

УДК: 628.356;628.113;628.543

*Семенова О.І., к.т.н., доц., Решетняк Л.Р., к.т.н., доц., Ткаченко Т.Л.,
Бублієнко Н.О., к.т.н., доц.*

Національний університет харчових технологій

ХАРАКТЕРИСТИКА ГІДРОБІОЛОГІЧНОГО СКЛАДУ АЕРОБНОГО АКТИВНОГО МУЛУ

Проведено дослідження якісного складу активного мулу аеротенку при очищенні стічних вод молокопереробних підприємств з різною концентрацією забруднювачів за ХСК від 1000 до 2000 мгО₂/дм³. Обґрунтовано ефективність застосування аеробної ферментації при очищенні стоків шляхом підтвердження гідробіологічного складу активного мулу притаманного нормально працюючим очисним спорудам.

Ключові слова: СТИЧНІ ВОДИ, ГІДРОБІОНТИ, АКТИВНИЙ МУЛ, БАКТЕРІЇ.

Постановка проблеми. Всі відомі людству метаболічні властивості мікроорганізмів фактично використані у різноманітній кількості реакторів біологічного очищення. Але включення у процеси очищення лише обмежених видів організмів, а саме - бактерій, грибів, найпростіших і т. п. далеко не завжди виявляється екологічно чистою та доцільною технологією. Окрім першочергового завдання - вилучити із стічних вод основні забруднюючі компоненти, завжди виникає проблема утилізації утворених в процесі очищення побічних продуктів (осадів та надлишкової біомаси організмів - очисних агентів). В ідеальному випадку біологічне очищення можна було б уявити як біоценоз організмів, що тою чи іншою мірою беруть участь у вилученні забруднень із стічних вод. Причому у такий ценоз мають бути включені усі можливі ланки - від мікроорганізмів до гідробіонтів із більш складною організацією [1]. Лише таким чином можливе відтворення процесів самоочищення природних водойм та надання обробленим стічним водам вищих кондицій якості. Але з практичної точки зору використання подібних ценозів є майже нереальним.

В різних типах очисних споруд утворюються неоднакові фізико-хімічні умови, в результаті чого в них розвиваються різні групи організмів [1,2].

Крім фізіологічних груп у бактеріальному складі активного мулу розрізняють екологічні групи, кожна з яких об'єднує мікроорганізми, що існують у певному температурному діапазоні і при певних концентраціях розчиненого кисню. В активному мулі розвиваються мікроорганізми усіх трьох температурних груп - психрофільні, мезофільні й термофільні, але домінують факультативні психрофіли та мезофіли. В умовах достатньої концентрації кисню в активному мулі переважають аероби, однак поряд з ними поширені й факультативні анаероби. В активному мулі виявляються також і obligatні анаероби, існування яких можливе в мікронах з малим вмістом кисню чи повною його відсутністю. Такі мікронах можуть виникати всередині пластівців активного мулу, коли їх розмір та густина збільшуються. Зміна температурного і кисневого режимів в аеротенку призводить до зміни співвідношень між організмами різних екологічних груп [2].

Оскільки в аеротенку можуть інтенсивно розвиватись лише еврибіонтні організми, що пристосовані до циклічної зміни сапробних умов, пов'язаною із рециркуляцією активного мулу, екосистема даної споруди буде характеризуватись практично повною відсутністю організмів з автотрофним типом живлення. Окрім того, розвитку фотосинтезуючих водоростей перешкоджатиме нестача світла в товщі активного мулу через високу концентрацію останнього.

На основі аналізу літературних джерел [3,4,5] можна зробити припущення, що склад стічних вод підприємств молочної промисловості є сприятливим для розвитку не тільки бактерій, а й дріжджів, нижчих грибів тощо. Основними забрудненнями досліджуваних стоків є компоненти молока – цінного харчового продукту, у якому містяться білки, ліпіди, вуглеводи, вітаміни, мікроелементи. Сучасна технологія переробки молока обумовлює потрапляння у стічні води сторонніх домішок через особливості технологічних процесів. Водночас енергетична цінність молочних продуктів та осадів, утворених внаслідок

очищення стічних вод молокозаводів за даними [2,3] може бути використана в якості кормової бази у сільському господарстві.

