

<sup>1</sup>Одеський філіал Інституту біології південних морів О.О. Ковалевського НАН України,  
вул. Пушкінська, 37, Одеса, 65011, Україна

<sup>2</sup>Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України,  
вул. Академіка Заболотного, 154, Київ, 003680, Україна

## ФОСФАТМОБІЛІЗУВАЛЬНІ БАКТЕРІЇ, ВИДІЛЕНІ З ДОННИХ ВІДКЛАДЕНЬ ДОФІНІВСЬКОГО ЛИМАНУ ТА ОДЕСЬКОГО РЕГІОНУ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ

З донних відкладень Одеського регіону північно-західної частини Чорного моря (ПЗЧМ) та Дофінівського лиману виділені активні фосфатмобілізувальні штами бактерій. Серед виділених ізолятів найбільшою активністю характеризувались 2 штами бактерій. Досліджено їх морфологічні та фізіолого-біохімічні властивості, родова приналежність та динаміка росту у живильному середовищі з важкорозчинним ортофосфатом кальцію. Встановлено, що логарифмічна фаза росту цих бактерій починалася вже після 6 годин культивування. Чисельність клітин після 2-х діб культивування зростала від  $10^5$  –  $10^6$  до  $10^8$  –  $10^9$  КУО/см<sup>3</sup>. При цьому відбувалося зниження рН середовища від 7,1 до 4,56 – 4,86. Досліджувані бактерії з Одеського регіону ПЗЧМ, ідентифіковані як *Enterobacter* sp. 18, накопичували в культуральному середовищі до 240 мг  $PO_4^{3-}$ /л, а виділені з Дофінівського лиману – *Bacillus* sp. 5 – до 460 мг  $PO_4^{3-}$ /л.

**Ключові слова:** фосфатмобілізувальні бактерії, північно-західна частина Чорного моря (ПЗЧМ), Дофінівський лиман, *Enterobacter*, *Bacillus*, ортофосфат кальцію.

Інтенсивне застосування мінеральних добрив у рослинництві супроводжується забрудненням водойм, у тому числі екосистем моря та лиманів, сполуками азоту, фосфору та інших речовин. Це призводить до їх евтрофікації, а також загрожує порушенням природної рівноваги в цих водних об'єктах [11].

У період інтенсивного антропогенного впливу на водні екосистеми (1970-1991 рр.) частина хімічних сполук осіла на дні водойм. Фосфатмобілізувальні мікроорганізми цих екосистем здатні мобілізувати фосфат з важкорозчинних неорганічних сполук, а також мінералізувати органічні сполуки фосфору, відіграючи ключову роль у процесах трансформації фосфору.

Концентрація фосфату в екосистемах із підвищеною солоністю значною мірою визначається розчинністю його солей, що залежить від вмісту лужноземельних катіонів  $Ca^{2+}$  або  $Mg^{2+}$  чи іонів  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  та відповідних значень рН. У морській воді концентрація розчинного фосфату (до  $3 \cdot 10^{-6}$ М) в основному обумовлена вмістом іонів кальцію ( $4,1 \cdot 10^2$  мг/л), що утворює з фосфатом гідроксиапатити при значенні рН в діапазоні 7,9–8,1 [12]. Неорганічні важкорозчинні сполуки фосфату кальцію, алюмінію, заліза можуть розчинятись за дії різних видів фосфатмобілізувальних бактерій, що належать до родів *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Azospirillum*, *Flavobacterium* і *Erwinia* [4, 6, 15].

Поширення і активність фосфатмобілізувальних бактерій у водних екосистемах досліджено недостатньо. Зважаючи на це, метою роботи було виділення з донних відкладень Одеського регіону ПЗЧМ та Дофінівського лиману активних бактерій, що здатні мобілізувати фосфат-іон з важкорозчинного ортофосфату кальцію, їх ідентифікація, вивчення фізіологічної активності.

