

КУЛЬТИВУВАННЯ МІКРО- ВОДОРОСТЕЙ ЗА ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ

Н. Б. Голуб

Кандидат хімічних наук, доцент
Кафедра екобіотехнології та

біоенергетики

Національний технічний
університет України

«Київський політехнічний інститут»

пр. Перемоги, 37,

м. Київ, Україна, 03056

e-mail: golubnb@ukr.net

*Досліджено культивування мікроводоростей *Chlorella vulgaris* за використання екстрактів цукрового буряку та посліду свійських птахів як живильного середовища. Показано, що одночасне введення у живильне середовище органічних та мінеральних джерел карбону та нітрогену (амонійні, нітратні солі, сечовина) підвищує приріст біомаси, ліпідів. Показано, що оптимальна концентрація (моль/л) глюкози складає 0,01-0,05, загального нітрогену – до 0,035*

*Ключові слова: *Chlorella vulgaris*, послід, культивування, відходи, фотореактор, ліпіди, біомаса, мікроводорості*

*Исследовано культивирование микроводорослей *Chlorella vulgaris* при использовании экстрактов сахарной свеклы и помета домашних птиц в качестве питательной среды. Показано, что одновременное введение в среду культивирования органических и минеральных источников углерода и азота (аммонийные, нитратные соли, мочевины) повышает прирост биомассы и липидов. Показано, что оптимальная концентрация (моль/л) глюкозы – 0,01-0,05, общего азота – до 0,035*

*Ключевые слова: *Chlorella vulgaris*, помет, культивирование, отходы, фотореактор, липиды, биомасса, микроводоросли*

1. Вступ

Використання фотосинтетичного принципу трансформації сонячної енергії для створення сучасної альтернативної енергетики останніми роками викликає зацікавленість науковців. Водорості є ефективними перетворювачами сонячної енергії. Наприкінці минулого століття було розпочато широкомасштабні дослідження водоростей як сировини для одержання енергоносіїв [1 – 4]. Для вирощування мікроводоростей необхідно у культуральне середовище вводити живильні елементи, за використання яких відбувається їх ріст і розвиток. Залежність фотосинтезу від елементів мінерального живлення визначається їх необхідністю як для формування фотосинтетичного апарату, так і для його оновлення в процесі функціонування.

Живильним середовищем можуть виступати стічні води та екстракти з відходів різноманітного походження. Тому розробка технологій культивування мікроводоростей за використання відходів для одержання енергоносіїв є актуальною проблемою сьогодення.

2. Постановка проблеми

Використання відходів для вирощування мікроводоростей дозволяє вирішувати питання їх утилізації і зменшення антропогенного навантаження на довкілля. Вирощування мікроводоростей і одержання з них біодизельного або інших видів пального сприяє вирішенню проблем альтернативної енергетики з відновлювальною сировини. При цьому додатко-

во з мікроводоростей можна одержувати біологічно активні речовини.

3. Літературний огляд

У роботі [5] показано, що найвищі показники росту штаму *Chlorella vulgaris* UAM 101 були досягнуті при вирощуванні культури на світлі з додаванням CO₂ та глюкози. Показано, що наявність глюкози у культуральному середовищі знижує інтенсивність фотосинтезу на 12 – 26 % завдяки активізації процесів дихання. При цьому стверджується, що CO₂ є головним джерелом карбону для штаму *Chlorella vulgaris* UAM 101.

Для зниження вартості процесу культивування *Chlorella protothecoides* у роботі [6] як джерело органічного вуглецю було використано гідролізат кукурудзяного порошку (0,005 г α-амілази та 0,1 г глюкоамілази на 5 г порошку кукурудзи при 60°C, pH = 6,0, час подвоєння – 2 години). Кількість біомаси за 184 год. культивування досягла 15,5 г/л. Вміст ліпідів при цьому становив 55,2 %. У роботі [7] показано вплив концентрації глюкози на розвиток *Chlorella protothecoides* CS-41. Високий початковий вміст глюкози (100 г/л) уповільнює швидкість росту та розмноження і призводить до зростання лаг-фази, завдяки гальмуванню біосинтетичних процесів субстратом.

