



УКРАЇНА

(19) UA (11) 94978 (13) C2
(51) МПК
C02F 3/32 (2006.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ БІОЛОГІЧНОЇ ДООЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД

1

2

(21) а200906723

(22) 26.06.2009

(24) 25.06.2011

(46) 25.06.2011, Бюл.№ 12, 2011 р.

(72) ГОРБУНОВА СВІТЛАНА ЮРІЇВНА, БОРОВ-
КОВ АНДРІЙ БОРИСОВИЧ, ТРЕНКЕНШУ РУ-
ДОЛЬФ ПАВЛОВИЧ(73) ІНСТИТУТ БІОЛОГІЇ ПІВДЕННИХ МОРИВ ІМ.
О.О. КОВАЛЕВСЬКОГО НАН УКРАЇНИ

(56) UA 17757 A 31.10.1997

RU 2288894 C1 10.12.2006

US 54776787 A 19.12.1995

US 6416993 B1 09.07.2002

R. Kaushik, R. Prasanna, H.C. Joshi. Utilization of
anaerobically digested distillery effluent for the
production of *Spirulina platensis* (ARM 730). Journal
of Scientific & Industrial Research. Vol. 65. 2006, p.
521-525Джаянт Док, Кальян Раман В., Голе В.С. Исполъ-
зование *Spirulina Sp.* для очистки анаэробно
сброженных сточных вод. Альгология №2, 2005,
реферат

RU 2005789 C1 15.01.1994

P.N. Saxena, M.R. Ahmad, R. Shyam, D.V. Amla.
Cultivation of *Spirulina* in sewage for poultry
feed. Cellular and molecular life sciences № 10, vol.
39, 1983, реферат

KR 20020057466 A 11.07.2002

EP 0523883 A1 20.01.1993

SU 1638124 A1 30.03.1991

SU 1214610 A 28.02.1986

Тренкеншу Р. П., Лелеков А. С. Простейшие моде-
ли роста микроводорослей. 3. Постребность мик-
роводорослей в элементах минерального питания.
// Экология моря. 2006. - Вып. 70. - С. 52-61Горбунова С.Ю., Боровков А.Б., Тренкеншу Р.П.
Математическая модель биологической системы
по очистке сточных вод. Экология моря. - 2008. -
Вып. 76. - С. 81-85(57) Спосіб біологічної доочистки стічних вод, що
включає біологічне очищення шляхом використан-
ня водоростей, який відрізняється тим, що очи-
щені стічні води направляють в систему доочистки
стічних вод, де передбачено культивування водо-
рості *Spirulina platensis* в басейнах, а при організа-
ції системи доочистки розраховують кількість біо-
маси, яку можна отримати з літра стоків для зни-
ження рівня нітратів до гранично допустимих кон-
центрацій (ГДК), за формулою:

$$b'_N = \frac{C_N - C_{ГДК}}{Y_N}, \text{ де}$$

 C_N - кількість нітратного азоту в стоках після біо-
логічного очищення (за рік), т/рік; $C_{ГДК}$ - допустима кількість азоту, що скидається
за рік у водоймища; Y_N - дійсна потреба спіруліни в нітратному азоті,
мг N/г АСР,потім розраховують площу дзеркала культиватора
для отримання заданої кількості біомаси водорос-
тей при цілорічному культивуванні, за формулою:

$$S = \frac{B'_N \cdot k}{P_{cp}}, \text{ де}$$

 k - коефіцієнт перерахунку одиниць виміру; B_N - кількість біомаси, яку можна отримати за рік
при зменшенні концентрації азоту C_N до ГДК; P_{cp} - продуктивність спіруліни за добу, г
АСР/л·добу.

Винахід належить до області охорони довкілля, призначений для очищення міських стічних вод від солей азоту і фосфору та може бути використаний на станціях по очищенню господарчо-побутових стоків, а також на станціях по підготовці води для технологічних і господарчо-побутових потреб.

У останні десятиліття наголошується тенден-

ція зміни якісного складу міських стічних вод за рахунок збільшення частки азот- і фосфоровмісних органічних речовин. Велика кількість нітратів може надходити у водойми з промисловими і побутовими стічними водами, особливо із стоками після біологічного очищення води, оскільки біологічне очищення полягає в переході органічних форм речовин в неорганічні за рахунок життєдія-

(13) C2
(11) 94978
(19) UA

льності різних мікроорганізмів. Багато біологічних очисних споруд, запроектованих 40-45 років тому і відповідних природоохоронним нормативам того часу, в даний час по технічних причинах не можуть забезпечити дотримання гранично допустимих скидань (ГДС) забруднюючих речовин, у тому числі біогенних елементів (солей азоту і фосфору), в природні водоймища. Фактична ефективність очищення міських стічних вод від біогенних елементів не перевищує 20-40 % по фосфатах (у перерахунку на фосфор) і 30-90 % по азоту амонійному. Надходження біогенних елементів у природну водойму в концентраціях, що перевищують гранично допустимі, приводить до евтрофікування водойм та загибелі водної флори і фауни. У зв'язку з цим актуальною стає розробка методів і технологій по зниженню вмісту біогенних елементів в процесі біологічного очищення міських стічних вод.