Мета статті. Оскільки більшість мешканців очисних споруд можуть виконувати роль індикаторних організмів ступеня забруднення середовища, а також свідчити про досконалість застосованого технологічного режиму, був проведений аналіз якісного складу організмів активного мулу. В якості об'єкта дослідження було обрано активний мул аеротенків, що очищають стоки молокопереробних підприємств, як типового забруднювача гідросфери стічними водами середньої та низької концентрації.

Виклад основного матеріалу. Налагодження процесу очищення стічної води в будь-яких умовах обов'язково починається з адаптації активного мулу до особливостей відповідних стоків: кожна промисловість (навіть підприємства однієї галузі) характеризується певним співвідношенням біогенних елементів, значенням рН, вмістом розчинних, мало- та нерозчинних домішок тощо. Залежно від цього склад активного мулу буде змінений.

Здатність активного мулу до утворення пластівців має виключно важливе значення, оскільки дозволяє порівняно легко відділити його від очищених стічних вод відстоюванням (іноді флотацією) і повернути в аеротенк для біологічного очищення нових порцій стічної води. Механізм утворення пластівців активного мулу до нинішнього часу ще не до кінця вивчений. Висловлюється припущення, що пластівцеподібні агрегати активного мулу утворюються, головним чином, в результаті взаємодії полімерів, що виділяються бактеріальними клітинами чи адсорбовані ними. Здатність мулу до пластівцеутворення залежить від виду бактерій, їх віку, складу середовища, температури, рН та інших чинників [2].

Як відомо, до складу активного мулу аеротенків входять аеробні бактерії, гриби, найпростіші та безхребетні [3,4,5]. Основну масу біоценозу складають флокульовані бактерії та окремі бактеріальні клітини (93-95%), біомаса найпростіших не перевищує 5%. Кількість водоростей та водних грибів в аеротенках зазвичай незначна і не перевищує 1% від загальної біомаси ценозу.

Отже, основна роль в трансформації забруднень при очищенні стічних вод в аеротенках належить бактеріям. Біомаса коловороток та круглих червів незначна, а, оскільки більшість видів не бере активної участі у процесах очищення, ця група організмів розглядається лише як індикатори.

Загальне уявлення про роль окремих груп мікроорганізмів у процесах очищення стічних вод дає піраміда біомас. Окрім того, що вона містить інформацію про масову частку організмів кожного трофічного рівня, з піраміди біомас по належності організму до того чи іншого трофічного рівня можна прогнозувати його продукцію.

Піраміда біомас аеротенка складається із двох основних частин: редуценти (основа піраміди) складають приблизно 95%, це переважно флокульовані та одиночні бактерії. Оскільки приріст їх біомаси завжди більший, ніж приріст біомаси консументів, основною продукцією такого біоценозу буде бактеріальна складова. Біомаса найпростіших - консументів, як правило, не перевищує 5%, отже їх внесок у процеси мінералізації нерозчинених органічних сполук та регуляції приросту продуцентів виявляється незначним. Окрім того, відомо, що найпростіші не здатні поглинати флокульовані бактерії через досить великі розміри останніх. Через мізерні масові частки грибів, водоростей та багатоклітинних безхребетних дані групи мікроорганізмів не вносяться в піраміду біомас аеротенка.

Найбільш численні в активному мулі найпростіші (*Protozoa*), що підтверджено проведеними дослідженнями. *Protozoa*, що зустрічаються в активному мулі, розділяються на наступні групи: *Rhizopoda*, *Flagellata*, *Ciliata*, *Suctorina*. Амеби та раковині корененіжки, *Rhizopoda*, характеризуються м'якою мінливою формою тіла з псевдоподіями, тіло оголене чи в будиночку. Найбільш розповсюджений в активному мулі клас війкових інфузорій (*Cilata*). Інфузорії мають постійну форму тіла і дуже складну будову, рухаються за допомогою війок (рис.1). *Cilata*, що зустрічаються в активному мулі, поділяються на три роди: *Holotricha* - рівновійкові, усе тіло покрите війками; *Spirotricha* - спиральновійкові, на тілі війки розташовані нерівномірно, існує

