

**Т.П. Пирог<sup>1,2</sup>, А.П. Софилканич<sup>1</sup>, К.А. Покора<sup>1</sup>,  
Т.А. Шевчук<sup>2</sup>, Г.А. Иутинская<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Национальный университет пищевых технологий,  
ул. Владимирская, 68, Киев, 01601, Украина

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

## **СИНТЕЗ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ RHODOCOCCLUS ERYTHROPOLIS IMB Ac-5017, ACINETOBACTER CALCOACETICUS IMB B-7241 И NOCARDIA VACCINII IMB B-7405 НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДАХ**

*Исследован синтез поверхностно-активных веществ (ПАВ) при культивировании Acinetobacter calcoaceticus IMB B-7241, Rhodococcus erythropolis IMB Ac-5017 и Nocardia vacciniі IMB B-7405 на отходах различных производств (пищевой, нефтеперерабатывающей, производства биодизеля). Показана возможность замены традиционных дорогостоящих субстратов (n-гексадекан и этанол) для биосинтеза ПАВ на промышленные отходы (пережаренное подсолнечное масло, мелассу, технический глицерин, жидкие парафины). Условная концентрация ПАВ была максимальной на маслосодержащих субстратах и превышала таковую на n-гексадекане и этаноле в 2–3 раза. Наиболее высокие показатели синтеза ПАВ наблюдались на пережаренном подсолнечном масле (2 % по объему) с использованием инокулята, выращенного на углеводных субстратах (меласса, глюкоза).*

*Установлено, что внесение в среду 0,1 % глюкозы приводит к интенсификации в 2–4 раза синтеза ПАВ штаммами R. erythropolis IMB Ac-5017 и N. vacciniі IMB B-7405 на пережаренном масле.*

*Ключевые слова: интенсификация биосинтеза, поверхностно-активные вещества, промышленные отходы.*

Ежегодно в мире вырабатываются миллионы тонн отходов. Затраты на их переработку и обезвреживание занимают значительное место в бюджете предприятий. Однако рациональный подход к утилизации отходов предусматривает уменьшение их количества в результате повторного использования и переработки. Так, отходы, образующиеся при переработке сельскохозяйственных культур (сахарной свеклы, соевых бобов, картофеля и др.) или производстве растительных масел, могут использоваться в качестве субстратов в биотехнологии [11, 14, 16, 17]. Кроме этого, актуальной проблемой является утилизация технического глицерина – побочного продукта производства биодизеля [12]. Известно, что глицерин может быть успешно использован для получения различных продуктов микробного синтеза [11, 12]. Отметим, что опасными являются не только отходы, содержащие токсические вещества (например, глицериновая фракция – отход производства биодизеля), но и отходы, поступающие в окружающую среду в неконтролируемом количестве, например, маслосодержащие (отходы масло-жировых производств, пережаренное масло после использования в учреждениях общественного питания).

Уникальные свойства микробных поверхностно-активных веществ (ПАВ) обуславливают их использование в различных отраслях промышленности вместо химически синтезированных аналогов [6, 10, 16]. ПАВ микробного происхождения применяются в природоохранных технологиях для очистки почвы и водоемов от токсичных ксенобиотиков, рассматривается возможность их использования в качестве альтернативных антимикробных препаратов против резистентных микроорганизмов, а также фитопатогенных бактерий [6, 7, 10, 14–16]. Однако рациональное использование микробных ПАВ зависит в первую очередь от экономической эффективности их производства. Одним из способов удешевления технологии получения этих продуктов микробного синтеза является использование дешевых ростовых субстратов, например, промышленных отходов [7–9, 11, 12, 14, 16, 17].

Замена традиционных субстратов для биосинтеза ПАВ отходами промышленных производств (масло-жировой промышленности, пережаренного подсолнечного масла, техническо-

го глицерина, мелассы, жидких парафинов) позволит снизить себестоимость конечного продукта в несколько раз, а также решить проблему утилизации значительной массы отходов предприятий пищевой промышленности, производства биодизеля и сельскохозяйственного сектора.

