

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ РОСЛИННИХ КЛІТИН В УКРАЇНІ

Ю. І. Сидоров
В. В. Козик

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

E-mail: sydorowy@rambler.ru

Проведено проектне дослідження технологій, яке полягає в побудові промислових моделей біотехнологічного виробництва суспензійних культур вищих рослин і одержання з них лікарських форм, визначення основних техніко-економічних показників майбутніх виробництв, передусім відпускну ціни, порівняння її з цінами аналогів, що є в продажу, і загальна оцінка перспективності цієї технології для промислового впровадження в умовах України.

Подано економічну оцінку перспективності промислового впровадження біотехнології вищих рослин в Україні — кореня родіоли рожевої, серпухи вінценосної та гідрастису канадського. Встановлено, що ціна на лікарські препарати на основі штучних біомас (екстракти і таблетки) не перевищуватиме ціну на препарати на основі натуральної сировини, а отже, зазначені технології матимуть комерційні переваги.

Ключові слова: біотехнологія вищих рослин, економічна ефективність.

Екстрагування й очищення субстанцій з природних рослин, які містять біологічно активні речовини у значній концентрації, є найпростішим способом одержання лікарських субстанцій. Однак існують рідкісні рослини, екстракти яких мають високий споживчий попит. Ідея створення штучних плантацій з метою охорони природного генофонду зазначених рослин з подальшою реінтродукцією виду в природу, щоб кардинально вирішити проблему збільшення масштабів виробництва, не є реальною, оскільки як у природі, так і в культурі рослини зростають повільно, вирощування залежить від погодних умов, плантації відновлюються десятками років.

Дійсною альтернативою масовому «викошуванню» є біотехнологія рослинних клітин, яка полягає у вирощуванні окремих клітин в біореакторах. Ця технологія має низку переваг, до яких передусім належать висока швидкість росту (за місяць-два масу клітин можна збільшити в 60–100, за рік — у мільйон разів) і незалежність виробництва від погодних умов. Штучно одержану відфільтровану біомасу в подальшому обробляють так само, як натуральну, тобто сушать, екстрагують, очищують, розливають тощо. На початку 60-х рр. цей напрям біотехнології почали освоювати у промислових масштабах [1–3].

В Україні, як і в усьому світі, ведуться дослідницькі роботи в галузі біотехнології

клітин вищих рослин. Так, у відділі генетики клітинних популяцій Інституту молекулярної біології і генетики НАН України за новим методом вже створено лабораторні технології одержання унікальних високопродуктивних клітинних штамів найрідкісніших лікарських рослин — женьшеню, родіоли рожевої (золотого кореня), раувольфії зміїної, арнебії барвної тощо, які продукують натуральні барвники, харчові консерванти та інші цінні сполуки [4]. Схожі роботи проводять і в Інституті клітинної біології та генетичної інженерії НАН України [5]. Проте поки що жодна розробка не набула промислового втілення. Причини цього такі.

По-перше, швидкий ріст біомаси зумовлює ріст самих клітин, їхніх кістяків, однак вміст біологічно активних речовин, як правило, менший, ніж у натуральній сировині. Як висловлюються біотехнологи, «врожай пішов у бадилля».

По-друге, викликає сумнів економічна доцільність промислової реалізації вирощування суспензійних культур ізольованих клітин вищих рослин. Відомо, наприклад, що в Німеччині розробники зазначеної технології зіткнулися з проблемою її рентабельності [6]. Причина є простою: для одержання екстрактів з натуральної сировини потрібні екстрактор і лінія розливу, а для вирощування суспензійних культур потрібна дорога апаратура для проведення ферментації кла-

су «hight-tech». Окрім того, процеси культивування відбуваються в стерильних середовищах відповідно до вимог правил Good Manufacturing Practice (GMP), а тому необхідна спеціальна інфраструктура для одержання стерильних повітря, води і пари.

Отже, перед масштабним промисловим впровадженням в Україні біотехнології рослинних клітин потрібно провести принаймні мінімальну економічну оцінку її перспективності.

Метою роботи є проектне дослідження технологій, яке полягає в побудові промислових моделей біотехнологічного виробництва суспензійних культур вищих рослин і одержанні з них лікарських форм, визначенні основних техніко-економічних показників майбутніх виробництв, передусім відпускної ціни, порівнянні її з цінами аналогів, що є в продажу, і загальній оцінці перспективності цієї технології для промислового впровадження в умовах України.