З метою максимального накопичення ліпідів для отримання біопалива культивування мікроводорості *Chlorella vulgaris* проводилось в автотрофних, фотогетеротрофних та міксотрофних умовах (4 г/л глюкози для міксотрофних та гетеротрофних умов, 0,5 г/л

екстракт дріжджів) [8]. Найкращі результати досягнуто за використання міксотрофних умов. При вирощуванні на ацетаті натрію як джерела карбону приріст біомаси зменшується, але значно збільшується частка ліпідів у порівнянні з умовами культивування на глюкозі як джерела карбону.

У роботі [9] показано використання промислових стічних вод виробництва етанолу та лимонної кислоти для культивування *Chlorella vulgaris*. За 4 доби культивування кількість клітин *C. vulgaris* зростає від $5 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^6$ кл./мл. За цей час відбулась адаптація клітин до стічної води як живильного середовища.

Авторами роботи [10] розглядається культивування *Chlorella rugenoidosa* за використання гідролізату рисової соломи з метою отримання біодизелю. Вміст цукрів у середовищі – 13,7 г/л. Максимальний приріст біомаси хлорели за 48 годин досягав 2,83 г/л. Концентрація ліпідів - 56,3 %.

У роботі [11] з'ясовано ідентичність механізмів транспорту цукрів та протонів усередину клітин мікрободоростей *Chlorella vulgaris*. На одну молекулу глюкози, що транспортується усередину клітини, одночасно транспортується один протон і витрачається одна молекула АТФ. На уніпорт глюкози витрачається 2,5 АТФ. За використання світла цукри стимулюють транспорт протонів всередину клітини в анаеробних умовах. В темряві, практично не відбувається транспорту до клітини як цукрів, так і протонів.

Більшість фотосинтетичних водоростей можуть рости, використовуючи іони нітрату або амонію. У деяких видів амонійний нітроген споживається першочергово, оскільки NH_4^+ є кінцевим продуктом відновлення нітрату, який є зворотним інгібітором і репресує його поглинання. Однак, багато видів водоростей чутливі до NH_4^+ і їх ріст уповільнюється за концентрації, що перевищує 1 ммоль/л. Недостача Нітрогену значно уповільнює ріст біомаси культури, водночас з цим спостерігається збільшення вмісту ліпідів і жирних кислот у біомасі водоростей [2, 12, 13].

Такі поживні елементи як Сульфур, Нітроген та Фосфор можна отримати за використання посліду свійських птахів, де концентрація елементів у курячому посліді складає 0,16; 1,6; 0,87 % відповідно [14]. Також послід містить усі необхідні для підтримання життєдіяльності та розвитку макро- та мікроелементи, до його складу входять вітаміни та коферменти. Нітроген, що міститься у пташиному посліді, знаходиться у виді органічних речовин, амонію та нітрат іонів.

У роботах [15, 16] досліджено вплив різних джерел нітрогену (нітрату амонію (NH_4NO_3), карбонату амонію (NH_4HCO_3), сечовини ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), а також відходів сільськогосподарського виробництва) на зростання мікрободоростей *Scenedesmus* sp. LX1 та *Chlorella vulgaris*. Показано, що споживання нітрогену у формі нітрату та урини позитивно впливає на приріст біомаси водоростей, в той час як іони амонію інгібують розвиток культури.

4. Культивування *Chlorella vulgaris* за використання відходів як поживних речовин

Метою роботи є визначення можливості використання відходів виробництва цукру та посліду свій-

ських птахів для культивування мікрободоростей *Chlorella vulgaris*. Завданнями роботи є: дослідження впливу концентрації органічних речовин з екстракту цукрового буряку на розмноження *Chlorella vulgaris*; визначення впливу різних форм нітрогену на приріст біомаси та ліпідів *Chlorella vulgaris*.

4. 1. Умови проведення експерименту (матеріали та методи)

Дослідження проводили за використання мікрободорості *Chlorella vulgaris* АСКУ 531-06, що одержане на з колекції Київського національного університету ім. Т. Г. Шевченка. Контрольним середовищем обрано середовище Громова №6 [17]. Фотореактор - об'єм 1 л, діаметр 0,06 м і висота 0,4 м.

