

УДК 579.26:579.222.4

**Г. Г. Тропівська**<sup>1</sup>, провідний інженер

**І. К. Курдиш**<sup>2</sup>, д.б.н., професор

<sup>1</sup>Одеський філіал Інституту біології південних морів ім. О.О. Ковалевського НАН України,

вул. Пушкінська, 37, Одеса, 65011, Україна, e-mail: anna.pavlova99@gmail.com

<sup>2</sup>Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України,

вул. Академіка Заболотного, 154, Київ, Д03680, Україна

### **ФОСФАТМОБІЛІЗУВАЛЬНІ БАКТЕРІЇ У ВОДІ ТА ДОННИХ ВІДКЛАДЕННЯХ ЛИМАНІВ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я**

Досліджено чисельність фосфатмобілізуювальних бактерій в водній товщі та в донних відкладеннях лиманів північно-західного Причорномор'я. Найбільша кількість цих мікроорганізмів у водній товщі та в донних відкладеннях спостерігалась у Дофінівському та Хаджибейському лиманах, найменша – у Тилігульському та Григорівському. Значна частина фосфатмобілізуювальних бактерій акумулюється в донних відкладеннях лиманів, де їх чисельність в 10–100 разів перевищує таку в відповідних зразках шельфу Одеського регіону північно-західної частини Чорного моря. У водній товщі цих водойм різниця складає 2,0–2,5 рази.

**Ключові слова:** фосфатмобілізуювальні бактерії, лимани, північно-західна частина Чорного моря, водна товща, донні відкладення.

Лимани північно-західної частини Чорного моря (ПЗЧМ) за типом водного живлення поділяються на відкриті та закриті. Екологічний стан водойм формується під впливом фосфорного навантаження, яке викликає «цвітіння» води та масові замори риби [6, 8]. Найбільш гострі екологічні проблеми виникають у закритих мілководних лиманах. Показник відношення об'єму водойми до площі водного дзеркала  $V/S$  – це морфометрична характеристика, яка максимально визначає природний потенціал стійкості водойми. Максимальні значення показника  $V/S$  характерні для найбільших за розмірами і глибиною лиманів (табл. 1) [8].

В водних екосистемах фосфор поширений у декількох важливих формах – органічній, нерозчинній неорганічній та розчинній неорганічній формах. Розчинний неорганічний фосфор (ортофосфат) є найбільш важливим, тому що безпосередньо засвоюється фітопланктоном та підвищує продуктивність водойми [10]. Фосфатмобілізуювальні бактерії (ФМБ) здатні мобілізувати фосфат з важкорозчинних неорганічних сполук, а також мінералізувати органічні сполуки фосфору, відіграючи ключову роль в процесах трансформації сполук фосфору [1, 5, 7, 11, 12].

Таблиця 1

## Деякі характеристики лиманів ПЗЧМ

Лиман	Зв'язок з морем	Площа дзеркала, км <sup>2</sup>	Об'єм, млн. м <sup>3</sup>	V/S, м <sup>-1</sup>	Глибина середня (максимальна), м	Солоність, ‰	Антропогенне навантаження
Тилігульський	Періодичний, регульований	135	610	12,5	5,0 (21)	18 – 23	Населені пункти, дачні масиви
Хаджибейський	Те ж	112	560	5,0	5,0 (18,3)	4 – 6	Стічні води м. Одеси, скидні води з полів зрошення. Населені пункти, дачні масиви
Дофінівський*	Те ж	6,0 4,5	4,5 3,9	0,74	0,74 0,86 (1,2)	2 – 70	Населені пункти, дачні масиви
Григорівський	Постійний	5,8	44	7,7	7,7 (14,5)	12 – 18	Морський порт «Пів-денний», Припортовий завод

Примітка: \* верхня цифра характеризує весь лиман, нижня – його основну частину.

Поширення і активність ФМБ у лиманах ПЗЧМ досліджено недостатньо. Зважаючи на це метою роботи було визначення чисельності ФМБ у водній товщі та донних відкладеннях лиманів.

### Матеріали і методи досліджень

Проби води та донних відкладень були відібрані в прибережній зоні лиманів в липні – серпні 2012 року (рис. 1). Всього досліджено 17 проб води та 17 проб донних відкладень.