Матеріали і методи

Суть методики дослідження викладено в [7]. Вона зводиться до розроблення виробничого проекту з технологічним розрахунком обладнання та його вибором і визначення основних технічних показників: вартості сировини, енергетичних ресурсів на виробництво одиниці продукту, основного обладнання, будівель, засобів автоматизації, тобто капітальних вкладень, амортизаційних відрахувань з подальшим визначенням відпускних і роздрібних цін на продукцію та оцінюванням прибутковості майбутнього виробництва. Детальні методики розроблення робочих проектів і зазначених показників наведено у [8]. Розрахунки для статті проводили за формулами, виведеними на основі цих методик.

На підставі одержаних результатів визначали річну повну собівартість продукції (ПСП, тис. грн.). За різних значень індексу прибутковості (IP) і ставки дисконту (Д) розраховували відпускну ціну і термін окупності капітальних вкладень. Після цього роздрібну ціну продукту порівнювали з ціною аналога і формулювали висновки.

Результати та обговорення

Для досліджень обрано три біотехнології вирощування суспензійних культур і одержання з них лікарських форм, які відрізняються не тільки біологічною природою, але й швидкістю росту, складом живильного середовища та масштабом.

1. Коріння родіоли рожевої тибетської (*Rhodiola rosea* L.), яке за фармацевтичною дією перевершує корінь женьшеню. Основною діючою речовиною є салідрозид — фенольна сполука, за допомогою якої всі клітини організму насичуються киснем і за короткий час зникають симптоми втоми від фізичної або розумової праці [9]. Лікарська форма — водно-спиртова настоянка. Проектна потужність — 100 м³/рік. Умовна назва — «Екстракт родіоли».

2. Суспензія інтактних клітин серпухи вінченосної (*Serratula coronata* L.). Діючі речовини — екдистероїди типу 20-гідрооксiekдизону (20E), які мають адаптогенний ефект і використовуються, зокрема, у спортивно харчуванні [10]. Лікарська форма — таблетки, розфасовані у блістери по 10 штук. Проектна потужність 1 000 000 блістерів/рік, що містять 100 кг екдизону 20E. Умовна назва — «Таблетки екдистероїдів».

3. Суспензійна культура кореню гідрастису канадського (*Hydrastis canadensis* L.; золота печатка). Діючі речовини — алкалоїди гідрастин, берберин, канадин та інші мінорні алкалоїди. Лабораторну методику одержання суспензійної культури опубліковано в [11]. Лікарська форма — спиртова настоянка зі вмістом гідрастису 2%. Проектна потужність за культуральною рідиною 600 м³ (5307 кг або 6804 л спиртової настоянки)/рік. Умовна назва — «Екстракт гідрастису».

На рис. 1 показано абрисы комплексів основних і допоміжних будівель спроектованих виробництв.

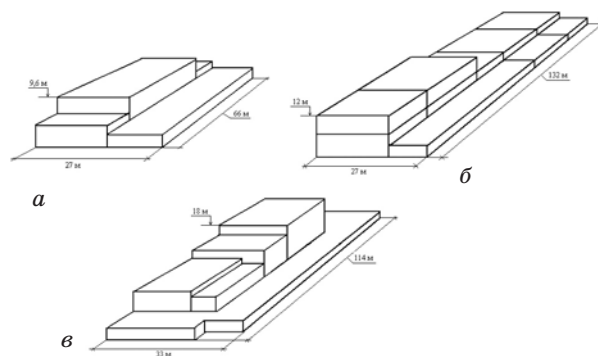


Рис. 1. Абриси спроектованих виробництв «Екстракту родіоли» (а), «Таблеток екдистероїдів» (б), «Екстракту гідрастису» (в)

Передумови економічних розрахунків

1. Вартість основного обладнання визначали за цінами 2009 року (дані Інтернету) з урахуванням транспортних витрат (7%), улаштування фундаментів для обладнання (9%), трубопроводів (16%), виконання

монтажних робіт (18%), допоміжного обладнання для одержання чистого повітря, води і пари (25%).

2. Вартість контрольно-виміральної апаратури (КВА) становить 15% від вартості основного обладнання.