Для забезпечення культури джерелом Карбону використовували CO_2 , який одержували в процесі спиртового бродіння. Барботування CO_2 проводили раз на добу до встановлення значення рН=6. Як модельний розчин стічних вод цукрового заводу брали екстракт з цукрового буряку, який готували наступним чином: 200 г буряку подрібнювали заливали 500 мл дистильованої води та кип'ятили протягом години, охолоджували та відфільтровували. Концентрацію глюкози в отриманому екстракті визначали за методикою зворотного титрування йодометричним методом [18].

Значення рН та концентрацію нітратів та амонію встановлювали за допомогою іонометра И-160 МИ (Росія).

Спостереження та контроль чистоти культури *Chlorella vulgaris* здійснювали методом світлової мікроскопії за допомогою мікроскопа Carl Zeiss Primo Star (Німеччина) (збільшення – 1000x для візуального спостереження).

Культивування мікрободоростей проводили в термостаті ILM Labor (Німеччина) за температури 30 ± 2 °C і періодичному освітленні (12 год. освітлення, 12 год. темрява) потужністю 8 Вт за допомогою трьох люмінесцентних ламп Sylvania Groux «Аква свет» (Росія).

Для покращення доступу живильних речовин до клітин мікрободоростей здійснювали перемішування шляхом барботування середовища повітрям за використання компресора Resun air-pump AC-9601 (Китай). Швидкість барботування – 0,005 м³/год.

Витяжку з курячого посліду готували наступним чином: наважку посліду настоювали 24 години в літрі води, розчин, що утворився, фільтрували та кип'ятили 60 хвилин. Аліквоту розчину вводили у фото реактор.

Кількість клітин в об'ємі підраховували за використання камери Горяєва за стандартною методикою [19].

Виділення клітин водоростей з культурального середовища проводили за використання центрифуги ЦЛК-1 (Росія) при 2500 об/хв. Осад у пробірці висушували до постійної маси пробірки у сушильній шафі ТС 80-М (Росія) за температури 120 °C. Концентрацію біомаси визначали за формулою

$$C_B = \frac{(m_k - m_n) \cdot 1000}{V}, \text{ г/л}, \quad (1)$$

де m_k – маса пробірки з біомасою після висушування; m_n – маса пусотої, сухої центрифужної пробірки; 1000 – перерахунок на об'єм 1 л при відбиранні аліквоти об'ємом V мл.

Виділення ліпідів проводили за методикою Блайта та Дайера [20]. До вологої пасти клітин масою 15-20 мг, отриманої шляхом центрифугування суспензії, додавали 2 мл суміші хлороформ : метанол (1:2), суміш струшували протягом 5 хв та відстоювали протягом 12 годин. Екстракт відфільтровували. Залишок клітинного матеріалу знову екстрагували 1 мл хлороформу відфільтровували і осад промивали 2,5 мл хлороформу. До фільтрату додавали воду для розділення фаз, нижню гідрофобну фазу переносили за допомогою шприца у попередньо зважений бюкс, випарювали досуха під струменем азоту у водяній бані при 35-40 °С.

Бюкс зважували і за формулою (1) визначали вміст ліпідів у об'ємі суспензії. Вміст ліпідів у біомасі у відсотках розраховували за формулою:

$$C = \frac{C_{л} \cdot 100}{C_{б}}, \% \quad (2)$$

Кількість біомаси та ліпідів визначали за допомогою аналітичних терезів Ohaus Scout-Pro SPU 123.

4. 2. Культивування *Chlorella vulgaris* на екстракті з цукрового буряку

Chlorella vulgaris є факультативним автотрофним мікроорганізмом і може використовувати різні типи живлення. Вона може зростати за умови освітлення, використовуючи вуглекислий газ, і в темряві за гетеротрофних умов. Хлорела здатна до міксотрофії, або змішаного типу живлення, тобто одночасного використання в процесах біосинтезу CO₂, яка асимілюється в процесі фотосинтезу, і органічних сполук, які надходять ззовні.

На рис. 1 наведено ріст біомаси за використання різних джерел карбону.

