

ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ У БІОТЕХНОЛОГІЇ

А. В. ЛІЩУК¹, О. А. ВАСИЛЬЧЕНКО², А. Б. МИНЕНКО²,
Е. С. КАСЯНІВСЬКА², В. Є. КУДАС²

¹Інститут гідробіології НАН України, м. Київ

²Національний авіаційний університет, м. Київ

Проведено аналіз сучасних наукових досліджень з практичного використання мікробіодоростей у біотехнології. Дана оцінка доступності мікробіодоростей як об'єкту біотехнологічних розробок.

Ключові слова: мікробіодорості, вітаміни, пігменти, біомаса.

Специфіка метаболізму ряду представників мікроальгофлори, пов'язана з продукуванням метаболітів з цінними для людини властивостями, зробила водорості одним з важливих об'єктів біотехнології [1].

Водорості – живі організми, які отримують необхідну для життєдіяльності енергію шляхом фотосинтезу, мешкають переважно у водному середовищі чи пристосовуються до життя у ґрунті та інших наземних місцях зростання. Саме вони є первинними продуцентами органічної речовини у водах Світового океану і прісних водоймах суші, причому річна продуктивність морських водоростей співставна з продуктивністю всієї наземної рослинності, включаючи сільськогосподарські угіддя.

Нараховується близько 30 тисяч видів водоростей. Їх розміри коливаються від мікрону (більшість одноклітинних водоростей) до 40 м (бурі водорості). Вони бувають як одноклітинні, так і багатоклітинні.

Водорості – головні постачальники органічних речовин у водному середовищі, адже 80 % всіх органічних речовин припадає на частку саме цих водних рослин.

Водорості – постійно поновлюваний ресурс, джерело отримання харчового і кормового білка та інших цінних сполук (вуглеводів, ліпідів), вітамінів та вітаміноподібних сполук (тіаміну, піридоксину, рибофлавіну, фолієвої, нікотинової, амінобензойної, пантотенової і аскорбінової кислот), мікро- та макроелементів. Водорості містять унікальний комплекс необхідних організму людини компонентів. За своїми харчовими якостями ці рослини не тільки не поступаються відомим сільськогосподарським культурам, але за деякими показниками навіть перевершують їх, наприклад, вміст білка складає до 70 % сухої біомаси. Білок містить усі протеїногенні амінокислоти, необхідні для нормального обміну речовин людини, в тому числі незамінні [2]. Мікроскопічні водорості здатні до біосинтезу 13 вітамінів, а такий цінний продукт як риба'чий жир, містить їх всього 6. У біомасі *Ch. vulgaris*, *Senecococcus elongates*, *S. platensis* концентрація тіаміну, рибофлавіну, фолієвої кислоти, провітаміну А більш висока, ніж у вищих рослин [4]. Водорості родів *Noso* і *Microcystis* накопичують у великих кількостях вітамін В₁₂ [5–7].

У світі історично склалася традиція використання у харчових цілях певних видів водоростей. Сьогодні в усіх країнах світу дозволено вживання у їжу такі види: *Arthrospira platensis*, *Arthrospira maxima*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorella sorokiniana*, *Dunaliella salina*; регіонально дозволені: *Nostoc pruniforme* (в країнах південно-східної Азії), в США – *Aphanizomenon flos-aquae* [3].

Великою перевагою водоростей є їх фізіолого-біохімічна різноманітність і лабільність хімічного складу, що дозволяють здійснювати керований біосинтез коштовних хімічних природних сполук. Так, в одній і тій же культурі залежно від умов вирощування змінюється вміст вільних амінокислот, пігментів, вітамінів, мікроелементів, можна отримати біомасу з вмістом білків від 9 до 88 %, вуглеводів – від 6 до 37 %, жирів – від 4 до 85 %.