Бактерії, що здатні мобілізувати важкорозчинні сполуки фосфору, визначали за утворенням зон розчинення ортофосфату кальцію після висіву зразків води та відкладень з серійних розведень на елективне живильне середовище Муромцева [2] на воді з досліджуваної водойми. Посіви інкубували за температури 28 °С протягом 3–5 діб. Чисельність гетеротрофних мікроорганізмів визначали за загальною кількістю колоній на чашках Петрі на тому ж середовищі [3].

Чисельність бактерій, що здатні мінералізувати органічні сполуки фосфору, визначали на агаризованому середовищі Менкіної [4] на воді з досліджуваної водойми. Посіви інкубували за температури 28 °С протягом 3–5 діб.

Статистичне опрацювання отриманих даних проводили в пакеті MS Office – Microsoft Excel.

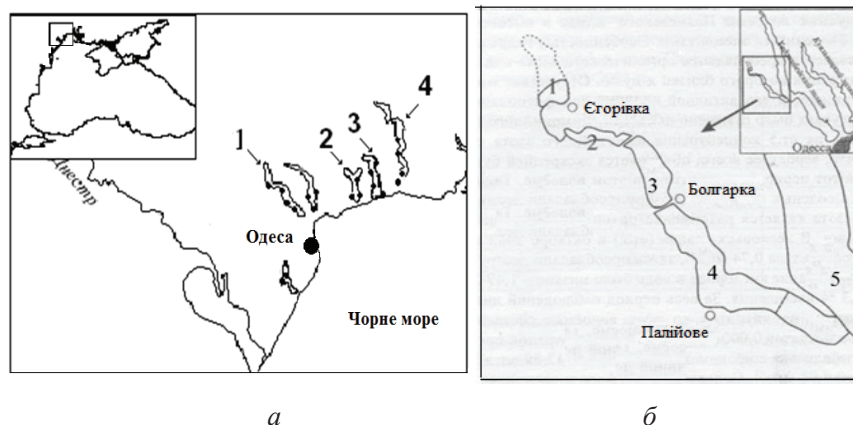


Рис. 1. Карта-схема лиманів північно-західної частини Чорного моря: а – загальний вигляд (1 – Хаджибейський, 2 – Дофінівський, 3 – Григорівський, 4 – Тилігульський); б – схема станцій в Палійовській затоці Хаджибейського лиману (ст. 2–4 – станції водоїм, котрі розміщені в ланцюжку Палійовської затоки, ст. 5 – Хаджибейський лиман, середина)

### Результати досліджень та їх обговорення

Встановлені значні відмінності в чисельності ФМБ у зразках води та донних відкладеннях лиманів.

**Дофінівський лиман.** У зразках води чисельність бактерій, що здатні мобілізувати фосфат з важкорозчинних неорганічних сполук (ФР), коливалася від 5,5 тис. КУО/мл (верхів'я) до 48,0 тис. КУО/мл (низів'я) (рис. 2а), в середньому – 17,0 тис. Кількість бактерій, що мінералізували органічні сполуки фосфору (ФМ), складала від 4,5 до 28,5 тис. КУО/мл, в середньому – 13,4 (рис. 2а).