**Матеріали і методи.** Бактерії, що здатні мобілізувати важкорозчинні сполуки фосфору, визначали за утворенням зон розчинення ортофосфату кальцію після висіву зразків осадів із серійних розведень на елективне живильне середовище Муромцева [5] наступного складу (в г/л): глюкоза – 10,0; аспарагін – 1,0;  $Ca_3(PO_4)_2$  – 1,0;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  – 1,0;  $K_2SO_4$  – 0,2; агар-агар – 20,0; вода з досліджуваної водойми – 1 л. Таким чином, єдиним джерелом фосфору для бактерій в ньому слугував важкорозчинний ортофосфат кальцію. Посіви інкубували за температури 28°C протягом 3–5 діб. Чисельність гетеротрофних мікроорганізмів визначали за загальною кількістю колоній на чашці Петрі на тому ж середовищі.

Для кількісного визначення фосфатмобілізувальної активності бактерій їх культивували за температури 28°C у періодичних умовах на качалках (210 об/хв) у колбах Ерленмейера протягом 3 діб в 100 мл рідкого живильного середовища вказаного складу. Середовище інокулю-

© Г.Г. Павлова, А.О. Рой, І.К. Курдиш, 2014

вали суспензією клітин відповідної культури мікроорганізмів. Початкова кількість клітин у середовищі становила  $\sim 1 \cdot 10^5 - 10^6$  КУО/мл. Чисельність життєздатних клітин визначали методом серійних розведень шляхом висіву на агаризоване середовище. Концентрацію фосфату в середовищі визначали за методом Фіске – Суббароу з використанням молібдату амонію та аскорбінової кислоти [8].

Визначення морфологічних та фізіолого-біохімічних властивостей виділених штамів, необхідних для їх ідентифікації, проводили загально прийнятими методами. Ідентифікацію штамів бактерій здійснювали за визначником Бергі [9, 10].

Статистичну обробку отриманих даних проводили в пакетах комп'ютерних програм MS Office – Microsoft Excel та Origin 8. Різницю середніх показників вважали достовірною за рівня значимості  $p < 0,05$ .

**Результати та їх обговорення.** З донних відкладень Одеського регіону ПЗЧМ та Дофінівського лиману було виділено 47 та 12 ізолятів, відповідно, здатних рости та утворювати зони розчинення ортофосфату кальцію на середовищі Муромцева. При порівнянні вмісту мікроорганізмів встановлено, що чисельність фосфатмобілізувальних бактерій у донних відкладеннях Дофінівського лиману на один-два порядки перевищує таку в донних відкладеннях Одеського регіону ПЗЧМ (табл. 1).

Таблиця 1

**Характеристика зразків донних відкладень та вмісту в них мікроорганізмів**

Місце відбору зразків донних відкладень	Фізико-хімічні властивості зразка	Чисельність бактерій, КУО/г	
		загальна	Фосфатмобілізувальних бактерій
Дофінівський лиман, низов'я (біля дамби)	чорний мул	$1,3 \cdot 10^5$	$5,7 \cdot 10^4$
Дофінівський лиман, середина лиману	чорний мул	$1,3 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^4$
Дофінівський лиман ,верхів'я (Олександрівський ставок)	чорний мул	$3,0 \cdot 10^5$	$1,87 \cdot 10^4$
Дофінівський лиман, верхів'я (відшнурована затока зі східної сторони)	чорний мул	$7,75 \cdot 10^5$	$3,25 \cdot 10^4$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 2	ракушняк	$6,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 3	темно-сірий мул	$6,25 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 4	темно-сірий мул	$3,5 \cdot 10^3$	$1,25 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 5	чорний мул	$2,5 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 6	ракушняк з піском	$1,75 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 7	ракушняк	$3,75 \cdot 10^3$	$1,75 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 9	темно-сірий мул	$4,5 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 12	сірий мул з ракушняком	$1,07 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 13	дрібний ракушняк з піском	$5,00 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 15	чорний мул	$1,85 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 16	чорний мул	$3,1 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 17	чорний мул з ракушняком	$3,25 \cdot 10^3$	$2,75 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст.17a	чорний мул з ракушняком	$2,0 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^2$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст.18	ракушняк з піском	$6,32 \cdot 10^4$	$1,25 \cdot 10^4$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст.18a	ракушняк, пісок, мул	$6,0 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 19	темно-сірий мул	$1,2 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 20	чорний мул	$1,0 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^2$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 21	чорний мул	$6,0 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^3$
Одеський регіон ПЗЧМ, ст. 22	чорний мул	$8,0 \cdot 10^3$	$3,25 \cdot 10^3$