Ранее из загрязненных нефтью образцов почвы нами были выделены нефтеокисляющие бактерии, идентифицированные, как *Acinetobacter calcoaceticus* K-4 (IMB B-7241), *Rhodococcus erythropolis* ЭК-1 (IMB Ac-5017), *Nocardia vaccinii* K-8 (IMB B-7405) и установлена их способность синтезировать метаболиты с поверхностно-активными и эмульгирующими свойствами на различных гидрофобных и гидрофильных субстратах [1–5]. Изучены оптимальные условия культивирования продуцентов, обеспечивающие максимальное образование ПАВ [2, 3, 5], показана возможность интенсификации синтеза поверхностно-активных веществ на основе исследования особенностей метаболизма используемого субстрата и внесении в среду экзогенных предшественников биосинтеза [5], а также осуществлено масштабирование процесса биосинтеза ПАВ на ферментационном оборудовании [4].

Цель работы – исследовать возможность использования различных промышленных отходов для синтеза ПАВ штаммами *R. erythropolis* IMB Ac-5017, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 и *N. vaccinii* IMB B-7405.

**Материалы и методы.** Объекты исследования – штаммы *R. erythropolis* IMB Ac-5017, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 и *N. vaccinii* IMB B-7405, зарегистрированные в Депозитарии микроорганизмов Института микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного Национальной академии наук Украины.

*R. erythropolis* IMB Ac-5017 выращивали на жидкой минеральной среде (г/л):  $\text{NaNO}_3$  – 1,3,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,1,  $\text{NaCl}$  – 1,0,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  – 0,6,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,14,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,01, pH 6,8–7,0. Для культивирования *A. calcoaceticus* IMB B-7241 использовали среду следующего состава (г/л):  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  – 0,35,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,1,  $\text{NaCl}$  – 1,0,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  – 0,6,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,14, pH 6,8–7,0. Штамм *N. vaccinii* IMB B-7405 выращивали на жидкой минеральной среде (г/л):  $\text{NaNO}_3$  – 0,5,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,1,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 0,1,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,1,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,01, дрожжевой автолизат – 0,5 % (по объему).

В качестве источника углерода и энергии использовали этанол, *n*-гексадекан, очищенный (>99,5 %) глицерин (так называемые «контрольные субстраты»), а также различные отходы: жидкие парафины ( $\text{C}_{10}$ – $\text{C}_{14}$ ), использованное (пережаренное) подсолнечное масло, отходы масло-жирового производства (фузы) в концентрации 1–2 % (по объему) и мелассу (1 % по углеводам). В качестве источника углерода использовали также технический глицерин (глицериновая фракция), являющийся отходом производства биодизеля (Запорожский биотопливный завод). При использовании технического глицерина в качестве субстрата его содержание в среде пересчитывали на эквимольное по углероду концентрации очищенного глицерина, с учетом среднего содержания в глицериновой фракции (70 %).

В одном из вариантов в начале процесса культивирования, в экспоненциальной и стационарной фазе роста исследуемых штаммов в среду с использованным подсолнечным маслом (2 % по объему) дополнительно вносили глюкозу (0,1–0,3 %), мелассу (0,1–0,3 % по углеводам) или *n*-гексадекан (0,1–0,5 % по объему).

В качестве инокулята использовали культуры из экспоненциальной фазы роста, выращенные на соответствующих жидких средах, содержащих 0,5–1% субстрата. Количество посевного материала ( $10^4$ – $10^5$  кл/мл) составляло 5–10 % от объема питательной среды. Культивирование бактерий осуществляли в колбах объемом 750 мл со 100 мл среды на качалке (320 об/мин) при 28–30 °C в течение 120 ч.

Синтез ПАВ оценивали по следующим показателям: условная концентрация ПАВ (ПАВ\*, безразмерная величина) и концентрация внеклеточных ПАВ (г/л), которые определяли, как было описано ранее [2–5].