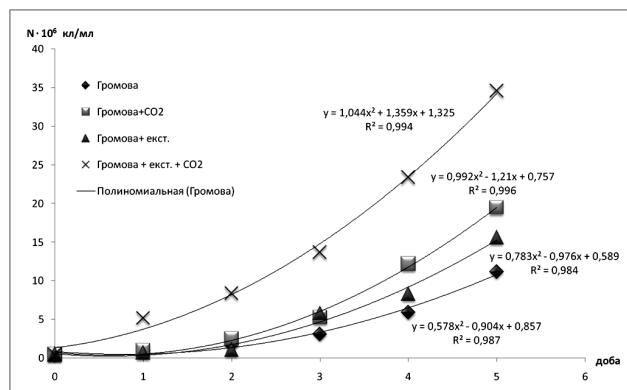


Рис. 1. Апроксимація росту біомаси за використання різних джерел карбону: ♦ — середовище Громова №6, ▲ - середовище Громова №6 з додаванням екстракту (2,0 г/л за глюкозою), ■ — середовище Громова №6 з додаванням CO₂ раз на добу до рН = 6, х — середовище Громова №6 з додаванням екстракту (2,0 г/л за глюкозою) та CO₂ раз на добу до рН = 6. Режим освітлення 12 год. світло, 12 год. темрява

Залежність зміни концентрації клітин (N) від часу культивування (доба) за використання різних джерел карбону у живильному середовищі

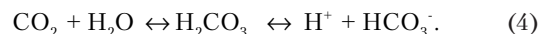
Як видно з рис. 1, найбільший приріст біомаси спостерігається у мікотрофних умовах за одночасного

використання як джерела живлення CO₂ та екстракту. Транспорт вуглеводів, як і CO₂, до клітин відбувається у світловій фазі культивування. Використання вуглеводів як джерела карбону більш характерно для темної фази, при цьому зменшуються енергетичні витрати клітини на біосинтез глюкози (18 молекул АТФ). У той же час перетворення однієї гексози до CO₂ забезпечує утворення 36 молекул АТФ.

Створення протонного градієнту назовні клітин мікроводоростей полегшує використання ними гексоз як джерела вуглецю і енергії [11]. Градієнт протонів у зовнішньому середовищі пропонується створити за використання екстракту посліду свійських птахів. Послід містить нітроген у виді іону амонію, використання якого знижує рН культурального середовища за реакцією:



У той же час концентрація протонів також збільшується внаслідок реакції:



Надмірне надходження CO₂ призводить до закиснення середовища і загибелі клітин.

На рис. 2. наведено приріст клітин *Chlorella vulgaris* в залежності від концентрації екстракту з цукрового буряку (за глюкозою). Виміри проводили після трьох діб культивування. Найбільший приріст спостерігається при концентраціях глюкози 0,01-0,05 мол/л. Як зменшення, так і збільшення концентрації екстракту призводить до уповільнення продукування біомаси. При збільшенні концентрації органічної речовини у середовищі культивування відбувається інгібування ферментів біосинтезу надлишком органічних речовин.

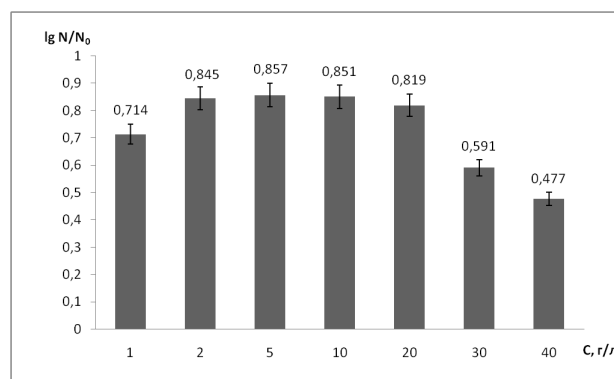


Рис. 2. Відносний приріст клітин *Chlorella vulgaris* (lg N/N₀) в залежності від концентрації екстракту з цукрового буряку (за глюкозою) (C, г/л). Залежність відносного приросту клітин *Chlorella vulgaris* (lg N/N₀) від концентрації екстракту з цукрового буряку (за глюкозою) (C, г/л)

Таким чином, введення додаткового джерела карбону у виді органічних речовин сприяє продукуванню біомаси та можливості чергування світлової та темної фаз культивування. Впровадження зміни світлового режиму при промисловому культивуванні буде сприяти зменшенню енерговитрат, і відповідно, здешевленню комерційного продукту.

