і впадає в р. Дніпро біля Дубового Гаю. З 2000 р. русло р. Мокра Московка в межах м. Запоріжжя почало інтенсивно заростати вищою водною рослинністю, серед якої переважала *Zannichellia palustris* L. Після розчищення русла в межах міста в 2005–2006 рр. водна рослина *Zannichellia palustris* L. відновила свою біомасу в річці протягом 2007 р. майже до рівня 2005 р.

Загальновідомо, що вища водна рослинність є природним субстратом для розвитку біоплівки та організмів перифітону, що здатні очищати забруднені води від сполук важких металів і біогенних речовин [1, 2]. Механізми взаємодії металу зі сполуками клітин бактерій добре вивчено та, отже, запропоновано різні моделі їх взаємодії [3–6]. Розроблено низку методів очищення води з урахуванням особливостей складу і структури клітинної стінки бактерії, найпростіших, дріжджів, водної рослинності [7]. Однак у доступній нам науково-технічній літературі немає згадки про біоплівку *Zannichellia palustris*, а тим більше про її роль в очищенні води від іонів важких металів.

Наша мета — вивчити адсорбційні можливості біоплівки *Z. palustris* відносно комплексу іонів важких металів (Cr^{3+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+}) та охарактеризувати водні угруповання, які розвиваються на поверхні цієї рослини в товщі води, що протікає індустріальним містом.

Для визначення рівня нагромадження іонів важких металів біоплівкою *Z. palustris* рослину відбирали з р. Мокра Московка в межах м. Запоріжжя в серпні місяці, коли сама рослина й біоплівка, що її оточує, досягають найбільшого розвитку. Адсорбційну здатність біоплівки *Z. palustris* порівнювали з можливостями біоплівки, що розвивалася на поверхні відомого інертного носія “ВІЯ” (далі “ВІЯ”) для іммобілізації бактерій [8, 9], який розмістили в р. Мокра Московка як тільки почався вегетаційний період — на початку квітня.

Безпосередньо перед лабораторними експериментами біоплівку *Z. palustris* перевіряли на наявність у ній іонів важких металів. Виявилось, що концентрація іонів металів у біоплівці *Z. palustris* становила, мг/г: Zn 0,14, Pb 0,11, Cr 0,12, Ni 0,06, а іонів Co, Cd взагалі не було виявлено. Фрагменти оброслої впродовж 120 діб у р. Мокра Московка біоплівки *Z. palustris* й “ВІЯ” масою по 400 г занурювали в 4-літрові ємності з модельними розчинами іонів металів. Після витримування в розчинах впродовж 10, 30, 60, 120 хв та через 24 год відбирали проби води і аналізували концентрацію важких металів за допомогою атомно-адсорбційної спектрофотометрії. Результати дослідів наведено в табл. 1.

Контроль адсорбції іонів важких металів проводили на свіжих (без витримування у річці) “ВІЯ”. Носії бактерій (400 г) занурювали в розчини важких металів в 4-літровій ємності. Концентрації важких металів у воді в ємності були ті самі, що й у досліді, — 20 мг/л.

Найбільш динамічно зменшувалася концентрація Pb^{2+} як при контакті з “ВІЯ”, так і при контакті з біоплівкою *Z. palustris* (див. табл. 1). Вже через 10 хв вона дорівнювала близько 93% початкової концентрації в обох випадках, а через 60 хв Pb^{2+} був відсутнім у досліджуваних розчинах. Найповільніше проходить процес адсорбції іонів Ni^{2+} порівняно з іншими металами. За результатами дослідів, через 120 хв, наприклад, залишкова концентрація Ni^{2+} становила 33,5% в обох випадках, тоді як через 24 год у розчині з “ВІЯ” вона дорівнювала 5%, у розчині з біоплівкою *Z. palustris* — 22%.

Концентрація Cr^{3+} зменшується в розчині через 10 хв контакту з біоплівкою *Z. palustris* й “ВІЯ” на 47 й 46 % відповідно. А через 120 хв Cr^{3+} не виявлено ні в першому, ні в другому

Таблиця 1

Концентрація важких металів (ВМ), мг/л		Тривалість контакту, хв					
ВМ	Біоплівка	0	10	30	60	120	1440
Cr^{3+}	I	20	9,48	2,10	1,16	0,00	0,00
	II*	20	9,28	1,08	0,26	0,00	0,00
Cd^{2+}	I	20	14,46	7,64	6,13	3,94	2,03
	II*	20	14,33	9,24	6,61	2,07	0,54
Pb^{2+}	I	20	18,92	0,00	0,00	0,00	0,00
	II*	20	19,55	0,18	0,00	0,00	0,00
Zn^{2+}	I	20	15,79	6,23	3,99	2,00	1,09
	II*	20	16,40	6,40	3,52	1,08	0,12
Ni^{2+}	I	20	19,28	10,42	8,74	6,70	4,43
	II*	20	18,70	12,24	10,29	6,64	0,99
Co^{2+}	I	20	16,72	9,72	7,17	5,64	3,22
	II*	20	16,84	10,96	8,25	6,16	1,11

* Носій бактерій “ВІЯ”

випадках. Майже така сама залежність зниження концентрації в розчині спостерігається з Cd^{2+} . При контакті Cd^{2+} з біоплівкою *Z. palustris* й “ВІЯ” через 10 хв концентрація зменшувалась до 72% в обох випадках. Через 60 хв у першому й другому випадках концентрація Cd^{2+} дорівнювала 31 й 33% відповідно. Для Co^{2+} й Zn^{2+} спостерігається аналогічна динаміка зменшення концентрації в розчинах при зануренні в них біоплівки *Z. palustris* й “ВІЯ”, що обросли біоплівкою.