біля ротова спіраль війок. *Peritricha* - круговійкові, також мають біля ротову спіраль, але на тілі війок немає, прикріплені до субстрату за допомогою стеблинки. Інакше їх називають — прикріплені інфузорії — на відміну від інших вільно плаваючих. Рід рівновійкових поділяється на три підроди (*Gymnostomata*, *Trichostomata*, *Hymenostomata*), що розрізняються між собою будовою ротового апарату і, відповідно, способом прийняття їжі. *Gymnostomata* мають ротовий отвір, простий чи перехідний в глотку. Багато хто з них — хижаки. *Trichostomata* мають передротове поле і глотку, покриті війками. *Hymenostomata* відрізняється наявністю на краю ротової порожнини так званих ундулюючих мембран. Два останні підроди виконують роль осаджувачів харчових часток. Серед спіральновійкових в активному мулі найбільш розвинена група *Hypotricha* — брюховійкових. Характерною їхньою ознакою є розташовані на черевній стороні великі грубі вії (циррії) для пересування по субстрату.

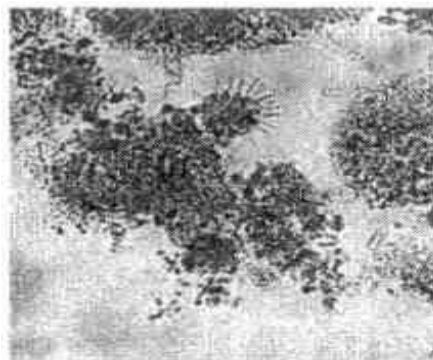


Рис. 1 Інфузорія *Podophrya*

Круговійкові *Peritricha* — самі типові представники організмів активного мулу. До них відносяться *Vorticella*, *Epistylis*, *Opercularia*, *Carchesium*, що зустрічаються поодинокі та групами. Зазвичай вони прикріплені стеблинками до часток мулу, але при нестачі кисню відриваються, утворюючи на задньому кінці друге кільце вій, ця форма називається тілотрох. *Suctorina*, чи сисні інфузорії, у дорослому стані позбавлені війок, ведуть сидячий спосіб життя, прикріплюючи до субстрату ніжкою. За способом харчування — ектопаразити. За допомогою довгих щупалець із присосками на кінцях висмоктують соки зі своєї жертви [4].

Джгутикові, *Flagellata* чи *Mastigophora*, розділяються на безбарвних і зафарбованих. Джгутикові з зеленим пофарбуванням відносяться до рослинних форм. Джгутикові мають тонку плазматичну оболонку, досить мінливу форму тіла з одним чи декількома джгутиками. Розмір джгутикових, зазвичай, не перевищує 40–50 мкм, зустрічаються як одиночні, так і колоніальні форми. З безбарвних джгутикових найчастіше зустрічаються представники роду *Oicomonas*, які мають один плавальний джгутик, а також роду *Bodo*, які мають два джгутики, один з яких плавальний, а другий - рульовий. Рульовий джгутик спрямований назад.

Крім того в активному мулі аеротенків багаточисельною групою мікроорганізмів є бактерії. Домінуючими в активному мулі вважаються капсульні бактерії *Zoogloea ramigera*. Це грамнегативні неспорові паличкоподібні монотрихи, здатні мінералізувати органічні сполуки та утворювати пластівці на рідкому поживному середовищі. Важливе значення має здатність цих бактерій до пластівцеутворення, оскільки саме це явище обумовлює осадження активного мулу та відділення його від очищеної води.

Окрім *Z. ramigera* властивість засвоювати органічні сполуки в стічних водах та утворювати пластівці мають також і інші бактерії, а саме: представники родів *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Escherichia* та інші. Здатність бактерій до пластівцеутворення залежить від характеру поживних речовин середовища.

Більшість бактерій, що приймають участь в процесі очищення, - гетеротрофи [5]. Це, зазвичай, представники водної флори, а також деякі мешканці шлунково-кишкового тракту людини та тварини, що надходять разом із фекальними стоками. До представників кишкових бактерій можна віднести бактерії родів *Achromobacterium*, *Chromobacterium* (*Flavobacterium*) та *Pseudomonas*. В пробах активного мулу було визначено, що їх наявність не є багаточисельною, оскільки температура, при якій проходив процес очищення стічної води більше відповідає вимогам водної мікрофлори, ніж кишкових бактерій.