4. 3. Вплив джерела нітрогену на приріст біомаси та ліпідів *Chlorella vulgaris*

На рис.3. наведено приріст біомаси водоростей за використання різних джерел нітрогену за однакової початкової кількості загального нітрогену у середовищі. Барботування CO₂ проводили двічі на добу до досягнення рН=5,8. У модифікованому середовищі Громова №6 нітрат калію був замінений на еквівалентну кількість за калієм та нітрогеном калій хлоридом та амоній хлоридом. Внаслідок заміни нітратного нітрогену на амонійний відбувається зниження значення рН середовища до 4,5, що призводить до загибелі клітин. Для запобігання цьому у середовище вводили необхідну кількість гідроксиду натрію. Як видно з рис. 3 максимальний приріст спостерігається на середовищі з екстрактом посліду. За таких умов нітроген надходить до клітини як у виді нітрату на етапі адаптації, так і переважно у виді іонів амонію та сечовини у фазі експоненційного росту культури. В екстракті посліду також містяться інші форми нітрогену (амінокислоти, аміни тощо), які також надходять до клітини, що зменшує її енергетичні витрати на їх біосинтез. Більший приріст біомаси за використання іонів амонію пояснюється тим, що клітині не потрібно витрачати енергію на перетворення нітрогену з нітрату в амонійний нітроген.

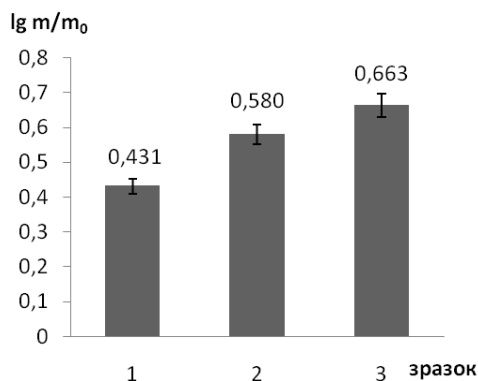


Рис. 3. Приріст біомаси водоростей (lg m/m₀) за використання різних джерел нітрогену (зразок): 1 – середовище Громова № 6, 2 – модифіковане середовище Громова № 6, 3 – екстракт посліду свійських птахів. Залежність приросту біомаси водоростей (lg m/m₀) від живильного середовища, які містять різні джерела нітрогену (зразок): 1 – середовище Громова № 6, 2 – модифіковане середовище Громова №6, 3 – екстракт посліду свійських птахів

За використання екстракту, у якому концентрація загального нітрогену перевищує 0,035 моль/л (0,5 г/л), відбувається зменшення швидкості приросту біомаси за початкового її вмісту 0,05 г/л. У даному випадку можливо відбувається інгібування процесів надходження до клітин живильних речовин за рахунок зміни поверхневого заряду клітин та градієнта концентрацій речовин у культуральному середовищі.

Процеси біосинтезу у *Chlorella vulgaris* визначає забезпеченість клітин нітрогеном. При недостатньому надходженні до культурального середовища нітрогену відбувається зниження темпів росту, переорієнтація метаболізму клітини у бік біосинтезу сполук, що не містять нітроген (вуглеводи та ліпіди), і після вико-

ристання внутрішньоклітинних запасів нітрогену біосинтез припиняється. Переорієнтація направленості біосинтезу відбувається протягом першої доби голодування за нітрогеном, що призводить до утворення невеликих за розміром клітин [21].