Гідролізати білка зеленої водорості *Scenedesmus* використовуються в медицині і косметичній промисловості. В Ізраїлі на дослідних установках

проводяться експерименти із зеленою одноклітинною водорістю, яка синтезує гліцерол. Ця водорість відноситься до класу рівнодзгугтикових і схожа на хламідомонаду. *Dunadiella* (Рис. 1) може рости і розмножуватися у середовищі з широким діапазоном вмісту солі: і у воді океанів, і у майже насичених сольових розчинах Мертвого моря. Вона накопичує вільний гліцерин з метою протидії несприятливому впливу високих концентрацій солей у середовищі, де вона росте [7]. За оптимальних умов і високого вмісту солі на частку гліцерола припадає до 85 % сухої маси клітин. Для росту цим водоростям необхідні: морська вода, вуглекислий газ і сонячне світло. Після переробки водорості можна використовувати як корм для тварин, так як у них відсутня клітинна оболонка, властива іншим водоростям. Вони також містять значну кількість β -каротину [8]. Таким чином, культивуючи цю водорість, можна отримувати гліцерин, пігмент і білок, що дуже перспективно з економічної точки зору.

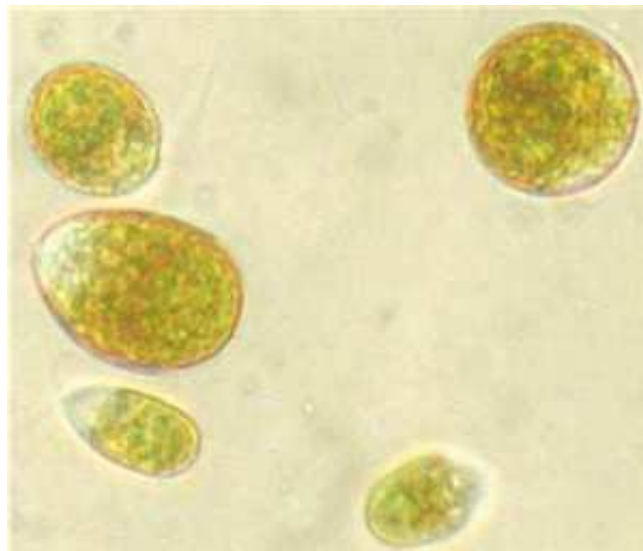


Рис. 1. Одноклітинна водорість

Водорість *Spirulina platensis* використовується в харчовій промисловості у якості високобілкової вітамінізованої харчової добавки, біобарвника, а також завдяки вмісту значної кількості мінеральних компонентів – біостимулятору і регулятору росту. Наприклад, у біомасі спіруліни міститься до 528 мг/кг заліза, фосфору – 8000 мг/кг, калію – 14300 мг/кг, магнію – 1660 мг/кг, марганцю – 22 мг/кг, цинку – 33 мг/кг, селену – 0,4 мг/кг, а кальцію в ній навіть більше, ніж у молоці (до 10 г/кг) [9].

Морська одноклітинна червона водорість *Porphyridium* є джерелом каррагініну [10], який знаходить застосування не тільки як емульгатор у фармацевтиці та молочнокислій промисловості, але і як речовина, що клеїть, в шкіряному і текстильному виробництві [11].

Одним із найбільш актуальних завдань біотехнології є керований біосинтез пігментів водоростей, таких як хлорофіли, каротини, ксантофіли, фікобіліпротеїни [12]. Важливо, що пігменти, які одержують із рослинних компонентів, не токсичні. Так, найбільш перспективним джерелом каротину для біотехнологічної промисловості визнана зелена водорість *D. salina* [13–16]. Відомо, що за певних умов вона здатна до гіперсинтезу каротину, вміст якого в її клітинах може досягати 10 %. Джерелом пігментів можуть бути і синьо-зелені водорості. Так, наприклад, хлорофіли спіруліни використовують для фарбування мила, жирів, алкогольних і безалкогольних напоїв, одеколону, духів, дезодорантів. У Японії хлорофілами забарвлюють рибні пасти та інші кулінарні вироби, а у Європі – масла, жири, ароматичні есенції [17].

Хлорофіл зміцнює клітинні мембрани, сприяє формуванню сполучних тканин, що робить можливим його використання при загоєнні ерозій, виразок, відкритих ран. Хлорофіл підсилює імунну відповідь організму за стимуляції фагоцитозу, запобігає патологічним змінам молекул ДНК [18]. Деякі дослідники вважають, що хлорофіл блокує перший етап перетворення здорових клітин в ракові [19].

Перспективним для практичного використання є отримання з біомаси мікроскопічних водоростей хлорофіл-каротинової пасти, яка як основна діюча речовина входить до складу вискоєфективної мазі «Альгофін». Ця мазь є антибактеріальною, має протизапальний ефект, внаслідок чого активує регенераційний і репараційний процеси [2].