**Примітка:** ст. – місце відбору проб

Серед виділених культур були відібрані 2 найбільш активні штами фосфатмобілізувальних бактерій, навколо колоній яких утворювалися зони розчинення ортофосфату кальцію діаметром від 20 до 30 мм. Один із них (штам 18), виділений із донних відкладень Одеського регіону ПЗЧМ, а другий (штам 5) – з донних відкладень Дофінівського лиману.

З'ясовані культуральні, морфологічні та фізіолого-біохімічні властивості штамів. Штам 18 представлений рухливими, короткими, грамнегативними, оксидазонегативними, каталазопозитивними, цитратпозитивними, факультативноанаеробними паличками розміром  $0,45 \times 1,54$  мкм (табл. 2). Бактерії ферментували глюкозу з утворенням кислоти і газу, формували круглі, опуклі, гладкі, блискучі колонії з рівним краєм. Одержані характеристики штаму дозволили віднести його до роду *Enterobacter* (тип *Proteobacteria*, клас *Gammaproteobacteria*, порядок *Enterobacteriales*, сімейство *Enterobacteriaceae*).

На підставі проведених досліджень штам 5 можна віднести до роду *Bacillus*. Цей штам (*Bacillus* sp. 5) представлений великими, рухливими, грампозитивними паличками із заокругленими кінцями розміром  $1,65 \times 5,7$  мкм, що утворюють овальні спори, які розташовані в клітинах субтермінально. Клітини розміщувались у вигляді ланцюга або V-подібно чи поодинокі. Палички каталазопозитивні, оксидазонегативні, гідролізували крохмаль, сечовину; пептонізували молоко. Не відновлювали нітрати до нітритів, не розріджували желатину. 3 вуглеводів ферментують до кислоти глюкозу, сахарозу, маніт; не утилізували дульцит, лактозу, інозит, мальтозу, арабінозу, галактозу, рамнозу.

Визначені роди широко розповсюджені в природних екосистемах, у тому числі в морській воді [6, 12, 13].

Встановлено, що досліджувані культури суттєво відрізнялись за ростовою активністю та здатністю накопичувати фосфат у середовищі з важкорозчинним фосфатом кальцію. Так, за 2 доби культивування чисельність клітин *Enterobacter* sp. 18 збільшувалась з  $3,5 \cdot 10^6$  до  $3,17 \cdot 10^9$  КУО/мл (рис. 1). При цьому рН культуральної рідини знижувалась з 7,05 до 4,86 і в ній накопичувалось 240 мг/л  $\text{PO}_4^{3-}$ . Після 3 діб культивування кількість клітин майже не змінювалась, рН зростала, а кількість фосфату в середовищі зменшувалась. Відомо, що у деяких мікроорганізмів активний ріст починався при рН середовища 7,0, але при цьому швидко знижувалась до значення 4,0, а їх внутрішній рН залишався нейтральним [2]. Можливо, що підвищення рН середовища обумовлено синтезом певних метаболітів. Із збільшенням рН кількість фосфату в середовищі може зменшуватись за рахунок його взаємодії з іонами двохвалентних катіонів [3].