Відомо, що зниження вмісту нітрогену в культуральному середовищі підвищує вихід ліпідів, які використовуються у виробництві біодизельного пального [2, 4]. На рис. 4 показано приріст біомаси мікроводоростей в залежності від використання різних джерел нітрогену при його нестачі в культуральному середовищі. Зниження приросту біомаси за використання нітратів пояснюється зміною напрямку потоків електронів з фіксації CO₂ на асиміляцію нітрогену внаслідок конкуренції за АТФ, що утворюється при фотофосфорилюванні [17]. За використання амонійного нітрогену приріст біомаси майже не змінюється у порівнянні з контрольним дослідом. За використання екстракту з посліду свійських птахів, де нітроген міститься одночасно, в основному, у формі нітратів, амонію та сечовини, приріст біомаси при зменшенні загальної кількості екстракту у середовищі є найвищим. Пояснюється це можливістю асиміляції сечовини *Chlorella vulgaris* без попередньої деструкції до іона амонію [17]. Також *Chlorella vulgaris* містить амідазу сечовини, яка каталізує її розклад за рівнянням:

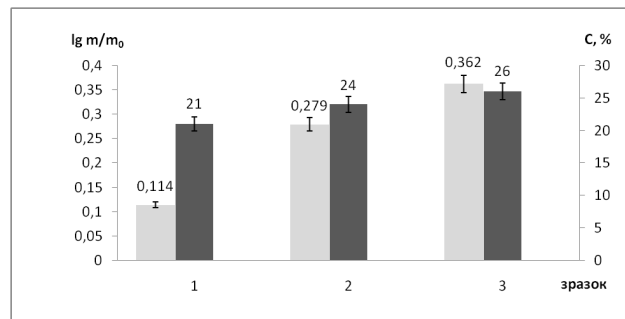
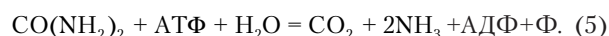


Рис. 4. Приріст біомаси *Chlorella vulgaris* (lg m/m₀) та концентрації ліпідів (С, %) за використання різних джерел нітрогену при його нестачі в культуральному середовищі (зразок): 1 – середовище Громова № 6, 2 – модифіковане середовище Громова № 6, 3 – екстракт посліду свійських птахів. Термін культивування - 2 доби. Залежність приросту біомаси *Chlorella vulgaris* (lg m/m₀) та концентрації ліпідів (С, %) від використання різних джерел нітрогену при його нестачі в культуральному середовищі (зразок): 1 – середовище Громова №6, 2 – модифіковане середовище Громова №6, 3 – екстракт посліду свійських птахів

За використання екстракту з посліду також збільшується термін росту біомаси, можливо, за рахунок більшої кількості нітрогену, який було акумульовано клітиною за його достатньої кількості. При цьому екстракт посліду містить органічні речовини (наприклад, глюкозу), що також збільшує енергетичну забезпеченість клітин та кількість використаного карбону для біосинтезу. При зменшенні вмісту нітрогену у середовищі відбувається зміна метаболізму клітини в бік утворення ліпідів, оскільки ферменти синтезу

ліпідів менше піддаються дезорганізації у порівнянні з ферментами білкового синтезу.

Таким чином, екстракт з посліду свійських птахів можна використовувати для вирощування *Chlorella vulgaris*. При цьому збільшується приріст біомаси водоростей за рахунок використання для процесів анаболізму у світловій фазі CO₂, а в темній фазі – органічних сполук з екстракту. Також збільшенню біомаси сприяє нітроген, який знаходиться в різних формах, що споживаються мікродоростою. Таке поєднання зменшує енергетичні витрати клітини і дозволяє зберегти близькі до нейтральних значення рН.

5. Висновки

1. Показана можливість використання відходів виробництва цукру та посліду свійських птахів як живильних речовин для культивування

Chlorella vulgaris. Найбільший приріст біомаси відбувається за міксотрофного культивування при одночасному використанні CO₂ та органічних сполук екстракту цукрового буряку як джерела карбону. Оптимальними для вирощування біомаси є концентрації екстракту за глюкозою 0,01-0,05 моль/л.

2. *Chlorella vulgaris* здатна до розмноження та розвитку за використання різних джерел нітрогену. Вищому приросту біомаси за використання екстракту з посліду свійських птахів сприяє одночасний вміст нітрогену в нітратній, амонійній, амінокислотній формах та у формі сечовини та її похідних. Це забезпечує підвищення швидкості приросту біомаси у 3 рази.
3. За використання екстракту з посліду свійських птахів для оптимального розвитку *Chlorella vulgaris* концентрація загального нітрогену не повинна перевищувати 0,035 моль/л на г біомаси.