Все опыты проводили в 3 повторностях, количество параллельных определений в экспериментах составляло от 3 до 5. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили как описано ранее [2–5]. Различия средних показателей считали достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** Данные по синтезу ПАВ при культивировании *R. erythropolis* IMB Ac-5017, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 и *N. vaccinii* IMB B-7405 на средах, содержащих в качестве источника углерода различные промышленные отходы, представлены в табл. 1. Результаты исследований свидетельствуют о том, что максимальные значения показателя условной концентрации ПАВ (ПАВ\* 7,1–11,2) наблюдались при выращивании всех исследуемых штаммов на маслосодержащих субстратах, а наиболее низкие (2,5–4,2) – на глицерине и мелассе.

Таблица 1

**Синтез ПАВ штаммами *R. erythropolis* IMB Ac-5017, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 и *N. vaccinii* IMB B-7405 на промышленных отходах**

Штамм	Условная концентрация ПАВ (ПАВ*) при культивировании на					
	мелассе	жидких парафинах	фузах	использованном подсолнечном масле	глицерине	<i>n</i> -гексадекане, этаноле*
IMB Ac-5017	3,3±0,16	4,7±0,23	8,0±0,40	10,4±0,52	2,5±0,12	4,8±0,24
IMB B-7241	4,0±0,20	6,0±0,30	7,1±0,35	11,2±0,56	2,5±0,12	4,0±0,20
IMB B-7405	3,5±0,17	2,0±0,10	7,2±0,36	9,4±0,47	4,2±0,21	3,2±0,16

**Примечания.** \* – «контрольные» субстраты (*n*-гексадекан для штамма IMB Ac-5017, этанол для штаммов IMB B-7241 и IMB B-7405). Концентрация субстратов в среде культивирования 2 %. Посевной материал выращен на соответствующих субстратах (0,5 %).

Отметим, что в данных экспериментах в качестве субстрата использовали очищенный глицерин. Однако отходами производства биодизеля является так называемая глицериновая фракция, или технический глицерин, содержащий не более 60–80 % глицерина, а также соли калия (натрия), остатки жирных кислот, спиртов и воду [12]. Основной проблемой на сегодняшний день является получение микроорганизмов-продуцентов практически ценных метаболитов, устойчивых к потенциальным ингибиторам, содержащимся в глицериновой фракции (метанол, натриевые и калиевые соли).

Представленные в табл. 2 данные свидетельствуют о том, что концентрация внеклеточных ПАВ при культивировании исследуемых штаммов на техническом глицерине была почти в два раза выше, чем на очищенном субстрате.

Таблица 2

**Синтез внеклеточных ПАВ при культивировании *R. erythropolis* IMB Ac-5017, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 и *N. vaccinii* IMB B-7405 на очищенном и техническом глицерине**

Штамм	ПАВ (г/л) при росте на глицерине	
	очищенном	техническом
IMB Ac-5017	0,5±0,03	1,0±0,05
IMB B-7241	2,4±0,12	4,7±0,23
IMB B-7405	1,8±0,09	3,5±0,18

**Примечание.** Концентрация технического глицерина (1,8 % по объему) эквивалентна по углероду 1 % очищенного глицерина.

Известно, что в некоторых случаях показатели синтеза целевого продукта зависят от природы источника углерода в среде для получения инокулята [5]. Так, ранее при исследовании синтеза микробных экзополисахаридов штаммом *Acinetobacter* sp. IMB B-7005 было установлено, что выращивание посевного материала на этаноле сопровождалось повышением концентрации синтезированных на глюкозе экзополисахаридов в два раза по сравнению с использованием инокулята, полученного на углеводсодержащей среде [5].

В связи с этим на следующем этапе исследовали влияние природы источника углеродного питания в среде для получения посевного материала на биосинтез ПАВ при культивировании исследуемых штаммов на пережаренном подсолнечном масле (табл. 3).