3. Вартість промислових будівель каркасного типу розраховували залежно від типу будівлі за такими нормами: одноповерхова — 179 грн/м³, багатоповерхова — 307 грн/м³, побутово-адміністративні приміщення — 359 грн/м³. Одержані результати множили на коефіцієнт 1,3, який враховує вартість санітарно-технічних робіт (улаштування опалення, водопровідної системи, санвузлів, освітлення, протипожежних пристроїв тощо).

4. Норми амортизації: будівлі — 5%, засоби контролю та автоматизації — 25%, машини та обладнання — 12,6%.

Результати розрахунків наведено в табл. 1.

Повну картину поточних витрат подано у зведеній калькуляційній таблиці (табл. 2).

Розрахунок роздрібних цін

Роздрібні аптечні ціни АЦ (грн/одинаця продукції) розраховували за формулою:

$$\ddot{A} \ddot{O} = k \frac{10^7 [IP * \hat{E} (1 + \hat{A})^{1/\hat{A}} \hat{A} - \hat{A}] + 10^5 \hat{I} \hat{N} \hat{I} (100 - \hat{I} \hat{I})}{\hat{I} \hat{A} (100 - \hat{I} \hat{I}) (100 - \hat{I} \hat{A} \hat{A})}, \quad (1)$$

де k — коефіцієнт збільшення відпускної (заводської) ціни у торговельній мережі; K — капітальні вкладення, тис. грн; A — амортизаційні відрахування, тис. грн; IP — індекс прибутковості; ПП — податок на прибуток, %; ПДВ — податок на додану вартість, %; ОВ — обсяг виробництва одиниці продукції.

За умови помірного значення індексу IP = 1,1, k = 1,2, фіксованих ПП і ПДВ (відповідно 30 і 20%) роздрібні ціни залежатимуть тільки від ставки дисконту D, тобто від бажання інвестора повернути гроші швидко або з прийнятною затримкою. На рис. 2 показано залежність АЦ від ставки дисконту D.

Сучасний етап розвитку економіки характеризується тим, що інвестор або інвестиційні банки надають лише короткострокові кредити, як правило, для торговельних операцій, тому ставку дисконту 0,2 (терміном на 5 років) можна вважати компромісною. З іншого боку, підприємства намагаються одержати якомога більший прибуток. «Апетити» може обмежити тільки ринкова ціна.

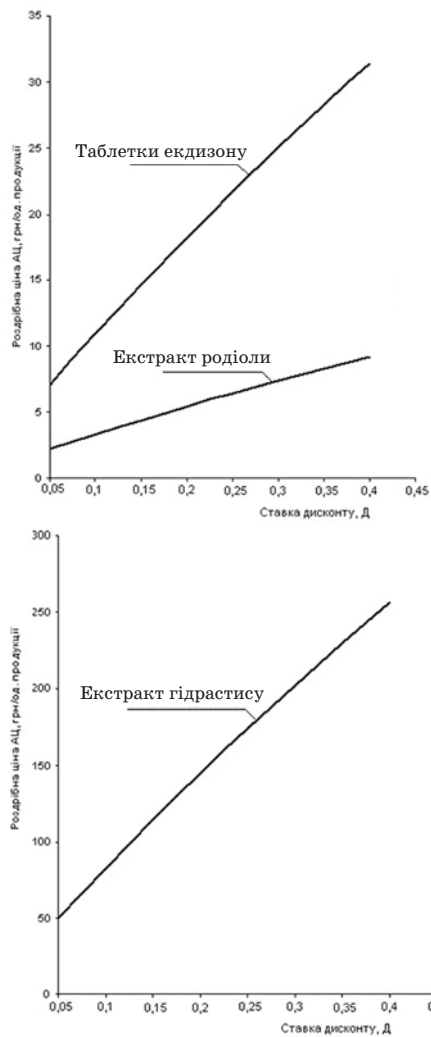


Рис. 2. Залежність роздрібних цін АЦ від ставки дисконту D

Таблиця 1. Вартість основних фондів (В) та амортизації (А), тис. грн

Група основних фондів	Екстракт родіоли		Таблетки екдистероїдів		Екстракт гідрастису	
	В	А	В	А	В	А
Будівлі	1690	84,5	5430	271,5	8180	409
Засоби контролю та автоматизації	7431	85,8	993	248,3	890	222,5
Машини та обладнання	4952	633,9	6618	847,1	5936	759,8
Разом	7385	904,2	13041	1366,9	15006	1391,3

Чисельність працюючих: «Екстракт родіоли» — 60, у тому числі 46 основних робітників; «Таблетки екдизону» — 48, у тому числі 35 основних робітників; «Екстракт гідрастису» — 45, у тому числі 32 основних робітники.