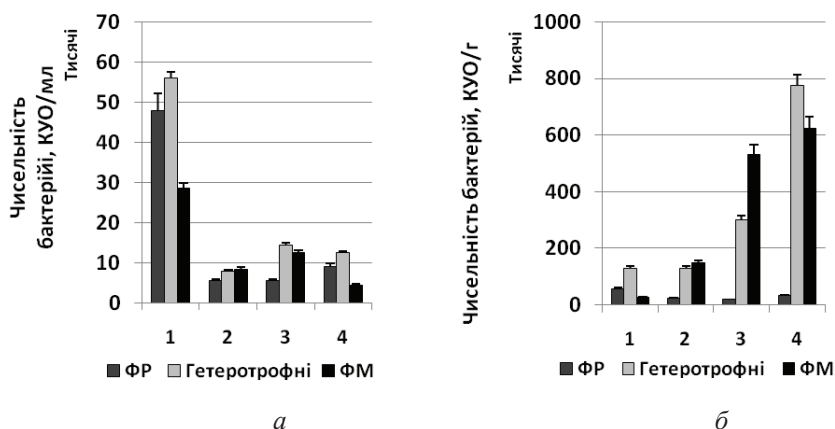


Рис. 2. Чисельність фосфатмобілізуючих бактерій у воді (а) та донних відкладеннях (б) Дофінівського лиману. Місця відбору зразків: 1 – низів'я (біля дамби); 2 – середина лиману; 3 – верхів'я (впадіння Олександрівського ставка); 4 – верхів'я (відшнурована затока зі східної сторони). ФР – бактерії, що здатні мобілізувати фосфат з важкорозчинних неорганічних сполук; ФМ – бактерії, що мінералізують органічні сполуки фосфору.

У донних відкладеннях Дофінівського лиману чисельність ФР коливалася від 18,8 (верхів'я, впадіння Олександрівського ставка) до 57,5 (низів'я) тис. КУО/г (рис. 2б), в середньому – 32,9 тис. Чисельність ФМ у донних відкладеннях коливалася від 26,5 (низів'я) до 622,5 (верхів'я – відшнурована затока з східної сторони) тис. КУО/г (рис. 2б), в середньому – 331,6 тис.

Тенденція збільшення кількості бактерій у водній товщі Дофінівського лиману від верхів'я до низів'я у донних відкладеннях зберігається лише для ФР. Чисельність ФМ досягає максимуму у верхів'ї лиману (рис. 2б), тобто йде накопичення органічних сполук у донних відкладеннях верхів'я лиману у місці впадіння Олександрівського ставка. Вірогідно, з Олександрівського ставка до лиману потрапляє велика кількість органічних сполук фосфору, що і обумовлює ріст чисельності ФМ. Можливо це вплив скидання стічних вод Куліндорівського промвузла в північно-західну частину ставка об'ємом 1–2 тис. м<sup>3</sup> доба<sup>-1</sup> [9].

Встановлено, що чисельність гетеротрофних бактерій у воді Олександрівського ставка порівняно з липнем 2002 року [Нідзвецька Л.М., неопубліковані дані] зросла у 4,8 рази (3 тис. та 14,5 тис. КУО/мл відповідно), а у донних відкладеннях – зменшилась у 1,5 рази (200 тис. та 130 тис. КУО/г відповідно).

У водній товщі Тилігульського лиману чисельність ФР коливалася від 0,1 тис. (низів'я) до 4,0 тис. (соляна калюжа) КУО/мл (рис. 3а); ФМ – від 0,1 (риборозплідник) до 3,8 тис. (соляна калюжа) КУО/мл, в середньому – 1,4 тис. Найбільша чисельність ФР та ФМ у водній товщі спостерігалась у соляній калюжі (4,0 тис. та 3,8 тис. КУО/мл відповідно).

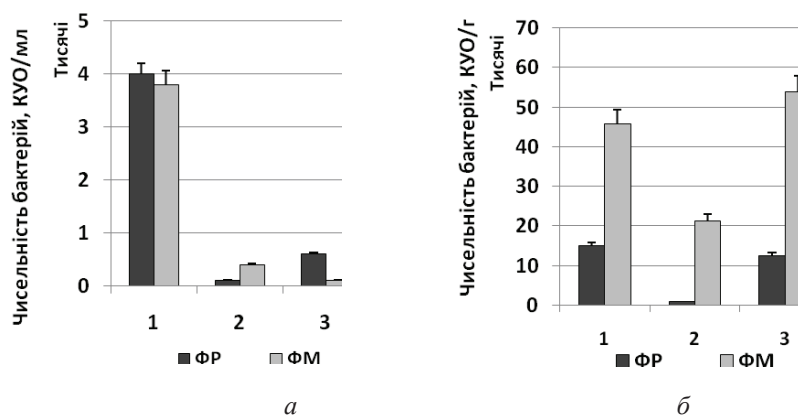


Рис. 3. Чисельність фосфатмобілізуючих бактерій у воді (а) та донних відкладеннях (б) Тилігульського лиману: 1 – соляна калюжа, 2 – низів'я, 3 – риборозплідник. ФР – бактерії, що здатні мобілізувати фосфат з важкорозчинних неорганічних сполук; ФМ – бактерії, що мінералізують органічні сполуки фосфору.