Ще одним представником мікроорганізмів виявленим в активному мулі є нітрифікуючі бактерії роду *Mitrosocystis*, а також *Nitrosomonas sp.*, що дуже активно розвиваються в мулі після видалення легкозасвоюваних органічних забруднювачів.

В мікроскопічних пробах мулу були виявлені і коловертки *Rotatoria* (рис. 2) — багатоклітинні організми, мають потужну мускулатуру, їх легко відрізнити від найпростіших за сильними скороченнями тіла, вільними рухами, навіть якщо розміри іноді збігаються з найпростішими. На передньому головному кінці коловертки маєтся колоруховий війковий апарат, що служить для руху й уловлювання їжі. Коловертки роду *Philodina*, що часто зустрічаються в активному мулі, здатні втягувати голову усередину тулуба на зразок зорової труби. У передній третині тіла коловертки проглядається хитинизований жувальний апарат, що знаходиться в постійному ритмічному русі. Задня частина тулуба витягнута в ногу з хітиновими пальцями на кінці. У мулах з низьким навантаженням під час першої серії дослідів (ХСК на рівні 1000-1200 мг $O_2/дм^3$) зустрічались коловертки з зовнішнім твердим панциром.

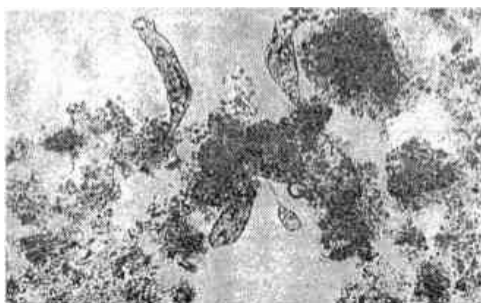


Рис. 2 Коловертка *Rotatoria*

В активному мулі були ізольовані також нитчасті організми. Наявність нитчастих форм пов'язано з явищем «вспухання» активного мулу. Головним чинником прийнято називати бактерії *Sphaerotilus natans*. Нитки *Sphaerotilus*, а також і інших організмів, негативно впливають на процес осадження активного мулу, але одночасно з цим мають високу окиснювальну здатність.

Ще одними представниками організмів активного мулу, які були визначені, були дріжджі та дріжджоподібні гриби, серед яких домінуючими є *Trichosporon cutaneum*, *Rhodotorula glutinis*, *R. mucilaginosa*, *Candida*

parapsilosis, *C. tropicalis*. Джерелами надходження в стічну воду цих організмів можна вважати повітря, ґрунти та побутові стоки. Зазвичай, цих представників мікроорганізмів не прийнято вважати учасниками процесу окиснення, але їх наявність в величезній кількості в дослідних пробах свідчило про те, що деякі з них використовують поживні речовини стічної води, сприяючи цим її очищенню.

Міцеліальні гриби, що були наявні в активному мулі та забруднених стічних водах, відносяться до родів *Cladosporium*, *Margarinomyces*, *Aureobasidium*, *Geotrichum* та *Trichoderma*. В значно меншій кількості зустрічалися *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Penicillium* тощо.

Черви (*Vermes*) в активному мулі зустрічаються двох типів: круглі і кільчасті [7]. До першого типу належать *Nematoda* з щільною кутикулою і загостреними кінцями тіла, до другого типу *Oligochaeta* — дрібні кільчасті черви рожевого кольору, на кожному членику тіла розташовані щетинки, на шкірі іноді просвічують жирові залози червонуватого кольору. Саме кільчасті черви були визначені в пробах активного мулу (рис. 3).