Таблиця 2. Проектні калькуляції собівартості на річний випуск, тис. грн.

Статті витрат	Екстракт родіоли	Таблетки екдизону	Екстракт гідрастису
Річний випуск	100 000 л настоянки, розфасованої у флакони по 50 мл (2 000 000 флаконів)	1 000 000 блістерів по 10 таблеток у кожному	6 804 л настоянки, розфасованої у флакони по 50 мл (136 080 флаконів)
Сировина (сахароза, солі, вітаміни, гормони росту, вода)	225,1	486,4	269,6
Допоміжні матеріали (флакони, коробки, фольга, поліамідна плівка, етикетки тощо)	75,0	167,5	34,0
Транспортно-заготівельні витрати (3% від вартості сировини і допоміжних матеріалів)	12,0	19,6	9,1
Енергетичні витрати (електроенергія, у тому числі на освітлення; пара, у тому числі на опалення і стерилізацію апаратури; охолоджувальна вода, стиснене повітря)	619,1	626,3	543,6
Зарплата основних робітників	229,3	281,8	263,0
Внески до соціальних фондів	85,3	105,7	98,6
Прямі витрати	1245,8	1687,3	1217,9
Загальновиробничі витрати (зарплата цеховому персоналу,	142,6	196,0	196,0
Амортизаційні відрахування	904,2	1366,9	1391,3
Виробнича собівартість	2292,6	3250,2	2805,2
Адміністративні витрати (18% від виробничої собівартості)	412,7	585,0	504,9
Витрати на збут (3% від виробничої собівартості)	68,7	97,5	84,2
Повна собівартість річного випуску	2774,0	3932,7	3394,3
Повна собівартість одиниці продукції	1,39 грн/флакон	3,93грн/блістер	24,94 грн/флакон

На рис. 3 показано залежність роздрібних цін від індексу прибутковості ІР за умови, що $k = 1,2$, фіксованих ПП і ПДВ, $D = 0,2$.

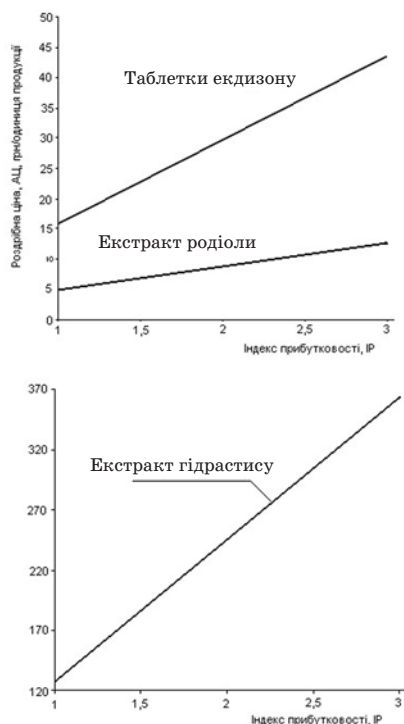


Рис. 3. Залежність роздрібних цін АЦ від індексу прибутковості ІР

Для досягнення рентабельного виробництва відпускні ціни у будь-якому разі мають багаторазово перевищувати ціни за собівартістю. Це пов'язано з високою вартістю капіталовкладень у високотехнологічні виробництва і відносно низькими витратами на сировину (передусім цукор).

Порівняння продукції з аналогами

Екстракт родіоли рожевої. Настоянку натурального кореню родіоли рожевої випускають АТ НВО «Зерде» (Росія), фірма «Аліяр» (Казахстан), ЗАТ «Время» (Казахстан). За даними на 19.04.04, вартість флакона настоянки ємністю 50 мл становила від 5,18 до 6,16 грн/флакон.

За умови помірного індексу прибутковості (1,1) можна прийняти умови інвестора про повернення інвестиційних коштів протягом 4–5 років ($D = 0,2-0,25$). У такому разі роздрібну ціну українського екстракту можна зіставити з цінами аналогів і за цим показником його можна вважати конкурентоспроможним.