У донних відкладеннях Тилігульського лиману чисельність ФР змінювалася від 1,0 (низів'я) до 15,0 (соляна калюжа) тис. КУО/г (рис. 3б), в середньому –

9,5 тис. Чисельність ФМ у донних відкладеннях коливалася від 21,3 (низов'я) до 53,8 тис. КУО/г (риборозплідник) (рис. 3б), в середньому – 40,3 тис.

У водній товщі *Хаджибейського лиману* чисельність ФР варіювала від 0,3 тис. КУО/мл (ст. 2) до 26,0 тис. КУО/мл (ст. 3) (рис. 4а), в середньому – 9,0 тис.; ФМ – від 2,1 тис. (ст. 5) до 16,3 тис. (ст. 4) КУО/мл, в середньому – 10,3 тис.

У донних відкладеннях *Хаджибейського лиману* чисельність ФР коливалася від 35,0 (ст. 5) до 185,0 (ст. 3) тис. КУО/г (рис. 4б), в середньому – 85,8 тис. Чисельність ФМ у донних відкладеннях змінювалася від 80,0 (ст. 5) до 300,0 (ст. 4) тис. КУО/г (рис. 4б), в середньому – 216,9 тис.

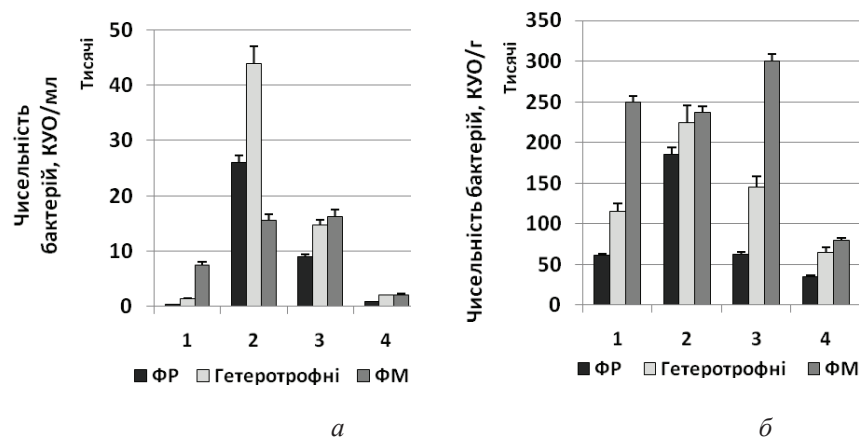


Рис. 4. Чисельність фосфатмобілізуючих бактерій у воді (а) та донних відкладеннях (б) *Хаджибейського лиману*: 1 – ст. 2, 2 – ст. 3, 3 – ст. 4, 4 – ст. 5. ФР – бактерії, що здатні мобілізувати фосфат з важкорозчинних неорганічних сполук; ФМ – бактерії, що мінералізують органічні сполуки фосфору.

Порівняння середньої чисельності гетеротрофних бактерій у *Хаджибейському лимані* влітку 2002 р. [8] з результатами наших досліджень, свідчить про те, що їх чисельність зменшилася у воді та донних відкладеннях – у 2 рази (у воді – 30,8 тис. та 15,5 тис. КУО/мл, у відкладеннях – 280 тис. та 137,5 тис. КУО/г відповідно).

У водній товщі *Григорівського лиману* чисельність ФР коливалася від 1,6 (гірло лиману) до 2,4 (хімічний причал Припортового заводу) тис. КУО/мл (рис. 5а), в середньому – 2,0 тис. Кількість ФМ складала від 7,6 (хімічний причал Припортового заводу) до 20,0 (гірло лиману) тис. КУО/мл, в середньому – 13,8 тис.

У донних відкладеннях *Григорівського лиману* чисельність ФР коливалася від 15,4 (гірло лиману) до 19,0 (хімічний причал Припортового заводу) тис. КУО/г (рис. 5б), в середньому – 17,2 тис. Кількість ФМ донних відкладеннях варіювала від 60,0 (хімічний причал Припортового заводу) до 63,8 (гірло ли-

ману) тис. КУО/г (рис. 5б), в середньому – 61,9 тис. Потрібно відзначити, що чисельність бактерій у відібраних зразках майже не відрізнялася одна від одної, окрім зразків води з гирла Григорівського лиману, де кількість ФМ була в 2,6 разу вищою, ніж в зразках, відібраних біля хімічного причалу Припортового заводу.