**Влияние способа подготовки инокулята на синтез ПАВ при культивировании  
*R. erythropolis* IMB Ac-5017, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 и *N. vaccinii* IMB B-7405  
на пережаренном масле (2 %)**

Источник углерода в среде для получения инокулята	Концентрация ПАВ (г/л)		
	IMB Ac-5017	IMB B-7241	IMB B-7405
Меласса	2,2±0,11	1,5±0,07	1,7±0,08
Глюкоза	1,9±0,09	1,8±0,09	1,5±0,07
<i>n</i> -Гексадекан	1,2±0,06	0,6±0,03	Н.о.
Глицерин	0,8±0,04	Н.о.	1,2±0,06
Этанол	1,3±0,06	0,9±0,04	0,6±0,03
Пережаренное масло	1,7±0,08	1,1±0,05	1,8±0,09

**Примечания.** Концентрация субстратов в среде для получения инокулята 1 %. Посевной материал выращен до середины экспоненциальной фазы роста. Н.о. – не определяли.

Данные, представленные в табл. 3, свидетельствуют, что при культивировании *R. erythropolis* IMB Ac-5017 и *A. calcoaceticus* IMB B-7241 на подсолнечном масле максимальная концентрация внеклеточных ПАВ наблюдалась при использовании инокулята, выращенного на углеводных субстратах (глюкоза или меласса). Количество ПАВ, синтезируемых *N. vaccinii* IMB B-7405 на маслосодержащей среде с использованием посевного материала, полученного на мелассе, глюкозе или пережаренном подсолнечном масле было практически одинаковым (1,5–1,8 г/л). Наиболее низкие показатели синтеза ПАВ для всех исследуемых штаммов отмечены в вариантах, в которых инокулят выращивали на таких неуглеводных субстратах как *n*-гексадекан, глицерин и этанол (табл. 3).

Учитывая результаты, представленные в табл. 3, а также данные по химическому составу ПАВ *R. erythropolis* IMB Ac-5017, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 и *N. vaccinii* IMB B-7405 (основной компонент комплекса – гликолипиды, в частности, трегалозомиколаты) [2–5], предположили, что внесение в среду с подсолнечным маслом глюкозы будет сопровождаться повышением синтеза ПАВ. Установлено, что после добавления 0,1 % глюкозы в начале процесса культивирования *R. erythropolis* IMB Ac-5017 на маслосодержащей среде количество синтезированных ПАВ повышалось в 4 раза по сравнению с выращиванием бактерий на среде без глюкозы (табл. 4). Замена глюкозы на эквивалентную по углеводам концентрацию мелассы сопровождалась снижением синтеза ПАВ на 25–30 %, что может быть связано с ингибированием синтеза поверхностно-активных веществ какими-то компонентами мелассы.

Таблица 4

**Влияние глюкозы на синтез ПАВ при культивировании *R. erythropolis* IMB Ac-5017  
на пережаренном масле (2 %)**

Момент внесения глюкозы (фаза роста)	Концентрация глюкозы, %	Концентрация ПАВ, г/л
Лаг-фаза	0,1	6,8±0,34
	0,2	3,6±0,18
	0,3	2,1±0,10
Экспоненциальная	0,1	2,5±0,12
	0,2	4,5±0,22
	0,3	3,1±0,15
Стационарная	0,1	2,8±0,14
	0,2	2,6±0,13
	0,3	2,9±0,15
Контроль	0	1,7±0,09

**Примечания.** Посевной материал выращен до середины экспоненциальной фазы роста на среде с подсолнечным маслом (1 %).

Как и для штамма *R. erythropolis* IMB Ac-5017, максимальное повышение синтеза ПАВ *N. vaccinii* IMB B-7405 на среде с подсолнечным маслом наблюдали при концентрации глю-

козы 0,1 %. Отметим, что влияние глюкозы на образование ПАВ штаммом ИМВ В-7405 практически не зависело от природы источника углерода в среде для получения инокулята (табл. 5). Так, независимо от момента внесения 0,1 % глюкозы в маслосодержащую среду при использовании посевного материала, выращенного на подсолнечном масле, концентрация внеклеточных ПАВ была в 2,0–2,4 раза выше, чем на среде без глюкозы. Эффект от внесения глюкозы в начале процесса и в экспоненциальной фазе роста при применении инокулята, полученного на мелассе, был таким же: увеличение концентрации ПАВ в 2,2 раза (табл. 5).