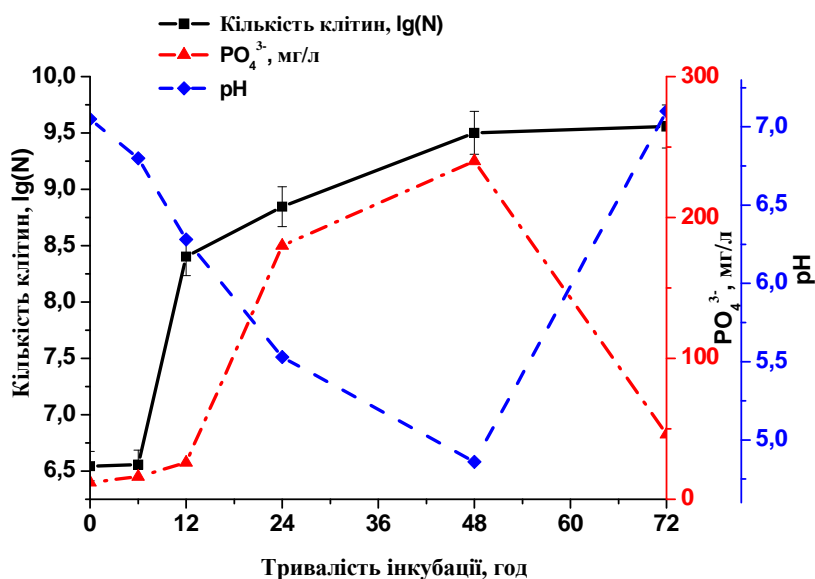


Рис. 1. Вплив тривалості культивування бактерій *Enterobacter* sp. 18 у середовищі з ортофосфатом кальцію на їх фізіологічну активність.

Довірчий інтервал при визначенні концентрації  $\text{PO}_4^{3-}$  та рН не перевищував 5-7%.

В аналогічних умовах досліді чисельність клітин *Bacillus* sp. 5 після 48 годин культивування збільшувалась від  $1 \cdot 10^5$  до  $1,63 \cdot 10^8$  КУО/мл. При цьому рН знижувалась до 4,63, а концентрація вивільненого фосфату досягала 350 мг/л. При подальшому культивуванні (3 доба) чисельність клітин зростала до  $1,94 \cdot 10^8$  КУО/мл, рН середовища знижувалась до 4,5, а накопичення  $\text{PO}_4^{3-}$  зростало до 460 мг/л (рис. 2).

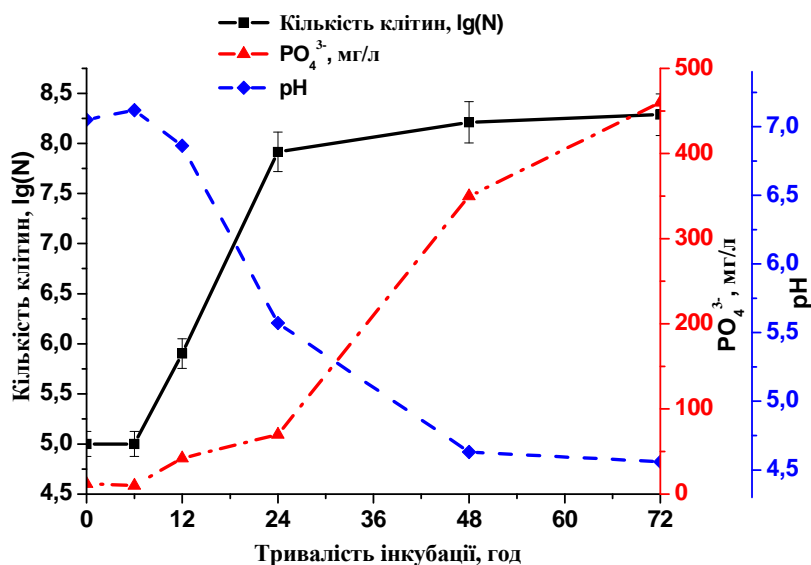


Рис. 2. Вплив тривалості культивування бактерій *Bacillus* sp. 5 у середовищі з ортофосфатом кальцію на їх фізіологічну активність.