Лікувальними властивостями володіють і глікопротеїни водоростей, здатні до пригнічення росту пухлинних клітин, а також каротиноїди, які належать до числа антиоксидантів. За рахунок сполучених подвійних зв'язків вони зв'язують синглетний кисень та інгібують утворення вільних радикалів [20–23].

Фікобіліпротеїни як додаткові пігменти водоростей знайшли застосування у імунофлуоресцентній діагностиці, де їх використовують як флуоресцентні зонди. Існують дані, які вказують на можливість застосування фікобіліпротеїнів у якості протизапальних засобів [3].

Фікоціанін, який відноситься до класу фікобіліпротеїнів, добувають з мікродорості *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitler. У складі біомаси спіруліни фікоціанін представлений декількома ізоформами, такими як аллофікоціанін і С-фікоціанін [24]. С-фікоціанін є більш розповсюдженим. Його вміст може становити в середньому 4–9 % від маси сухих речовин спіруліни [25]. С-фікоціанін є «гасником» вільних радикалів і, завдяки цій властивості, активним антиоксидантом. До комплексу фізіологічних ефектів, що викликаються С-фікоціаном, можна віднести наступні: пригнічення проліферації пухлинних клітин, зниження концентрації фактора некрозу пухлин в тканинах, інгібування окисного стресу в організмі, запобігання перекисного окислення ліпідів, пошкодження ДНК, руйнування клітинних мембран і загибелі клітин [26].

Водорості можуть бути промисловою сировиною для отримання альгінових кислот і альгінатів, агар-агару, агароїду, каррагеніну, сорбіту, маніту, етилового та метилового спиртів, ацетону, органічних кислот, ефірів, нітроцелюлози, мічених амінокислот, стеролів, інсектицидів, репелентів [27].

Широкий спектр застосування мікродоростей у сільському господарстві. У якості кормових добавок у тваринництві та птахівництві використовують водорості родів *Chlorococcum*, *Spirogyra*, *Scenedesmus*, *Nostoc*, *Navicula*, *Nitzschia* та інші. Такі добавки підвищують імунітет тварин, зростає їх вага, плодючість і виживання молодняку, у птахів збільшуються розміри яєць, посилюється несучість і інтенсивність забарвлення яєчного жовтка. Внаслідок цього в США фермерські господарства для вирощування великої рогатої худоби та птиці забезпечені водоростевими водоймами, де відходи тваринництва утилізуються водоростями, в результаті чого 40 % азоту із стічних вод знову надходить у біомасу водоростей [28]. Крім того,

застосування суспензії мікроводоростей *Chlorella* і *Scenedesmus* у шовківництві сприяє прискоренню розвитку гусені тутового шовкопряда, а також збільшує її життєздатність і врожайність коконів [6, 3] .

Крім того, водорості у сільському господарстві застосовують у якості добрив. Їх біомаса збагачує ґрунт фосфором, калієм, йодом і значною кількістю мікроелементів, поповнює також її бактеріальну, в тому числі азотфіксуючу, мікрофлору. При цьому у ґрунті водорості розкладаються швидше, ніж органічні добрива, і не засмічують насінням бур'янів, личинками шкідливих комах, спорами фітопатогенних грибів. Азотфіксуючі синьо-зелені водорості широко використовують на рисових полях замість азотних добрив. Показано, що добрива з водоростей можуть підвищувати проростання насіння, врожайність, стійкість до хвороб.

Мікроводорості відіграють особливо важливу роль у біологічному очищенні води. З урахуванням економічної ефективності найбільш перспективним вважають використання водоростей для очищення стічних вод підприємств харчової промисловості, рибоводних господарств, тваринницьких ферм, птахофабрик [29]. Вони, як фототрофні організми, збагачують водне середовище киснем, сприяючи тим самим прискоренню окислювальних процесів і мінералізації органічних домішок у стічних водах. Водорості для очищення стічних вод успішно застосовують в США, Японії, Німеччині. Доведено здатність ряду синьо-зелених водоростей розщеплювати ациланілідний гербіцид з використанням пропану і утворенням 3,4-діхлораніліну, який швидше руйнується бактеріями. Деякі ціанопрокаріоти розкладають фенілкарбаматні гербіциди – профам і хлоропрофам – на анілін і хлорпохідні речовини [30]. Культивування мікроводоростей на стічних водах з одного боку дозволяє здійснювати біологічну очистку води, з іншого боку – отримувати дешеву біомасу, багату білками, вітамінами тощо [31]. Існують дані про те, що альго-бактеріальні ценози сприяють руйнуванню мазуту, продуктів органічного синтезу та інших ксенобіотиків, що потрапляють у природні водойми у результаті діяльності людини [32]. Застосування активних

штамів мікроорганізмів–деструкторів, виділення і використання стійких до забруднених вод мікроводоростей дозволило створити нову комплексну біотехнологію очищення і відновлення екосистем водойм і ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами.