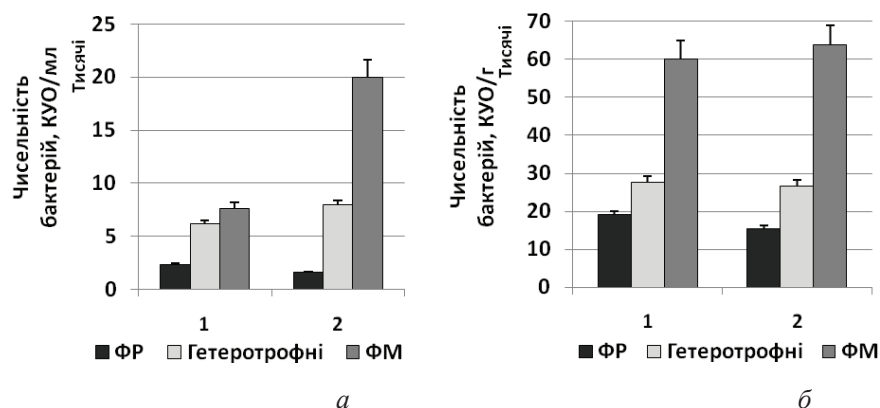


Рис. 5. Чисельність бактерій у воді (а) та донних відкладеннях (б) Григорівського лиману: 1 – хімічний причал Припортового заводу, 2 – гирло Григорівського лиману. ФР – бактерії, що здатні мобілізувати фосфат з важкорозчинних неорганічних сполук; ФМ – бактерії, що мінералізують органічні сполуки фосфору.

Встановлено, що у Григорівському лимані в порівнянні з теплим сезоном у 1993–1996 рр. [8] чисельність гетеротрофних бактерій зменшилася у воді – у 2 рази (14,1 тис. та 7,1 тис. КУО/мл відповідно), у відкладеннях – в 61 раз (1654 тис. та 27 тис. КУО/г відповідно).

Таким чином, кількість ФР в досліджуваних лиманах коливалась від 1,0 до 185,0 тис. КУО/г, а ФМ – від 21,3 до 622,5 тис. КУО/г. Найбільша чисельність ФР та ФМ у донних відкладеннях спостерігалась у Хаджибейському та Дофінівському лиманах (табл. 2). Найменша кількість ФМБ відмічена у донних відкладеннях Тилігульського лиману.

При порівнянні чисельності досліджуваних мікроорганізмів у лиманах та у Чорному морі встановлено, що кількість ФМБ у донних відкладеннях досліджуваних лиманів в 10–100 разів перевищує таку в морських екосистемах (для порівняння обрано Одеський регіон ПЗЧМ, глибина 8–25 м). У водній товщі цей показник відрізнявся лише у 2,0–2,5 рази.

Велика чисельність ФМБ у Дофінівському та Хаджибейському лиманах пояснюється декількома факторами. Ці лимани є ізольованими і характеризуються невисоким природним потенціалом (V/S). Весною, в період паводків, вода, що містить органічні та інші забруднюючі речовини з водозбору потрапляє до лиманів, влітку прогрівається вище 30 °С. Великий об'єм води випаровується,

концентрація органічних речовин збільшується, що провокує «цвітіння» водоростей, подальше накопичення органіки та масові замори риби. Такі явища відмічалися в 2012 році в Хаджибейському та Дофінівському лиманах. В результаті цих процесів підвищується чисельність фосфатмобілізуювальних бактерій. Крім цього, Дофінівський лиман дуже мілководний, що і посилює евтрофікацію та «накопичення» органічних речовин в донних відкладеннях, в тому числі сполук фосфору. Цей лиман є найбільш нестабільною екосистемою [8].