Довірчий інтервал при визначенні концентрації  $\text{PO}_4^{3-}$  та рН не перевищував 5-7%.

Дані, подані на рисунках 1, 2 свідчать, що фаза логарифмічного росту бактерій починалась вже після 6 годин культивування. Збільшення чисельності мікроорганізмів призводило до зниження рН, що супроводжувалось розчиненням ортофосфату кальцію і накопиченням  $\text{PO}_4^{3-}$  в культуральному середовищі. Перехід бактерій у стаціонарну фазу може бути викликаний вичерпанням ресурсів або накопиченням продуктів метаболізму.

З літературних джерел відомі штами, що здатні вивільнювати до 50 мг/л  $\text{PO}_4^{3-}$  на добу [13] та 200–450 мг/л  $\text{PO}_4^{3-}$  за 3 доби [1, 14]. В умовах експерименту два досліджувані найбільш активні штами бактерій накопичували високі концентрації фосфату в середовищі. Так, *Enterobacter* sp. 18 за 2 доби накопичував до 240 мг/л, а *Bacillus* sp. 5 за 3 доби – 460 мг/л водорозчинного мінерального фосфору ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

В той же час, рН морської води є слаболужною. У водній товщі та донних відкладеннях середні значення рН становлять 8,2–8,4 [7]. Таке середовище не є сприятливим для розчинення фосфату кальцію. Однак, було показано, що рН – не єдиний фактор для вивільнення фосфору з важкорозчинних фосфатвмісних неорганічних сполук [12, 13]. Можливо, що в слабколужному середовищі основна роль у мобілізації фосфору з його важкорозчинних мінеральних сполук належить здатності органічних метаболітів бактерій утворювати хелатні сполуки. Згідно з даними С.Ш. Наутіяла [14] навіть в дуже лужних ґрунтах (рН 12) є бактерії, які здатні вивільнювати фосфат, що пов'язано з продукцією ними органічних метаболітів.

**Морфолого-культуральні та фізіолого-біохімічні властивості виділених штамів  
фосфатмобілізувальних бактерій**

Показники	Властивості штамів	
	<i>Enterobacter</i> sp. 18	<i>Bacillus</i> sp. 5
Розмір клітин, мкм	0,45×1,54	1,65×5,7
Форма та розташування клітин	короткі прямі палички	великі палички з заокругленими кінцями, що розміщуються у вигляді ланцюга, V-подібно чи поодинокі
Забарвлення за Грамом	-	+
Рухливість	+	+
Морфологія колоній	круглі, опуклі, гладкі, блискучі колонії з рівним краєм	світло-коричневі, маслянисті, блискучі, концентричні, щільні, гладкі з рівним краєм
Наявність ендоспор	-	+ круглі, овальні, розміщені субтермінально
Ріст в МПБ	+ помутніння середовища, плівка, осад	+ помутніння середовища, осад, рихла плівка
Здатність до факультативно-анаеробного росту	+	+
Каталаза	+	+
Оксидаза	-	-
Тест з метиловим червоним	-	-
Лізиндекарбоксилаза	+	-
Утилізація цитрату	+	-
Тест Фогес-Проскауера	+	-
Ріст в МПБ з 15% NaCl	-	-
Ріст в МПБ з 7,5 % NaCl	рихлий осад	рихлий осад
Гідроліз желатину	-	-
Гідроліз крохмалю	+	+
Утворення кислоти з глюкози	+	+
Утворення газу з глюкози	+	нд
Утворення кислоти з		
маніту	+	+
дульциту	-	-
інозиту	-	-
сахарози	+	+
мальтози	+	-
лактози	-	-
арабінози	+	-
галактози	+	-
рамнози	+	-
ксилози	+	+-
манози	+	нд
Утворення сірководню	+	-
Гідроліз сечовини (наявність уреаз)	+	+
Відновлення нітратів до нітритів	-	-
Пептонізація молока	-	+
Фенілаланіндезаміназа	-	-
Ріст при 50° C	-	+
Ріст при 44,5° C	-	+
Ріст при 41° C	+	+
Ріст при 5° C	+	-