Література

1. Chisti, Y. Biodiesel from microalgae [Текст] / Y. Chisti // Biotechnology Advances. – 2007. - № 25. – P. 294–306.
2. Becker, E. W. Microalgae: biotechnology and microbiology [Текст] / E. W. Becker. - Cambridge University Press, 1994. – 301 p.
3. Sheehan, J. A look back at the U.S. Department of Energy's aquatic species program – Biodiesel from algae [Текст] / Sheehan John. – Colorado: The National Renewable Energy Laboratory, 1998. – 296 p.
4. Голуб, Н. Б. Водорості як сировина для одержання біодизельного пального [Текст] / Н. Б. Голуб, В. Ю. Бунча // Відновлювальна енергетика. - 2010. - № 2. - С. 79-86.
5. Martinez, F. Interactions between Glucose and Inorganic Carbon Metabolism in *Chlorella vulgaris* Strain UAM 1011 [Текст] / Flor Martinez, Maria Isabel Orus // Plant Physiol. – 1991. - №95. - P. 1150-1155.
6. Xu, H. High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters [Текст] / Han Xu, Xiaoling Miao, Qingyu Wu // Journal of Biotechnology. – 2006. - № 126. – P. 499–507.
7. Shi, X.-M. Production of biomass and lutein by *Chlorella protothecoides* at various glucose concentrations in heterotrophic cultures [Текст] / Xian-Ming Shi, Hui-Jun Liu, Xue-Wu Zhang, Feng Chen // Process Biochemistry. – 1999. - V. 34. - N 4. - P. 341–347.
8. Heredia-Arroyo, T. Mixotrophic cultivation of *Chlorella vulgaris* and its potential application for the oil accumulation from non-sugar materials [Текст] / Tamarys Heredia-Arroyo, Wei Wei, Roger Ruan, Bo Hu // Biomass and Bioenergy. – 2011. - V. 35. N 5. – P. 2245–2253.
9. Valderrama, Luz T. Treatment of recalcitrant wastewater from ethanol and citric acid production using the microalga *Chlorella vulgaris* and the macrophyte *Lemnaminuscula* [Текст] / Luz T. Valderrama, Claudia M. Del Campoa, Claudia M. Rodriguez, Luz E. de- Bashana, Yoav Bashan // Water Research. – 2002. - № 36. – P.4185–4192.
10. Penglin, Li. In Situ Biodiesel Production from Fast-Growing and High Oil Content *Chlorella pyrenoidosa* in Rice Straw Hydrolysate [Текст] / Li Penglin, Miao Xiaoling, Li Rongxiu, Zhong Jianjiang // Journal of Biomedicine and Biotechnology. – 2011, V. Article ID 141207, 8 p.
11. Komor, E. The Hexose-Proton Symport System of *Chlorella vulgaris*. Specificity Stoichiometry Energetics of Sugar-Induced Proton Uptake [Текст] / Ewald Komor, Widmar Tanner // European Journal of Biochemistry. – 2005. - №44. - P. 219–223.
12. Hu, Q. Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances [Текст] / Q. Hu, M. Sommerfeld, E. Jarvis, M. Ghirardi, M. Posewitz, M. Seibert, A. Darzins // The Plant Journal. – 2008. – №54. – P. 621–639.
13. Basova, M. M. Fatty acid composition of lipids in microalgae [Текст] / M. M. Basova // International Journal on Algae. – 2005. – №7. – P. 33–57.
14. Муззафаров, А. М. Культивирование и применение микроводорослей [Текст] / А. М. Муззафаров, Т. Т. Таубаев. - Ташкент: Фан, 1984. - 185 с.
15. Gribovskaia, I. V. Usage of urina in food *Chlorella vulgaris* [Текст] / I. V. Gribovskaia, G. S. Kalacheva, L. S. Tirranen, A. A. Kolmakova, Yu. I. Baianova // J. Siberian federal University. Biologie. - 2011. - N3. - P. 243-256.
16. Xin, Li Growth and nutrient removal properties of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp. LX1 under different kinds of nitrogen sources [Текст] / Li Xin, Hu Hong-ying, Gan Ke, Yang Jia // Ecological Engineering. - 2010. – V.36. - N4. - P. 379-381.
17. Упитис, В. В. Макро и микроэлементы в оптимизации минерального питания микроводорослей [Текст] / В. В. Упитис. - Рига: «Знание», 1983. - 239 с.
18. Харитонов, Ю. Я. Аналитическая химия (аналитика): В 2 кн. Кн. 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализ: учебник [Текст] / Ю. Я Харитонов. – М.: 2001. – 459 с.