Термін окупності капітальних вкладень T , який дорівнює відношенню капітальних вкладень до чистого прибутку, розраховували за формулою:

$$T = \frac{\dot{E}}{2D \cdot \hat{E} (1 + \ddot{A})^{1/\ddot{A}} \ddot{A} - \dot{A}} \quad (2)$$

За умови, що $IP = 1,1$, $D = 0,2$, T становитиме 2,35 року.

Перепоною на шляху просування екстракту є суто психологічні причини: споживач буде завжди надавати перевагу продукції з натуральної сировини, навіть якщо ціна її перевищуватиме штучний аналог у два-три рази.

Таблетки екдистероїдів, одержані на основі штучно вирощеної біомаси *Serratula coronata* L. Подібну продукцію на основі просто висушеної і подрібненої левзеї сафроловидної, яка також містить екдизон 20E (препарат «Левзея»), або серпухи вінценосної (препарат «Леветон») випускає фірма «Біокор» (Росія). Ціна блістера із зазначеними таблетками коштує близько 10 грн/блістер. З іншого боку, препарат «Екдистен», який містить екдизон в очищеному вигляді, вже коштує 900 рос. рублів за 100 таблеток (24,3 грн/10 таблеток).

Якщо $IP = 1,1$, то D може досягати 0,3, тобто можна говорити про повернення інвестиційних коштів протягом 3,5 року. Якщо ж $D = 0,2$, то індекс прибутковості може досягати 1,6. За цих умов $T = 1,44$ року. Будівництво підприємства з випуску адаптогенних табеток на основі штучної біомаси серпухи вінценосної є безумовно вигідним.

У табл. 3 наведено назви і ціни найсучасніших адаптогенів для спортивного харчування, що їх пропонують західні фірми.

Таблиця 3. Адаптогени для спортивного харчування

Назва	Відпускна форма	Ціна, у.о. (курс 1 у.о. = 8 грн.)	Ціна блістера в перерахунку на 10 капсул (таблеток), грн.
Syntrax	90 капсул	72,92	64,82
Dymatize Nutrition	90 капсул	32,7	29,07
Cytodyne Technologies	120 капсул	43,13	28,75
Universal Nutrition	180 таблеток	30,52	13,56
Twinlab	100 капсул	18,51	14,81
Ironman	42 капсули	8,47	16,13

З наведених даних випливає, що вітчизняні таблетки екдизону не будуть найдешевшими порівняно із зарубіжними, однак вміст субстанції в імпортованих адаптогенах невідомий, їхня діюча сила також невідома. Отже, можна сподіватися, що вітчизняний адаптоген буде достатньо конкурентоспроможним як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.

Екстракт гідрастису канадського. Відомості про продаж препарату в рідкій формі відсутні. Випускається косметична мазь «Гідрастис», що містить алкалоїди цієї рослини, для загоювання ран на шкірі (фірма San Spirit, Австралія, ціна 18 дол. США за упаковку, маса упаковки і вміст алкалоїдів невідомий). Препарати на основі натурального продукту випускає також фірма Guangxi Napo Chengliu Bio Helth products Co. Ltd (Китай). У продажу є й гомеопатичні гранули (упаковки по 10 і 20 г), що містять алкалоїди гідрастис, берберин, канадин. Перед уживанням гранули розводять водою. Вміст алкалоїдів невідомий. Отже, для вирішення питання про доцільність організації випуску вітчизняного екстракту на основі штучної біомаси гідрастису канадського потрібні додаткові маркетингові дослідження. У будь-якому разі роздрібна ціна флакона з 2%-м спиртовим екстрактом ємністю 50 мл буде в межах 120–150 грн/флакон.

Зменшення цін можна досягти різними шляхами: технологічними (пошук умов пришвидшення росту біомаси без втрати якості; повна заміна дорогих ферментерів з електроперемішувальними пристроями на ерліфтні; використання сучасного освітлювального обладнання) та економічними (зменшенням амортизаційних норм на машини й обладнання, які, як правило, можуть працювати без заміни 10–20 років; будівництвом цехів на великих підприємствах, які мають добре розвинену інфраструктуру, що дозволить зменшити адміністративні витрати; збільшенням масштабів виробництва тощо).

Таким чином, здійснено економічну оцінку перспективності промислового впровадження біотехнології вищих рослин в Україні — кореня родіоли рожевої, серпухи вінценосної і кореня гідрастису канадського. Встановлено, що ціна лікарських препаратів на основі штучних біомас (екстракти і таблетки) не перевищуватиме ціну імпортованих препаратів на основі натуральної сировини, а отже, зазначені технології мають комерційну перспективу.