**Примітка:** «+» – позитивна реакція або наявність ознаки, «-» – негативна реакція або відсутність ознаки, «+-» – слабка реакція, «Нд» – немає даних.

Таким чином, з донних відкладень Одеського регіону ПЗЧМ та Дофінівського лиману нами виділено ряд ізолятів фосфатмобілізуючих бактерій, серед яких селекціоновано два найбільш активні штами, ідентифіковані як *Enterobacter* sp. 18 та *Bacillus* sp. 5. Досліджені бактерії відрізнялись за динамікою росту та накопичували до 240–460 мг/л  $\text{PO}_4^{3-}$ .

*А.Г. Павлова<sup>1</sup>, А.А. Рой<sup>2</sup>, І.К. Курдиш<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Одеський філіал Інституту біології южних морей ім. А.А. Ковалевського НАН України, Одеса

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

## **ФОСФАТМОБИЛИЗИРУЮЩИЕ БАКТЕРИИ, ВЫДЕЛЕННЫЕ ИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОФИНОВСКОГО ЛИМАНА И ОДЕССКОГО РЕГИОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

### **Резюме**

Из донных отложений Одесского региона северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) и Дофиновского лимана выделены активные фосфатмобилизирующие штаммы бактерий. Среди выделенных изолятов наибольшей активностью характеризовались 2 штамма бактерий. Исследованы их морфологические и физиолого-биохимические свойства, родовая принадлежность и динамика роста в питательной среде с труднорастворимым ортофосфатом кальция. Установлено, что логарифмическая фаза роста бактерий начиналась уже после 6 часов культивирования. Численность клеток после 2-х суток культивирования увеличивалась от  $10^5 - 10^6$  до  $10^8 - 10^9$  КОЕ·см<sup>-3</sup>. При этом происходило снижение pH среды от 7,1 до 4,56–4,86. Исследуемые бактерии из Одесского региона СЗЧМ, идентифицированные как *Enterobacter* sp. 18, накапливали до 240 мг  $\text{PO}_4^{3-}$ /л, а выделенные из Дофиновского лимана – *Bacillus* sp. 5 – до 460 мг  $\text{PO}_4^{3-}$ /л.

Ключевые слова: фосфатмобилизирующие бактерии, северо-западная часть Черного моря, Дофиновский лиман, *Enterobacter*, *Bacillus*, ортофосфат кальция.

*A.G. Pavlova<sup>1</sup>, A.O. Roi<sup>2</sup>, I.K. Kurdish<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Odessa Branch of Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas,  
National Academy of Sciences of Ukraine, Odessa

<sup>2</sup>Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

## **PHOSPHATE-MOBILIZING BACTERIA ISOLATED FROM SEDIMENTS OF DOFINIVSKYI LYMAN AND ODESSA REGION OF NORTH-WESTERN PART OF THE BLACK SEA**

### **Summary**

Active strains of phosphate-mobilizing bacteria were isolated from sediments of Odessa region of north-western part of the Black Sea (NWBS) and Dofinivskyi Lyman. Two strains of bacteria were characterized by the highest activity among the selected isolates. Their morphological and physiological-biochemical properties, their genus identity and growth dynamics in a nutrient medium with insoluble calcium phosphate have been investigated. It has been established that the logarithmic phase of bacterial growth began after 6 hours of cultivation. The number of cells after 2 days of cultivation increased from  $10^5 - 10^6$  to  $10^8 - 10^9$  CFU · cm<sup>-3</sup>. This was accompanied by a decrease in pH from 7.1 to 4.56–4.86. The studied bacteria from Odessa region NWBS, identified as *Enterobacter* sp. 18, accumulated in the culture medium up to 240 mg  $\text{PO}_4^{3-}$ /l and from Dofinivskyi Lyman – *Bacillus* sp. 5 – 460 mg  $\text{PO}_4^{3-}$ /l.