Таблиця 2

**Порівняння чисельності фосфатмобілізуювальних бактерій у досліджуваних лиманах та Одеському регіоні північно-західної частини Чорного моря**

	Чисельність бактерій, що мобілізують фосфат з важкорозчинних сполук, тис. КУО/г		Чисельність бактерій, що мінералізують органічні сполуки фосфору, тис. КУО/г	
	Водна товща	Донні відкладення	Водна товща	Донні відкладення
Дофінівський лиман	$\frac{5,5 - 48,0}{17,0}$	$\frac{18,8 - 57,5}{32,9}$	$\frac{4,5 - 28,5}{13,5}$	$\frac{26,5 - 622,5}{331,6}$
Тилігульський лиман	$\frac{0,1 - 4,0}{1,6}$	$\frac{1,0 - 15,0}{9,5}$	$\frac{0,1 - 3,8}{1,4}$	$\frac{21,25 - 53,8}{40,3}$
Хаджибейський лиман	$\frac{0,3 - 26,0}{9,03}$	$\frac{35,0 - 185,0}{85,8}$	$\frac{2,1 - 16,3}{10,3}$	$\frac{80,0 - 300,0}{216,9}$
Григорівський лиман	$\frac{1,6 - 2,4}{2,0}$	$\frac{15,375 - 19,0}{17,2}$	$\frac{7,6 - 20,0}{13,8}$	$\frac{60,0 - 63,8}{61,9}$
Одеський регіон ПЗЧМ	$\frac{0,02 - 51,5}{6,9}$	$\frac{0,25 - 19,0}{3,8}$	$\frac{0,02 - 33,0}{6,8}$	$\frac{0,25 - 36,8}{7,3}$

*Примітка:* Над рисою – діапазон показників, під рисою – середнє значення.

Слід зазначити, що під час замору вивільнення фосфору з донних відкладень збільшується до 10 разів, що, ймовірно, обумовлено інтенсифікацією анаеробної деградації фосфоровмісної органіки. Це супроводжується вторинним забрудненням, в тому числі завдяки діяльності ФМБ. Вважається, що фактор водообміну лиманів з морем є одним з найважливіших і сприяє стабілізації та поліпшенню екологічного стану водойм. Найменша чисельність ФМБ відмічена у Тилігульському лимані, який також вважається самою чистою водоймою ПЗЧМ та найбільш екологічно стабільною екосистемою [8].

Отримані дані щодо чисельності ФМБ в лиманах ПЗЧМ можуть слугувати одним із індикаторів стану евтрофікації водних екосистем.

## Висновки

1. Найбільша чисельність фосфатомобілізуючих бактерій як у водній товщі, так і в донних відкладеннях досліджуваних лиманів спостерігалась у Дофинівському та Хаджибейському лиманах, найменша – у Тилігульському та Григорівському.

2. Виявлено, що значна кількість фосфатомобілізуючих бактерій функціонує в донних відкладеннях та, вірогідно, бере участь у вилученні фосфору з донних відкладень і його трансформації у розчинну форму.

3. Чисельність фосфатомобілізуючих бактерій в донних відкладеннях досліджуваних лиманів в 10–100 разів перевищує таку в Одеському регіоні північно-західної частини Чорного моря. У водній товщі цей показник відрізнявся в 2,0–2,5 рази.

Автори щиро вдячні О. Ю. Гончарову за представлені проби води та донних відкладень з лиманів.