Відомий спосіб глибокого очищення стічних і поверхневих вод (Деклараційний патент № 17757, Україна, МПК C02f3/32, 11/00), в якому воду, що очищається, подають у фільтраційний басейн з вищими водними рослинами. Недоліком способу є низький ступінь очищення стічних вод.

Відомий спосіб гідробіотанічного очищення забруднених водних середовищ в кліматичних умовах водних широт (Пат. №2 288 894 С1, Російська Федерація, МПК C02f3/32). У способі біодеструкцію стічних вод здійснюють за допомогою водорості Ейхорнії, яку культивують в очисних ставках. Основним недоліком відомого способу є неефективне біологічне очищення стічних вод.

В основу винаходу Спосіб біологічної доочистки стічних вод поставлено задачу підвищення ефективності способу шляхом створення і підтримки оптимальних умов для зниження вмісту біогенних елементів в стічних водах.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі біологічної доочистки стічних вод очищені стічні води направляють в систему доочистки стічних вод, що передбачає культивування водорості *Spirulina platensis* в басейнах. При організації системи доочистки розраховують кількість біомаси, яку можна отримати з літра стоків для зниження рівня нітратів до гранично допустимих концентрацій (ГДК), по формулі:

$$b'_N = \frac{C_N - C_{ГДК}}{Y_N}, \text{ де}$$

C_N - кількість нітратного азоту в стоках після біологічного очищення (за рік), т/рік;

$C_{ГДК}$ - допустима кількість азоту, що скидається за рік у водойми, т/рік;

Y_N - дійсна потреба спіруліни в нітратному азоті, мг N/г АСР.

Враховуючи цю величину, розраховують площу дзеркала культиватора для здобуття заданої кількості біомаси водоростей за добу при цілорічному культивуванні по формулі:

$$S = \frac{B'_N \cdot k}{P_m}, \text{ де}$$

k - коефіцієнт перерахунку одиниць виміру;

B_N - кількість біомаси, яку можна отримати за рік при зменшенні концентрації азоту C_N до ГДК;

P_{CP} - продуктивність спіруліни за добу, г АСР/л·добу.

В даний час проектування систем очищення стічних вод ґрунтується на результатах великого вітчизняного і зарубіжного досвіду [Гордин И. В. Технологические системы водообработки. Динамическая оптимизация. - Л.: Химия, 1987. - 287 с]. Зокрема, широко обговорюється здатність водоростей знижувати рівень нітратного азоту до заданого рівня і можливість використовувати цю здатність для доочистки стічних вод від нітратів.

Розрахуємо кількість біомаси, яку можна виробити для доочистки стічних вод від біогенних елементів на прикладі нітратного азоту.

У наших розрахунках прийняті наступні умовні позначення:

C_N - концентрація нітратного азоту в стоках після біологічної очистки, мг/л;

C_P - концентрація фосфору в стоках після біологічного очищення, мг/л;

C_C - концентрація вуглецю в стоках після біологічного очищення, мг/л;

C_N - кількість нітратного азоту в стоках після біологічного очищення (за рік), т/рік;

C_P - кількість фосфору в стоках після біологічного очищення (за рік), т/рік;

C_C - кількість вуглецю в стоках після біологічного очищення (за рік), т/рік;

$C_N^{ГДК}$ - ГДК нітратного азоту, мг/л;

$C_P^{ГДК}$ - ГДК фосфору, мг/л;

Y_N - дійсна потреба спіруліни в нітратному азоті, мг N/г АСР;

Y_P - дійсна потреба спіруліни у фосфорі, мг N/г АСР;

Y_C - дійсна потреба спіруліни у вуглеці, мг N/г АСР;

P_{CP} - середня продуктивність спіруліни за добу, г АСР/л·добу;

B_N^m - кількість біомаси, яку можна отримати з літра стоків при початковій концентрації азоту C_N ;

B_N^m - кількість біомаси, яку можна отримати за рік при початковій концентрації азоту C_N ;

b'_N - кількість біомаси, яку можна отримати при зменшенні концентрації азоту C_N до ГДК;

B_N - кількість біомаси, яку можна отримати за рік при зменшенні концентрації азоту C_N до ГДК.

