

**Х. Соловій¹, М. Мальований¹ (Львів, УКРАЇНА),
В. Никифоров² (Кременчук, УКРАЇНА)**

**ЗБІР ТА КОНЦЕНТРУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ З ЦІЛЛЮ ЇХ
ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГОНОСІЇВ**

¹Інститут сталого розвитку ім. В. Чорновола,

*Національний університет «Львівська політехніка»,
79013 Львів, вул. С.Бандери, 12, myroslav.mal@gmail.com*

*²Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
39600 Кременчук, вул. Першотравнева, 20, v-nik@kdu.edu.ua*

Для збалансованого природокористування важливим є використання альтернативних джерел енергії з метою зменшення згубного впливу від функціонування індустриальних об'єктів. Отримання енергоносіїв від відпрацьованої біомаси мікроводоростей сьогодні постає інноваційним рішенням не тільки енергетичних, але й сільськогосподарських проблем. Починаючи із ХХ ст., велика кількість науковців почала активно досліджувати технології та процеси культивування, збору та зневоднення біомаси мікроводоростей. У ХХІ ст. кількість науковців, що продовжує вивчати ці питання, невпинно зростає.

Під терміном «збір та концентрування» мікроводоростей традиційно розуміють отримання суспензії культури мікроводоростей у вигляді розчину або пасти, що містить від 5% до 25% або більше суспендованих часток. Така субстанція може бути отримана або одностадійним або двостадійним процесом.

Традиційні технології концентрування зібраних мікроводоростей включають такі процеси як центрифугування, пінне фракціонування, хімічну флокуляцію, мембранну фільтрацію та ультразвукову сепарацію. Подальше поводження із отриманою пастою водоростей залежать від досягнутого на попередній стадії ступеня концентрування. Збільшена концентрація продукту зменшує затрати на екстрагування та очищення. Ступінь концентрування пасти водоростей значною мірою визначає затрати на сушіння.

Мікроводорості є частинками, що мають колоїдний характер у суспензії. Електрична відштовхувальна взаємодія між клітинами водоростей та взаємодія клітин із навколишнім водним середовищем сприяють стабільності цієї суспензії. Клітини водоростей зазвичай характеризуються як негативно заряджені поверхні, де інтенсивність заряду є функцією виду мікрокультури, іонної сили та рН середовища культивування. Ці поверхневі заряди відіграють певну роль у розвитку культури, оскільки вони сприяють підтримуванию клітин у водному середовищі таким чином, щоб вони не осідали на дні ставка, зокрема в регіонах, де швидкість води є низькою.

Ступінь осадження мікроводоростей визначається швидкістю осадження, що може бути або збільшена або зменшена розмірами агломератів (групами клітин). У випадку використання флокуляції біомаси водоростей, цей процес проводиться перед гравітаційним осадженням. Осідання флоків водоростей (замість одиничних частинок)

значно підсилює ефективність процесу. Гравітаційне осадження після флокуляції є одним із найбільш вживаних способів для другої стадії концентрування біомаси мікроводоростей.

Центрифугування є процесом подібним до осадження, де сили гравітації замінюються відцентровими силами для підсилення швидкості концентрування твердих часток. Центрифугування зазвичай рекомендують у виробництві високовартісних метаболітів чи як другу стадію зневоднення для концентрування розчинів водоростей.

Фільтрація вважається найбільш конкурентоспроможним методом у порівнянні із іншими способами збору. Цей спосіб використовується при відносно великих розмірах водоростей (>70 мкм) волокнистих видів або агломератів. Для збільшення ефективності фільтрації можуть бути використані діатомова земля або целюлоза. Існує багато різних типів фільтраційних процесів: тупикова фільтрація, мікрофільтрація, ультрафільтрація, фільтрація під тиском, вакуумна фільтрація, фільтрація тангенціального потоку. Дослідження першої декади ХХІ ст. показали, що фільтрація тангенціального потоку є енергетично сприятливим процесом зневоднення, оскільки споживає мінімальну кількість енергії, забезпечуючи необхідну продуктивність.

Флотація є процесом сепарації, що базується на прикріпленні повітряних кульок до твердих частинок. Вихідні флоки потрапляють до поверхні рідини і збираються механічним зняттям або фільтрацією. Процес флотації залежить від природи суспендованих часток (клітини мікроводоростей). Повітряні кульки піднімають менші частки (< 500 мкм) легше. Флотація із використанням розчиненого повітря, електролітична флотація та флотація із використанням дисперсного повітря є поширеними способами флотації, що використовуються відповідно до методу отримання бульбашок.

Флокуляція використовується для сепарації клітин мікроводоростей із суспензії шляхом додавання однієї або більше хімічних речовин. Клітини мікроводоростей мають негативний заряд, що запобігає самоагрегації в суспензії. Цей негативний заряд протиставляється додаванням полівалентних іонів, що зветься флокулянтами. Вони можуть бути катіонними, аніонними або неіонними і вони флокують клітини без впливу на їх склад та не вносять токсичності. Механізм полімерної флокуляції включає іонну взаємодію між поліелектролітами та клітинами водоростей, призводячи до утворення полімерних містків між частинками водоростей та формування флоків. Межа агрегації залежить від заряду, молекулярної ваги, концентрації полімерів. Властивості водоростей (рН суспензії, концентрація біомаси та її заряд) є рівнозначно важливими для вибору флокулянту. Деякі дослідники початку ХХІ ст. продемонстрували успішне використання хітозану як біофлокулянта для таких родів як *Spirulina*, *Oscillatoria*, *Chlorella* та *Synechocystis* sp. Ефективність цього методу залежить від рН середовища - найкращі результати отримані при рН = 7.0 для прісноводних та нижчих значень рН для морських видів. Органічні флокулянти виявились вигідними завдяки їх низькій чутливості до рН середовища, низьких вимогах

до точності дозування та широкому переліку областей застосування. Водорості також мають властивість автофлокуляції, за умови зменшення подачі CO₂. Зменшення подачі CO₂ протягом фотосинтезу збільшує рН, що призводить до виділення магнію, кальцію, фосфатної та карбонатної солей із клітин водоростей. Позитивно заряджені іони взаємодіють із негативно зарядженими поверхнями водоростей і зв'язують їх, забезпечуючи проходження автофлокуляції.

Електролітична коагуляція використовується при поводженні із прісноводними мікрководоростями для кінцевого доочищення та відділення водоростей із суспензії прісних вод. Активні полівалентні металеві аноди (зазвичай залізо або алюміній) використовуються для генерування іонних флокулянтів, головним чином іонів Al³⁺ та Fe³⁺. Останні агрегують водорості до формування флоків через чистий негативний заряд та колоїдну поведінку клітин водоростей. В загальному процес коагуляції включає формування коагулянтів шляхом розчинення реактивного аноду, дестабілізації колоїдних суспензій та агрегації дестабілізованих суспензій, призводячи до формування флоків водоростей. Процес електролітичної коагуляції є більш ефективним способом коагуляції у порівнянні із звичайними процесами прямої взаємодії сульфату алюмінію із суспензіями водоростей. Коагульована біомаса відділяється від води або осадженням або флотацією або механічним зняттям. Для того, щоб зняття було ефективним, неактивні металеві катоди використовуються для генерування мікрогазу (зазвичай водню), бульбашки якого потрапляють у флоки водоростей та виносять їх на поверхню.