Таблица 5

**Влияние момента внесения глюкозы на синтез ПАВ при культивировании *N. vaccinii* ИМВ В-7405 на пережаренном масле (2 %)**

Субстрат для получения инокулята	Момент внесения глюкозы (фаза роста)	Концентрация ПАВ, г/л
Подсолнечное масло	Лаг-фаза	4,4±0,22
	Экспоненциальная	3,8±0,19
	Стационарная	3,6±0,18
	Без глюкозы	1,8±0,09
Меласса	Лаг-фаза	3,6±0,18
	Экспоненциальная	3,6±0,16
	Стационарная	1,4±0,07
	Без глюкозы	1,6±0,08

**Примечания.** Посевной материал выращен до середины экспоненциальной фазы роста. Концентрация подсолнечного масла и мелассы в среде для получения инокулята 0,5 %.

Дальнейшие эксперименты показали, что независимо от концентрации и момента внесения гексадекана в маслосодержащую среду культивирования штаммов *R. erythropolis* ИМВ Ас-5017, *A. calcoaceticus* ИМВ В-7241 и *N. vaccinii* ИМВ В-7405 наблюдали снижение на 15–20 % количества синтезированных внеклеточных ПАВ по сравнению с выращиванием штаммов на среде без гексадекана.

Таким образом, в результате проведенной работы мы показали возможность использования различных промышленных отходов для синтеза ПАВ *R. erythropolis* ИМВ Ас-5017, *A. calcoaceticus* ИМВ В-7241 и *N. vaccinii* ИМВ В-7405.

Следует отметить, что к настоящему времени имеется достаточно большое количество информации по микробному синтезу ПАВ на промышленных отходах [7–9, 11–14, 17]. Однако эти данные касаются в основном получения на альтернативных субстратах таких хорошо изученных микробных ПАВ, как рамнолипиды и липопептиды. В тоже время информация о родококках, растущих на этих субстратах, очень ограничена. Известно, что *R. erythropolis* 16 LM.USTNB синтезировал ПАВ на среде с 3 % пережаренного подсолнечного масла [14], а *Rhodococcus* sp. BS32 – с 20 г/л рапсового масла [13]. Однако в этих работах не исследовано количество синтезированных ПАВ (в г/л), в связи с чем невозможно сравнение наших результатов с данными по другим штаммам родококков. Что касается других исследованных нами штаммов (*A. calcoaceticus* ИМВ В-7241 и *N. vaccinii* ИМВ В-7405), то в доступной литературе нам не удалось обнаружить сведений о синтезе поверхностно-активных веществ представителями родов *Acinetobacter* и *Nocardia* на промышленных отходах. В наших предыдущих работах [2, 3] мы акцентировали внимание на очень незначительное количество публикаций по синтезу ПАВ бактериями этих родов даже на традиционных углеводородных субстратах.

При выполнении работы мы не только установили возможность использования пережаренного подсолнечного масла для синтеза ПАВ исследуемыми штаммами, но и показали возможность существенного (в 2–4 раза) повышения синтеза целевого продукта на данном субстрате при внесении в среду экзогенного предшественника (глюкозы).