19. Великая, Е. И. Лабораторный практикум по курсу общей технологии бродильных производств (общие методы контроля): учебное пособие [Текст] / Е. И. Великая. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 312 с.
20. Bligh, E. G. A rapid method for total lipid extraction and purification [Текст] / E. G. Bligh, W.J. Dyer // Can. J. Biochem. Physiol. – 1959. – №37. – P. 911-917.
21. Голуб, Н. Б., Бунча В. Ю. Вплив іонів лужних металів на приріст біомаси та накопичення ліпідів у *Chlorella vulgaris* [Текст] / Н. Б. Голуб, В. Ю. Бунча // Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2012. - №3. - С.12-17.

Експериментально доведено, що дисперсні мінеральні наповнювачі, які мають на поверхні гідроксильні групи з різною функцією кислотності, можуть використовуватись для прискорення реакції шивки при одержанні полімерних будівельних матеріалів на основі епоксидних композицій. Це дозволить підвищити екологічну безпеку приготування, нанесення, експлуатації та утилізації таких матеріалів шляхом вилучення з їхнього складу токсичних і екологічно небезпечних для людини та біосфери низькомолекулярних речовин

Ключові слова: епоксидні композиції, дисперсні мінеральні наповнювачі, каталітична дія, Е-фактор, атомна ефективність

Експериментально доказано, что дисперсные минеральные наполнители, имеющие на поверхности гидроксильные группы с различной функцией кислотности, могут использоваться для ускорения реакции шивки при получении полимерных строительных материалов на основе эпоксидных композиций. Это позволит повысить экологическую безопасность приготовления, нанесения, эксплуатации и утилизации этих материалов путем исключения из состава токсичных и экологически опасных для человека и биосферы низкомолекулярных веществ

Ключевые слова: эпоксидные композиции, дисперсные минеральные наполнители, каталитическое действие, Е-фактор, атомная эффективность

1. Вступ

У будівельній галузі в якості захисних, відновлювальних та конструкційних матеріалів широко використовуються покриття, клеї, мастики на основі епоксидних композицій. Вони в порівнянні з іншими класами полімерів відрізняються тим, що мають цілий комплекс властивостей, які обумовлюють їх багатофункціональне використання у будівництві. По-перше, це технологічність – твердіння при низьких температурах та в умовах підвищеної вологості, можливість регулювання реологічних характеристик та автоматизації процесів нанесення та використання. По-друге, високі показники довговічності, міцності, твердості, стійкості у агресивних хімічних та біохіміч-

ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ЕПОКСИДНІ НАПОВНЕНІ КОМПОЗИЦІЇ НИЗЬКО- ТЕМПЕРАТУРНОГО ТВЕРДІННЯ

УДК 691:628.2

Ю. М. Данченко

Кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри*

E-mail: danchenko-00@mail.ru

Р. О. Биков

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: romul-wolf@mail.ru

М. П. Качоманова

Кандидат технічних наук,
молодший науковий співробітник*

E-mail: amelia_masya@mail.ru

Т. М. Обіженко

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: obiga_ttn@mail.ru

Н. Г. Білоус*

А. В. Антонов*

*Кафедра загальної хімії

Харківський національний університет
будівництва та архітектури

вул. Сумська, 40, м. Харків, Україна, 61002

них середовищах, адгезії до бетону, металу, каменю, склу та деревини. По-третє, практично необмежені можливості хімічної, фізичної або фізико-хімічної модифікації з метою надання спеціальних властивостей, таких як, бактерицидність, теплостійкість, вогнестійкість, кислотостійкість, водостійкість, вібропоглинальні та інші властивості.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Весь сучасний світ стурбований екологічною ситуацією, що склалася сьогодні на планеті. Тому є дуже актуальними підходи до будь-якого процесу виробництва, в тому числі і процесу створення полі-