Для зниження ціни на продукти і зростання попиту на них потрібен більш детальний аналіз проектних моделей з урахуванням інноваційних технологічних і економічних факторів.

Враховуючи велику капіталоємність підприємств з біотехнологічного виробництва штучних біомас вищих рослин, промислове впровадження технологій є доцільним тільки для дійсно рідкісних рослин з одержанням продуктів, які мають реальний попит на ринку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бутенко Р. Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе: Учеб. пособие. — М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. — 160 с.
2. Лутова Л. А. Биотехнология высших растений. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. — 227 с.
3. Сидоров В. А. Биотехнология растений: клеточная селекция. — К.: Наук. думка, 1990. — 280 с.
4. Рожан А. Украинская биотехнология: вершина айсберга. Зеркало недели On The WEB 5.05.04. — <http://www.zerkalonedeli.com/nn/show/359/32117/>
5. Белокурова В. Б., Листван Е. В., Майстров П. Д. и др. Использование методов биотехнологии растений для сохранения и изучения биоразнообразия мировой флоры // Цитология и генетика. — 2005. — Т. 39, № 1. — С. 41–51.
6. Чуб В. В. Рост и развитие растений. — russian/departments/physiology/spezkursi/chub/index_7.html
7. Сидоров Ю. И., Влязло Р. Й. Метод проектного дослідження як інструмент оцінки ефективності технологій. Зб. тез II Всеукр. наук.-практ. конф. «Біотехнологія. Освіта. Наука», Львів, 6–8 жовтня, 2004. — Львів: Вид-во НУ «Львів. політехніка», 2004. — С. 65–66.
8. Сидоров Ю. И., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. — Львів: Інтелект-Захід, 2008. — 736 с.
9. Саратиков А. С., Краснов Е. А. Родиола розовая — ценное лекарственное растение: Золотой корень. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 1987. — 254 с.
10. Ануфриева Э. Н., Володин В. В., Носов А. М. и др. Состав и содержание экдистероидов в растениях и культуре ткани *Serratula coronata* // Физиол. раст. — 1998. — Т. 45, № 3. — С. 382–389.
11. Александрова И. В., Аверьянова В. А., Чернышев Р. В. и др. Каллусная ткань и суспензионная культура *Hydrastis canadensis* L.: ростовые цитогенетические особенности и первичная оценка биосинтетического потенциала // Биотехнология. — 2004. — № 1. — С. 39–46.

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ
БИОТЕХНОЛОГИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ
КЛЕТОК В УКРАИНЕ**

Ю. И. Сидоров, В. В. Козик

Национальный университет
«Львовская политехника», Львов

E-mail: sydorowy@rambler.ru

Проведено проектное исследование технологий, которое заключается в построении промышленных моделей биотехнологического производства суспензионных культур высших растений и получения из них лекарственных форм, определение основных технико-экономических показателей будущих производств, прежде всего отпускной цены, сравнение ее с ценами аналогов, которые есть в продаже, и общая оценка перспективности этой технологии для промышленного внедрения в условиях Украины.

Дана экономическая оценка перспективности промышленного внедрения биотехнологии высших растений в Украине — корня родиолы розовой, серпухи венценосной и гидрастиса канадского. Установлено, что цена на лекарственные препараты на основе искусственной биомассы (экстракты и таблетки) не будет превышать цену на препараты на основе натурального сырья, следовательно, указанные технологии имеют коммерческие преимущества.

Ключевые слова: биотехнология высших растений, экономическая эффективность.

**ECONOMIC EVALUATION
OF IMPLEMENTATION PERSPECTIVENESS
OF BIOTECHNOLOGY OF PLANT CELLS
IN UKRAINE**

Yu. I. Sidoroff, V. V. Kozik

«Lviv's Politechnika» National University,
Lviv

E-mail: sydorowy@rambler.ru

The economic evaluation of use perspective-ness of industrial implementation of higher plants biotechnologies in Ukraine, namely root of *Rhodiola rosea* L., *Serratula coronata* L. and root of *Hydrastis canadensis* L. is given. It is found that medicinal preparations based on artificial biomass (extracts and pills) are holding out at the price not higher of price of the preparations based on natural raw material, consequently, the said technologies have the commercial advantages.

Key words: higher plants biotechnology, economic efficiency.