*Т.П. Пирог<sup>1,2</sup>, А.П. Софілканич<sup>1</sup>, Х.А. Погора<sup>1</sup>,  
Т.А. Шевчук<sup>2</sup>, Г.О. Іутинська<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Національний університет харчових технологій, Київ

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

**СИНТЕЗ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН *RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS* IMV Ac-5017, *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* IMV B-7241 І *NOCARDIA VACCINII* IMV B-7405 НА ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДАХ**

**Резюме**

Досліджено синтез поверхнево-активних речовин (ПАВ) за умов росту *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241, *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 і *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 на відходах різних виробництв (харчової, нафтопереробної, виробництва біодизелю). Показано можливість заміни високо-вартісних субстратів (*n*-гексадекан та етанол) для біосинтезу ПАВ на промислові відходи (пересмажену соняшникову олію, мелясу, технічний гліцерин, рідкі парафіни). Умовна концентрація ПАВ була максимальною на олієвмісних субстратах і перевищувала таку на *n*-гексадекані та етанолі у 2–3 рази. Найвищі показники синтезу ПАВ спостерігалися на пересмаженій соняшниковій олії (2 %, об'ємна частка) з використанням інокуляту, вирощеного на вуглеводних субстратах (меляса, глюкоза).

Встановлено, що внесення у середовище 0,1 % глюкози супроводжувалося інтенсифікацією у 2–4 рази синтезу ПАВ штамами *R. erythropolis* IMV Ac-5017 і *N. vaccinii* IMV B-7405 на пересмаженій олії.

**Ключові слова:** інтенсифікація біосинтезу, поверхнево-активні речовини, промислові відходи.

*T.P. Pirog<sup>1,2</sup>, A.P. Sofilkanich<sup>1</sup>, K.A. Pokora<sup>1</sup>,  
T.A. Shevchuk<sup>2</sup>, G.A. Iutinskaya<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> National University of Food Technologies, Kyiv

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

**SYNTHESIS OF SURFACTANTS BY *RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS* IMV Ac-5017, *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* IMV B-7241 AND *NOCARDIA VACCINII* IMV B-7405 ON INDUSTRIAL WASTE**

**S u m m a r y**

The synthesis of surfactants by *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017, *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241 and *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 on industrial waste (food and oil-processing industry, production of biodiesel) was investigated.

The possibility of replacing the expensive substrates (*n*-hexadecane and ethanol) by industrial waste (oil and fat industry, fried sunflower oil, glycerol, liquid paraffin) for the surfactant biosynthesis was established. The conditional concentration of surfactants was maximal on oil containing substrates and exceeded those on *n*-hexadecane and ethanol 2-3 times.

The highest rates of surfactants synthesis were observed on fried sunflower oil with the use of inoculum grown on carbohydrate substrates (glucose, molasses).

It was established that the addition of glucose (0.1 %) was accompanied by 2-4-fold intensification of surfactants synthesis by *R. erythropolis* IMV Ac-5017 and *N.vaccinii* IMV B-7405 on fried sunflower oil (2 %).

The paper is presented in Russian.

**Key words:** biosynthesis intensification, surfactants, industrial waste.

The author's address: Pirog T.P., National University of Food Technologies, 68 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine.