## Список використаної літератури

1. Курдиш І. К. Інтродукція мікроорганізмів у агроєкосистеми / І. К. Курдиш – К.: Наук. думка, 2010. – 253 с.
2. Муромцев Г. С. К вопросу об использовании водонерастворимых фосфатов почвенными микробами / Г. С. Муромцев // Доклады ВАСХНИЛ, 1955. – Вып. 5. – С. 35–41.
3. Методические указания по выделению микроорганизмов, растворяющих труднодоступные минеральные и органические соединения фосфора. – Л.: Всесоюзный науч.-исслед. ин-т с/х микробиологии, 1981. – 19 с.
4. Менкина Р. А. Бактерии, минерализующие органические соединения фосфора / Р. А. Менкина // Микробиология. – 1950. – Т. 19, № 4. – С. 308–315.
5. Мишустин Е. Н. Мобилизация минеральных фосфатов почвы и удобрений в процессе жизнедеятельности микроорганизмов / Е. Н. Мишустин, И. Т. Геллер, М. Синха // Изв. ТСХА. – 1972. – Вып. 4. – С. 116–121.
6. Нестерова Д. А. «Цветение» сине-зеленых водорослей в лиманах Северо-Западного Причерноморья / Д. А. Нестерова, О. В. Коваленко // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2011. – С. 347–355.
7. Рой А. А. Новые штаммы почвенных бацилл, минерализующие органические соединения фосфора / А. А. Рой, Л. В. Булаченко, И. К. Курдиш // Микробиол. журн. – 2001. – Т. 63, № 4. – С. 9–14.
8. Миничева Г. Г. Морфометрическое ранжирование / Г. Г. Миничева, В. Н. Большаков, В. В. Адобовский. – В кн.: Северо-западная часть Чёрного моря: (биология и экология); под ред. Ю. П. Зайцева. – К: Наук. думка, 2006. – С. 356–358.
9. Соколов С. В. Екологічний менеджмент прибережних екосистем закритого типу на прикладі Дофинівського лиману (Північно-Західне Причерномор'я) / С. В. Соколов // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: гідроекологія. – 2010. – № 3 (44). – С. 256–259.
10. Carpenter S. R. Eutrophication of aquatic ecosystems: bistability and soil phosphorus / S. R. Carpenter // PNAS. – 2005. – V. 102, No 29. – P. 10002–10005.
11. Kobori H. Extracellular alkaline phosphatase from marine bacteria: purification and properties of extracellular phosphatase from a marine *Pseudomonas* sp. / H. Kobori, N. Taga // Can. J. Microbiol. – 1980. – V. 26, No 7. – P. 833–838.
12. Rodrigues H. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion / H. Rodrigues, R. Fraga // Biotech. Advances. – 1999. – V. 17. – P. 319–339.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2014



**А. Г. Тропивская<sup>1</sup>, И. К. Курдиш<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Одесский филиал Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины,

ул. Пушкинская, 37, Одесса, 65011, Украина, e-mail: anna.pavlova99@gmail.com

<sup>2</sup>Институт микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины, ул. Академика Заболотного, 154, Киев, Д03680, Украина

## **ФОСФАТМОБИЛИЗИРУЮЩИЕ БАКТЕРИИ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЛИМАНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ**

### **Резюме**

Исследована численность фосфатмобилизирующих бактерий в водной толще и в донных отложениях лиманов северо-западного Причерноморья. Наибольшее количество этих микроорганизмов в водной толще и в донных отложениях наблюдалось в Дофиновском и Хаджибейском лиманах, наименьшее – в Тилигульском и Григорьевском. Значительная часть фосфатмобилизирующих бактерий аккумулируется в донных отложениях лиманов, где их численность в 10–100 раз превышает таковую в соответствующих образцах шельфа Одесского региона северо-западной части Черного моря. В водной толще этих водоемов разница составляет 2,0–2,5 раза.

**Ключевые слова:** фосфатмобилизирующие бактерии, лиманы, северо-западная часть Черного моря, водная толща, донные отложения.

**G. G. Tropivska<sup>1</sup>, I. K. Kurdish<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Odesa branch of Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, NAS of Ukraine, 37, Pushkinska str, Odesa, 65011, Ukraine,

e-mail: anna.pavlova99@gmail.com

<sup>2</sup>Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, NAS of Ukraine, 154, ac. Zabolotny str., Kyiv, D03680, Ukraine

## **PHOSPHATE-MOBILIZING BACTERIA IN WATER COLUMN AND SEDIMENTS OF ESTUARIES OF NORTH-WESTERN BLACK SEA REGION**

### **Summary**

Number of phosphate-mobilizing bacteria has been investigated in the water column and in the sediments of the estuaries of North-Western Black Sea Region. The largest number of these microorganisms in the water column and in the sediments was observed in Dofinivka and Khadzhibey Estuaries, the lowest – in Tylihul and Hryhorivsky Estuaries. Much of phosphate-mobilizing bacteria is accumulated in the sediments of the estuaries, their number is by one to two orders higher than that in the corresponding samples of the Odessa region shelf of the north-western part of the Black Sea. In the water column this quantity differs by 2-2,5 times.

**Keywords:** phosphate-mobilizing bacteria, estuaries, north-western part of the Black Sea, water column, sediments.