Дослідження складу біоплівки *Z. palustris* показало, що загальне мікробне число 1 г біомаси *Zannichellia palustris* становило $7,5 \cdot 10^6$ – $12 \cdot 10^6$ клітин. Серед мікроорганізмів грам-позитивні бактерії домінують над грамнегативними. Грамнегативні бактерії представлені переважно родом *Pseudomonas*. Виявлені також споротвірні термофіли та невелика кількість коків і спірил. У біоплівці зустрічаються численні стрептобацили, що відносяться в основному до родів *Bacillus* та *Clostridium* [10].

За період дослідження в мікроперифітоні було виявлено шість видів епіфітонних інфузорій, що належать до трьох підкласів: до *Holotricha* — *Plagiopyla nasuta* Stein; до *Peritricha* — *Vorticella convallaria* L., *Zoothamnium arbuscula* Ehrenberg, *Paramecium caudatum* E., *P. aurelia* E.; до *Suctorina* — *Podophrya fixa* Muller. Усі виявлені види епіфітонних інфузорій водотоку належать до сапробних форм, вони характеризують фоновий стан забруднення води досліджуваної річки, що відповідає альфа-мезосапробному рівню.

Згідно з результатами досліджень, нами запропоновано використання зануреної вищої водної рослини *Zannichellia palustris* як природного субстрату для біологічного очищення природних та стічних вод, де за рахунок біоплівки та організмів перифітону відбувається вилучення важких металів з водного середовища.

Таким чином, біоплівка *Z. palustris* за короткий термін (2 год) здатна адсорбувати з водного розчину 70–90% комплексу іонів металів Cr^{3+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} від загальної початкової концентрації 120 мг/л. Найбільш динамічно біоплівка адсорбує хром (III) й свинець. Через 2 год іони цих металів у розчині не визначаються. Метали біоплівки *Z. palustris* й “ВІЯ” адсорбуються майже з однаковою швидкістю. В біоплівці домінують бактерії родів *Bacillus* й *Pseudomonas*. Серед перифітону переважають інфузорії підкласу *Peritricha* (*Vorticella convallaria*, *Paramecium caudatum*, *Paramecium aurelia*); серед макроперифітону — личинки волохокрильців (*Hydropsyche angustipennis*). Занікелію болотну можна рекомендувати як природний субстрат для біологічного очищення природних та стічних вод.

Автори висловлюють щирю подяку канд. біол. наук В. М. Багнюку за визначення водної рослини *Zannichellia palustris* L.

1. Пасичная Е. А. Токсичность меди для гидрофитов: аккумуляция, влияние на фотосинтез, дыхание, пигментную систему // Гидробиол. журн. – 2001. – **37**, № 3. – С. 93–107.
2. Таширев А. Б. Теоретические аспекты взаимодействия микроорганизмов с металлами // Микробиол. журн. – 1994. – **56**, № 6. – С. 76–100 : Восстановительная трансформация металлов. – С. 76–88; Микробная аккумуляция металлов, обусловленная их стереохимической аналогией с макроэлементами. – С. 89–100.
3. Пасична О. О. Порівняльна характеристика дії іонів важких металів на вищі водянні та нитчасті водорості // Наук. зап. Тернопіль. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер. Біологія. Спец. вип.: гідроекологія. – 2001. – № 3. – (14). – С. 222–224.
4. Пат. 59098 Україна, № 7 СО 293/34, 3/10. Спосіб очищення води від радіонуклідів / Б. Ю. Корнілович, П. І. Гвоздяк, Л. М. Спасьонова та ін. – Заявл. 13.11.02; Опубл. 15.08.03; Бюл. № 8.
5. Пирог Т. П. Роль экзополисахаридов *Acinetobacter* sp. в защите клеток продуцента от действия тяжелых токсичных металлов // Микробиология. – 1997. – **66**, № 3. – С. 341–346.

6. Подгорский В. С., Касаткина Т. П., Лозовая О. Г. Дрожжи – биосорбенты тяжелых металлов // Микробиол. журн. – 2004. – **66**, № 1. – С. 91–103.
7. Никовская Г. Н., Ульберг З. Р., Стрижак Н. П. Коллоидно-химические закономерности взаимодействия урана (VI) с клетками металлорезистентной культуры бактерий *Vacillus cereus* ВКМ 4368 // Коллоид. журн. – 2002. – **64**, № 2. – С. 194–200.
8. А. с. 1566675 СССР, А15 С 02 Ф/30. Способ очистки воды / П. И. Гвоздык, Н. Ф. Могилевич, А. Д. Дёнис. – Оpubл. 23.05.90; Бюл. № 19. – Пат. 21 Україна С 02. – Оpubл. 30.11.92.
9. Гончарук В. В., Чернявская А. П., Жукинський В. Н. Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды. – Киев: Наук. думка, 2005. – 400 с.
10. Таширев А. Б. Теоретические аспекты взаимодействия микроорганизмов с металлами // Микробиол. журн. – 1995. – **57**, № 2. – С. 95–104.

Запорізький національний університет
 Запорізький національний технічний університет
 Інститут колоїдної хімії та хімії води
 ім. А. В. Думанського НАН України, Київ

Надійшло до редакції 07.08.2008

O. F. Rylskyi, K. O. Dombrovskyi, P. I. Gvozdyak, O. O. Kapitan

Biosorption of a complex of heavy-metal ions by a biofilm of *Zannichellia palustris*

*The possibility of using the adsorbing capacity of biofilms of the aquatic immersed plant *Zannichellia palustris* with respect to heavy metals (Cr^{3+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+}) is studied and their application in the biological purification of natural waters and sewage is considered.*