Використовуючи поняття дійсної потреби [Тренкенш Р. П., Лелеков А. С. Простейшие модели роста микроводорослей. 3. Потребность микроводорослей в элементах минерального питания. // Экология моря. 2006. - Вып. 70. - С. 52-60], розрахуємо кількість біомаси, яку можна отримати

з літра стічних вод:

$$b_N^m = \frac{C_N}{Y_N} \quad (1)$$

Аналогічно розраховуємо кількість біомаси, яку можна отримати за рік:

$$B_N^m = \frac{C_N}{Y_N} \quad (2)$$

Наведені вище рівняння дозволяють розрахувати кількість біомаси спіруліни при утилізації 100 % азоту, що міститься в стічних водах. При цьому концентрація на виході з системи доочистки знижується до нуля. Якщо ж необхідно понизити рівень біогену до гранично допустимих концентрацій (ГДК), то слід організувати такі умови, при яких з середовища виплутатиметься лише частина біогену.

Проведемо аналогічні розрахунки за умови, що рівень нітратного азоту має бути понижений до ГДК. Кількість біомаси, яку можна отримати з літра стоків, при зниженні рівня азоту до ГДК:

$$b_N' = \frac{C_N - C_{ГДК}}{Y_N} \quad (3)$$

Кількість біомаси, яку можна отримати за рік, при зниженні рівня нітратного азоту до ГДК:

$$B_N' = \frac{C_N - C_{ГДК}}{Y_N} \quad (4)$$

Кількість фосфору C_P , яка необхідна культурі *S. platensis* для доочистки стічних вод до $C_{ГДК}$:

$$C_P = B_N^m \cdot Y_P \quad (5)$$

Оскільки в стічних водах вже міститься деяка кількість неорганічного фосфору, то додатково

потрібно вносити:

$$C_P' = C_P - C_P^x \quad (6)$$

Кількість вуглецю C_C , яка необхідна культурі *S. platensis* для доочистки стічних вод до $C_{ГДК}$:

$$C_C = B_N^m \cdot Y_C \quad (7)$$

Вуглець складає 50 % від абсолютно сухої речовини (АСР) маси клітин, тому:

$$C_C = 500 \cdot B_N^m, \quad (8)$$

де 500 міліграм/г АСР - Y_C .

Кількість газоподібного CO_2 :

$$C_{CO_2} = \frac{C_C \cdot \mu_r(CO_2)}{\mu_r(C)} = \frac{44}{12} C_C = 3,67 C_C \quad (9)$$

При постачанні культури *S. platensis* газоподібним CO_2 , утилізованого клітками порядку 0,5 % від того, що подається при 3 % газоповітряній суміші, кількість CO_2 , що подається, буде:

$$C_{air} = \frac{C_{CO_2} \cdot 100}{0,5} = 200 \cdot C_C \quad (10)$$

При використанні $NaHCO_3$:

$$C_{NaHCO_3} = \frac{C_C \cdot \mu_r(NaHCO_3)}{\mu_r(C)} = \frac{84}{12} C_C = 7 C_C \quad (11)$$

Приклад.

Розглянемо використання пропонованого способу на прикладі доочистки від нітратного азоту стоків північних очисних споруд м. Севастополя, після стадії біологічного очищення, і проведемо розрахунок організації системи доочистки стічних вод.

Склад стічних вод Північних очисних споруд
м. Севастополя після біологічного очищення (середні дані за 2007 рік)

Таблиця 1

Найменування інгредієнта	Концентрація інгредієнта, мг/л	Кількість інгредієнта, що скидається, т/рік
БПК ₅ (біохімічна потреба в кисні за 5 діб)	10,53	50,7
Зважені речовини	14,35	69,0
СПАР (синтетичні поверхнево активні речовини)	0,1	493,8
Фосфати	7,16	34,5
Азот амонійний	0,92	4,4
Нафтопродукти	0,09	356,3
Цинк	0,0018	9,0
Залізо	0,43	2100,5
Нітрит	0,79	3,8
Нітрати	60,5	246,2
ХПК (хімічна потреба кисню)	28,4	136,7

ГДК нітратів у воді водоймищ і питній воді складає не більше 45 мг/л (або 10 мг/л по азоту). Вміст нітратів в стоках Північних очисних споруд м. Севастополя - 246,2 т/рік (при перерахунку на нітратний азот - 55,59 т/рік) або 60,5 мг/л (або 13,66 мг/л по азоту). Відомо, що дійсна потреба *S. platensis* по азоту Y_N складає 81,54 мг N/г АСР.