Одним з найбільш ефективних способів очищення води є біофлокуляція [33]. Її сутність полягає у застосуванні спеціально вирощеної біокультури для оздоровлення водних екосистем. На відміну від відомих методик при біофлокуляції застосовується мікроводорість, що знаходиться в неактивному стані, її біомаса використовується у якості флокулянта. Біофлокуляція дозволяє у процесі очищення великих обсягів забруднених вод одночасно вирощувати культуру водорості. Даний спосіб очищення придатний для застосування у гірничодобувній промисловості, у віддалених від комунікацій районах, що може забезпечити стабільність процесу очищення незалежно від кліматичних факторів і коливань у витратах стічних вод. Крім осадження завислих речовин мікроводорості можуть адсорбувати важкі метали, радіонукліди, стійкі органічні забруднення, виводячи їх з води.

Багато видів мікроскопічних водоростей застосовують у якості індикаторів органічного забруднення водойм. Так, α -мезосапробіонтами є *Scirpus acutus*, *Charion vulgaris*, β -мезосапробіонтами – *Ankistrodesmus falcatus*, багато видів *Scenedesmus* та інші [6, 31].

Водорості здатні накопичувати елементи, які знаходяться у воді, що їх оточує. Так, в одному кілограмі ламінарії міститься стільки йоду, скільки його розчинено в 100 000 літрах морської води [34].

Мікроводорості вважаються найбільш перспективним джерелом сировини для виробництва біодизелю. З одного гектара землі можна отримати 446 л соєвої олії, або 2 690 л пальмової. З такої ж площі водної поверхні можна отримувати до 90 000 л біодизелю [35].

Якість біодизелю залежить від жирнокислотного складу вихідної сировини. З насичених жирних кислот у складі водоростей переважає пальмітинова кислота, з ненасичених – пальмітоолеїнова і ліноленова. Загальна

ненасиченість жирних кислот ліпідів мікроводоростей значно вища, ніж у пальмової олії. Жирнокислотний склад ліпідів водоростей може змінюватись при варіюванні умов вирощування (температура, освітленість) [36].

Департамент Енергетики США з 1978 по 1996 роки досліджував водорості з високим вмістом олії за програмою «Aquatic Species Program». Дослідники дійшли висновку, що Каліфорнія, Гаваї і Нью-Мехіко придатні для промислового виробництва водоростей у відкритих ставках. Протягом 6 років водорості вирощувалися в ставках площею 1 000 кв. м. Ставок у Нью-Мехіко показав високу ефективність у поглинанні CO₂. Урожайність склала більше 50 г водоростей з 1 кв. м. за день. З 200 000 гектарів ставків можна виробляти паливо, достатнє для роботи 5 % автомобілів США протягом року [37].

ВИСНОВКИ

Мікроводорості – не просто фотосинтезуючі організми з високою швидкістю росту. Вони є джерелом вітамінів (особливо групи В), макро- і мікроелементів, поліненасичених жирних кислот, природних барвників та інших біологічно активних речовин і культивуються переважно для потреб фармакології, медицини та збагачення раціонів людей та тварин.

У фармакології використовують карітоноїди, хлорофіли та фікобіліпротеїни водоростей.

На сучасному етапі водорості розглядаються як альтернативна «енергетична» сировина. Мікроводорості все ширше використовуються для виробництва палива – біодизелю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Упитис В. В. Макро- и микроэлементы в оптимизации минерального питания микроводорослей / В. В. Упитис. – Рига: Зинатне, 1983. – 240 с.
2. Биотехнология культивирования гидробионтов / [Романенко В. Д., Крот Ю. Г., Сиренко Л. А., Соломатина В. Д.]. – Киев, 1999. – 264 с.