1. Пирог Т.П., Шевчук Т.А., Волошина И.Н., Гречирчак Н.Н. Использование иммобилизованных на керамзите клеток нефтеокисляющих микроорганизмов для очистки воды от нефти // Прикл. биохимия и микробиология. – 2005. – **41**, № 1. – С. 58–63.
2. Пирог Т.П., Антонюк С.И., Карпенко Е.В., Шевчук Т.А. Влияние условий культивирования штамма *Acinetobacter calcoaceticus* К-4 на синтез поверхностно-активных веществ // Там же. – 2009. – **45**, № 3. – С. 304–310.
3. Пирог Т.П., Гриценко Н.А., Хомяк Д.И., Конон А.Д., Антонюк С.И. Оптимизация синтеза поверхностно-активных веществ *Nocardia vaccinii* К-8 на отходах производства биодизеля // Микробиол. журн. – 2011. – **73**, № 4. – С. 15–23.
4. Пирог Т.П., Игнатенко С.В. Масштабирование процесса биосинтеза поверхностно-активных веществ *Rhodococcus erythropolis* ЭК-1 на н-гексадекане // Прикл. биохимия и микробиология. – 2011. – **47**, № 4. – С. 436–442.
5. Підгорський В.С., Іутинська Г.О., Пирог Т.П. Інтенсифікація технологій мікробного синтезу. – Київ: Наук. думка, 2010. – 327 с.
6. Banat I., Franzetti A., Gandolfi I., Bestetti G., Martinotti M., Fracchia L., Smyth T., Marchant R. Microbial biosurfactants production, applications and future potential // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2010. – **87**, N 2. – P. 427–444.
7. Costa S.G.V., Nitschke M., Lépinec F., Déziel E. Structure, properties and applications of rhamnolipids produced by *Pseudomonas aeruginosa* L2-1 from cassava wastewater // Process Biochem. – 2010. – **45**, N 9 – P. 1511–1516.
8. Daverey A., Pakshirajan K. Kinetics of growth and enhanced sophorolipids production by *Candida bombicola* using a low-cost fermentative medium // Appl. Biochem. Biotechnol. – 2010. – **160**, N 7. – P. 2090–2101.
9. Henkel M., Müller M.M., Kügler J.H., Lovaglio R. B., Contiero J., Syltatk C., Hausmann R. Rhamnolipids as biosurfactants from renewable resources: concepts for next-generation rhamnolipid production // Process Biochem. – 2012. – **47**, N 8. – P. 1207–1219.
10. Kalyani R., Bishwambhar M., Suneetha V. Recent potential usage of surfactant from microbial origin in pharmaceutical and biomedical arena: a perspective // Int. Res. J. Pharm. – 2011. – **2**, N 8. – P. 11–15.
11. Makkar R.S., Cameotra S.S., Banat I.M. Advances in utilization of renewable substrates for biosurfactant production // AMB Express. – 2011. – **1**:5. doi: 10.1186/2191-0855-1-5.
12. Rivaldi J.D., Sarrouh B.F., Branco R.de F., de Mancilha I.M., da Silva S.S. Biotechnological utilization of biodiesel-derived glycerol for the production of ribonucleotides and microbial biomass // Appl. Biochem. Biotechnol. – 2012. – **167**, N 7. – P. 2054–2067.
13. Ruggeri C., Franzetti A., Bestetti G., Caredda P., La Colla P., Pintus M., Sergi S., Tamburini E. Isolation and characterization of surface active compound-producing bacteria from hydrocarbon-contaminated environments // Int. Biodeterior. Biodegrad. – 2009. – **63**, N 7. – P. 936–942.
14. Sadouk Z., Hacene H., Tazerouti A. Biosurfactants production from low cost substrate and degradation of diesel oil by a *Rhodococcus* strain // Oil & Gas Sci. Technol. – 2008. – **63**, N 6. – P. 747–753.
15. Sriram M.I., Kalishwaralal K., Deepak V., Gracerosept R., Srisakthi K., Gurunathan S. Biofilm inhibition and antimicrobial action of lipopeptide biosurfactant produced by heavy metal tolerant strain *Bacillus cereus* NK1 // Colloids Surf. B: Biointerfaces. – 2011. – **85**, N 2. – P. 174–181.
16. Thavasi R., Jayalakshmi S., Banat I.M. Application of biosurfactant produced from peanut oil cake by *Lactobacillus delbrueckii* in biodegradation of crude oil // Bioresour. Technol. – 2011. – **102**, N 3. – P. 3366–3372.
17. Wadekar S.D., Kale S.B., Lali A.M., Bhowmick D.N., Pratap A.P. Microbial synthesis of rhamnolipids by *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 10145) on waste frying oil as low cost carbon // Prep. Biochem. Biotechnol. – 2012. – **42**, N 3. – P. 249–266.

Отримано 10.02.2013