Розрахуємо кількість біомаси, яку можна

отримати з літра стоків, при зниженні рівня нітратів до ГДК. Підставимо у вираз (3) величину концентрації стоків, значення ГДК нітратного азоту і дійсну потребу *S. platensis* в азоті:

$$b_N' = \frac{13,66 - 10,16}{81,54} = 0,043 \quad (12)$$

Оскільки, вміст нітратів в стоках складає 246,2 т/рік, розрахуємо кількість літрів стоків за рік (n):

$$n = \frac{C_N}{60,5 \cdot 10^{-9}} = 4069421488 \text{ л} \cdot \quad (13)$$

Знаючи ГДК азоту в 1 літрі стічних вод і кількість літрів стоків за рік, визначимо величину допустимої кількості азоту, що скидається за рік у водоймища:

$$C_{ГДК} = 10,16 \cdot 4069421488 = 41,35 \text{ т} \cdot \quad (14)$$

Розрахуємо кількість біомаси *S. platensis*, яку можна отримати за рік при зниженні рівня нітратного азоту в стоках до ГДК. Для цього підставимо у вираз (4) значення концентрації нітратного азоту, що скидається, величину його ГДК за рік і значення дійсної потреби *S. platensis*, в азоті:

$$B'_N = \frac{55,59 - 41,35}{81,54/1000} = 174,6 \text{ т} \quad (15)$$

Визначимо продуктивність (B'_N) системи доочистки стічних вод при зниженні концентрації азоту до ГДК:

$$b'_N = \frac{174,6}{365} = 0,479 \text{ т / доб} \cdot \quad (16)$$

Позначивши продуктивність спіруліни на 1 м² за P_{cp} (г АСП / добу), яка складає 12,8 г/м² добу (а середня з врахуванням погодних умов - 10 г/м² добу), ми можемо знайти площу дзеркала культиватора для здобуття заданої кількості біомаси водоростей в добу при їх цілодобовому культивуванні:

$$S = \frac{B'_N \cdot k}{P_{cp}} = \frac{0,479 \cdot 1000000}{12,8} = 3,74 \text{ га} \cdot \quad (17)$$

де k - коефіцієнт перерахунку одиниць виміру.

Наведені розрахунки виконані нами для літніх погодних умов, тому для організації системи доочистки необхідне будівництво відстійників-накопичувачів для збору стоків в зимовий період.

Враховуючи, що час інтенсивного зростання водоростей складає 183 діб (1/2 роки), площу культиваторів необхідно збільшити в 2 рази:

$$S' = 3,74 \cdot 2 = 7,48 \text{ га} \cdot \quad (18)$$

Склад стічних вод Північних очисних споруд м. Севастополя до і після доочистки

Таблиця 2

Найменування інгредієнта	Концентрація інгредієнта до очистки, мг/л	Концентрація інгредієнта після доочистки, мг/л
БПК ₅ (біохімічна потреба в кисні за 5 діб)	10,53	3,9
Зважені речовини	14,35	1,44
СПАР (синтетичні поверхнево активні речовини)	0,1	0,08
Фосфати	7,16	2,57
Азот амонійний	0,92	0,02
Нафтопродукти	0,09	0,08
Цинк	0,0018	0,00
Залізо	0,43	0,19
Нітрит	0,79	0,79
Нітрати	60,5	40,5
ХПК (хімічна потреба кисню)	28,4	16

Біомасу спіруліни, отриману при доочистці стічних вод, можна використовувати різними способами. По-перше, біомаса може використовуватися як мінерально-вітамінна добавка в корм худобі, птиці і домашнім тваринам. По-друге, біомаса може використовуватися в рибному господарстві з тими ж цілями або в акваріумі для додання декоративним рибкам неповторного і яскравого забарвлення. По-третє, біомаса спіруліни є цінним добривом для сільськогосподарських культур рослин. Вона характеризується більш вираженим ефектом і більшою активністю в порівнянні з більшістю органічних добрив. По-четверте, біомаса може бути

сировиною для здобуття рентабельного біопалива. По-п'яте, біомаса може бути сировиною для здобуття деяких біологічно активних речовин в чистому вигляді.

Пропонований спосіб доочистки стічних вод, після стадії біологічного очищення, має ряд переваг:

- підвищується ефективність системи за рахунок видалення біогенних елементів;

- спосіб відповідає вимогам практичної значущості, простий, універсальний і може застосовуватися для різних систем, що використовують меліоративні властивості фототрофів.