3. Одноклеточные водоросли как возобновляемый биологический ресурс / [Минюк Г. С., Дробецкая И. В., Чубчикова И. Н. и др.] // Морской экологический журнал. – 2008. – Т. 7, № 2. – С. 5–23.

4. Винберг Г. Г. Массовые культуры одноклеточных водорослей как новый источник пищевого и промышленного сырья / Г. Г. Винберг // Успехи современной биологии. – 1957. – Т. 18, вып. 3. – С. 332–351.

5. Баянова Ю. И. Оценка витаминного состава некоторых одноклеточных водорослей и высших растений, выращенных в искусственных условиях / Ю. И. Баянова, Н. И. Трубачев // Прикладная биохимия и микробиология. – 1981. – Т. 17, № 3. – С. 400–407.

6. Горюнова С. В. Сине-зеленые водоросли (биохимия, физиология, роль в практике) / С. В. Горюнова, Г. Н. Ржанова, В. К. Орлеанский. – М.: Наука, 1969. – 300 с.

7. Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР / П. М. Царенко [отв. ред. Г. М. Паламарь-Мордвинцева]. – К.: Наукова думка, 1990. – 208 с.

8. Гаевская Н. С. Проблемы использования одноклеточных водорослей / Н. С. Гаевская. // Природа. – 1956. – № 4. – С. 43–51.

9. Вопросы управления биосинтезом низших растений. / [Белянин В. Н., Тренкеншу Р. П., Сидько Ф. Я. и др.]. – Новосибирск: Наука, 1982. – 154 с.

10. Саут Р. Основы альгологии / Р. Саут, А. Уиттик. – М.: Мир, 1990. – 597 с.

11. Береговая Н. М. Сравнение различных способов хранения водного экстракта с-фикоцианина микроводоросли *Spirulina platensis* / Н. М. Береговая, И. Н. Гудвилевич // Экология моря. – 2006. – Вып. 70. – С. 5–8.

12. Тренкеншу Р. П. Технология промышленного культивирования спирулины / Р. П. Тренкеншу, Р. Г. Геворгиз. – Севастополь, 2004. – 16 с.

13. Гудвилевич И. Н. Динамика суммарных каротиноидов и хлорофилла-а в клетках *Dunaliella salina* в квазинепрерывной культуре / И. Н. Гудвилевич, Н. М. Береговая, А. Б. Боровков // Экология моря. – 2005. – Вып. 6. – С. 52–55.

14. Тренкеншу Р. П. Технология промышленного культивирования дуналиеллы / Р. П. Тренкеншу, Р. Г. Геворгиз, А. Б. Боровков. – Севастополь, 2005. – 14 с.
15. Анализ направлений пищевой биотехнологии / А. Д. Лодыгин, А. Б. Рябцева // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия «Продовольствие»: [ред. колл. Б. М. Синельников и др.]. – Изд-во СевКавГТУ, 2005. – № 1. – С. 12–18.
16. Боровков А. Б. Зеленая микроводоросль *Dunaliella salina* Teod. (обзор) / А. Б. Боровков // Экология моря. – 2005. – Вып. 67. – С. 5–17.
17. Ефимов А. А. Обоснование использования синезеленых водорослей для выделения хлорофилла и фикобилипротеинов как пищевых красителей и биологически активных веществ / А. А. Ефимов, Т. П. Белова, М. В. Ефимова // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 11. – С. 77–80.
18. Short-term fluctuations of chlorophyll a fluorescence versus diurnal variations of solar radiation in the surface water of the Gdansk Basin / [Magulski R., Falkowska L., Dunajska D., et al.] // Oceanology and Hydrobiology Study. – 2004. – Vol. 33, N 3. – P. 57–68.
19. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2009. <http://www.algaebase.org>. / Guiry, M.D. & Guiry, G.M. AlgaeBase // Last updated: 02 July 2009.
20. Мушак П. А. Биомасса сине-зеленых водорослей (*Cyanophyta*) - сырье для получения биологически активных веществ / П. А. Мушак // Альгология. – 1999. – Т. 9, № 2. – С. 98–99.
21. Ефремова Н. Е. Разработка способов получения антиоксидантных препаратов на основе биоактивных веществ цианобактерий и микроводорослей: автореферат дис. на получение научн. степени доктора биол. наук / Н. Е. Ефремова. – Кишинев, 2009. – 29 с.
22. Нехорошев М. В. Черноморские водоросли - потенциальный источник химиотерапевтических и противоопухолевых препаратов / М. В. Нехорошев, О. К. Воронова // Альгология. – 1996. – Т. 6, № 1. – С. 86–89.