The paper is presented in Ukrainian.

**Key words:** phosphate-mobilizing bacteria, north-western part of the Black Sea, *Enterobacter*, *Bacillus*, calcium phosphate.

**The author's address:** Pavlova G.G., Odessa branch of Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, National Academy of Sciences of Ukraine, 37 Pushkinska St. Odessa, 65011, Ukraine.

1. Булаченко Л.В., Курдиш И.К. Фосфатазная активность *Bacillus subtilis* ИМВ В-7023// Микробиол. журн. – 2005. – **67**, №4.– С. 21–27.
2. Глик Б., Д. Пастернак. Молекулярная биотехнология. Принципы и применение – М.: Мир, 2002. – 589 с.
3. Курдиш И.К., Хенкина Л.М., Бавина Е.Н., Малащенко Ю.Р. Шахтные сточные воды как основа питательной среды для метанооксиляющих бактерий при микробиологическом методе понижения метаносности угля // Микробиол. журн. – 1980. – **42**, №4. –С.420–427.
4. Курдиш И.К. Інтродукція мікроорганізмів у агроєкосистеми. – Київ: Наук. думка, 2010. – 253 с.
5. Муромцев Г.С. К вопросу об использовании водонерастворимых фосфатов почвенными микробами. – Доклады ВАСХНИЛ, 1955. – Вып. 5. – С. 35–41.
6. Рой А.А., Булаченко Л.В., Курдиш И.К. Новые штаммы почвенных бацилл, минерализующие органические соединения фосфора // Микробиол. журн. – 2001. – **63**, № 4. – С. 9–14.
7. Сорокин Ю.И. Черное море: Природа и ресурсы. – Москва: Наука, 1982. – 216 с.
8. Унифицированные методы анализа вод / Под ред. Ю.Ю.Лурье. – Москва: Химия, 1971. – 207 с.
9. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 2nd ed. – V. 2: The Proteobacteria, Part B: The Gammaproteobacteria / Edited by D. J. Brenner, N. R. Krieg, J. T. Staley & G. M. Garrity. – N.-Y.: Springer, 2005. – 1108 p.
10. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 2nd ed. – V. 3: The Firmicutes / Edited by P. De Vos, G.M. Garrity, D. Jones, N.R. Krieg, W. Ludwig, F.A. Rainey, K.-H. Schleifer and W.B. Whitman. – N.-Y.: Springer, 2005. – 1422 p.
11. *Carpenter S.R.* Eutrophication of aquatic ecosystems: bistability and soil phosphorus // PNAS.–2005.–V. 102, № 29.– P. 10002–10005.
12. *Ehrlich H. L.* Geomicrobiology. 4-th ed.–CRC Press, 2002.– P. 161–198.
13. *Gen-Fu W., Xue-Ping Z.* Characterization of phosphorus-releasing bacteria in a small eutrophic shallow lake, Eastern China // Water research. – 2005. – V. 39. – P. 4623 – 4632.
14. *Nautiyal C.S., Bhadauria S., Kumar P., Lal H., Mondal R., Verma D.* Stress induced phosphate solubilization in bacteria isolated from alkaline soils // FEMS Microbiol. Lett. – 2000. – V. 182. – P. 291 – 296.
15. *Rodrigues H., Fraga R.* Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion // Biotech. Advances. – 1999. – V. 17. – P. 319–339.

Отримано 23.09 2013