23. Hanaa H. Abd El Baky. Production of antioxidant by the green alga *Dunaliella salina* / Hanaa H. Abd El Baky, Farouk K. El Baz, Gamal S. El-Baroty // International Journal of Agriculture & Biology. – 2004. – Vol. 6, 1.1. – P. 49–57.
24. Шлегель Г. Общая микробиология / Г. Шлегель. – М.: Мир, 1987. – 567 с.
25. Киселев И. А. Водоросли. Определитель низших растений / И. А. Киселев, А. Д. Зинова, Л. И. Курсанов. – М.: Изд-во «Советская наука», 1953. – 320 с.
26. Водоросли : справочник / [С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк и др.] – К. : Наукова думка, 1989 – 120 с.
27. Топачевский А. В. Пресноводные водоросли Украинской ССР / А. В. Топачевский, Н. П. Масюк. – К.: Вища школа, 1984. – 336 с.
28. Водоросли / [отв. ред. С. П. Вассер]. – К.: Наукова думка, 1989. – 608 с.
29. Ленова Л. И. Водоросли в доочистке сточных вод / Л. И. Ленова, В. В. Ступина. – К.: Наук. думка, 1990. – 183 с.
30. Винберг Г. Г. Участие фотосинтезирующих организмов фитопланктона в процессах самоочищения загрязненных вод / Г. Г. Винберг, Т. Н. Сивко // Гидробиология и ихтиология внутренних водоемов Прибалтики. – 1963. –Т. 23, № 7. – С. 61–65.
31. Таубаев Т. Т. Система биологической очистки сточных вод при помощи протококковых водорослей, ряски, и других гидробионтов / Т. Т. Таубаев, С. Буриев // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве: мат. респ. конф. – Ташкент: Фан, 1980. – С. 113–115.
32. Янкевич М. И. Формирование ремедиационных биоценозов для снижения антропогенной нагрузки на водные и почвенные экосистемы: автореферат дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук / М. И. Янкевич. – Щелково, 2002. – 50 с.
33. Новиков О. Н. Биофлокуляция – биотехнологический элемент водных экосистем / О. Н. Новиков, Г. О. Хакимова // «Морская экология – 2005»: труды Междунар. науч.-практич. конф. – Владивосток, 2005. – С. 146–147.

34. Баринава С. С. Атлас водорослей – индикаторов сапробности (российский дальний Восток) / С. С. Баринава, Л. А. Медведева. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 364 с.

35. Горкин А. П. Биология. Современная иллюстрированная энциклопедия л. ред. – М.: Росмэн-Пресс, 2006. – 560 с.

36. Перспективи використання мікрободоростей у біотехнології / [О. К. Золоторьова, Є. І. Шнюкова, О. О. Сиваш, Н. Ф. Михайленко]; Під ред. О. К. Золотарьової. – К.: Альтерпрес, 2008. – 234 с.

37. Van Gerpen J. Biodiesel processing and production / J. Van Gerpen // Fuel Process. Technol. – 2005. – 86, N 10. – P. 1097–1107.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

***А. В. ЛИЩУК¹, О. А. ВАСИЛЬЧЕНКО², А. Б. МИНЕНКО²,
Е. С. КАСЯНИВСКАЯ², В. Е. КУДАС²***

¹Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

²Национальный авиационный университет, г. Киев

Проведен анализ современных научных исследований по практическому использованию микроводорослей в биотехнологии. Дана оценка доступности микроводорослей как объекта биотехнологических разработок.

Ключевые слова: микроводоросли, витамины, пигменты, биомасса.

MICROALGAE BIOTECHNOLOGICAL APPLICATION

***A. V. LISCHUK¹, O. A. VASYLCHENKO², A. B. MYNENKO²,
E. S. KASYANIVSKA², V. E. KUDAS²***

¹Institute of Hydrobiology NAS of Ukraine, Kyiv

²National Aviation University, Kyiv

The analysis of current research on the practical use of microalgae in biotechnology is conducted. The availability of microalgae as an object of biotechnology developments is assessed.

Keywords: *microalgae, vitamins, pigments, biomass.*