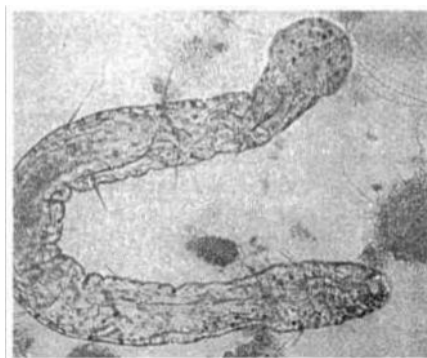


Рис. 3 Малощетинкові черви типу *Oligochaeta*

Висновки. За результатами мікроскопіювання проб активного мулу, який застосовувався для очищення стічних вод з показниками забруднення за ХСК на рівні 1000-1200 мг O_2 /дм³, зроблені наступні висновки: фауна біоценозу різноманітна, пластівці мулу помірного розміру, достатньо щільні, що забезпечує велику поверхню для сорбції забруднюючих речовин, в той же час пластівці мулу швидко осідають, вода над мулом прозора. Даний мул

відповідає характеристикам «задовільно працюючої» мікрофлори аеротенку (рис. 4).

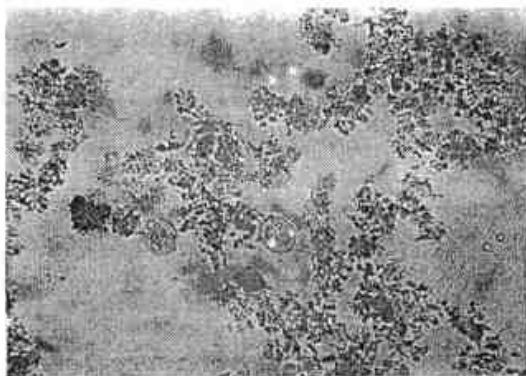


Рис. 4 Задовільно працюючий активний мул

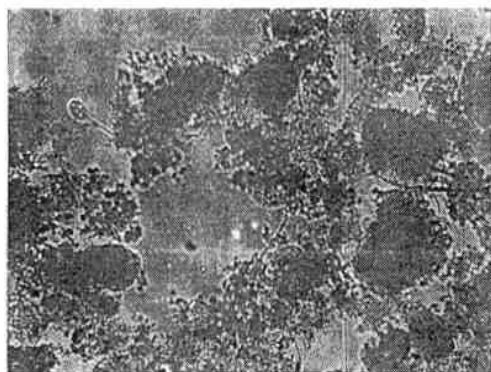


Рис. 5 Перевантажений активний мул

При дослідженні проб активного мулу з аеротенку, який здійснював очищення стічних вод з показниками забруднення за ХСК 1800-2000 мг $O_2/дм^3$, встановлено, що мул забруднений різноманітними включеннями, пластівці мулу темні, легко виносяться за межі вторинного відстійника, вода над мулом з опалесценцією тощо, видовий склад мулу збіднений при кількісному перевантаженні двох-трьох видів, що цілком відповідає характеристиці «перевантаженого активного мулу» (рис. 5).

Список використаних джерел:

1. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. Химия воды и микробиология. - М: Сройиздат, 1983. - 167 с.
2. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. - Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня». - 2002. - 622 с: іл.
3. Микробиология очистки воды. Ротмистров М.Н., Гвоздяк П.И., Ставская С.С. - К.: «Наук. думка», 1978. - 268 с.
4. Кутикова Л.А. Фауна аэротенков // Атлас. - Ленинград: Наука, 1984. - 264 с.
5. Романенко В.Д., Крот Ю.Т., Сиренко Л.А., Соломатина В.Д. Биотехнология культивирования гидробионтов. - К.: Институт гидробиологии ПАИ Украины, 1999. - 264 с.

6. *Вербина Н.М.* Гидромикробиология с основами микробиологии. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – С.288.
7. *Финогенова Н.П.* Класс малощетинковые черви *Oligochaeta* // Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР. - Ленинград, 1977.-С. 175-200.

Семёнова Е.И., Решетняк Л.Р., Ткаченко Т.Л., Бублиенко Н.А.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА АЭРОБНОГО АКТИВНОГО ИЛА

Проведено исследование качественного состава активного ила аэротенка при очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий с разной концентрацией загрязнений по ХПК от 1000 до 2000 мг О₂/дм³. Обоснована эффективность применения аэробной ферментации при очистке стоков путем подтверждения гидробиологического состава активного ила присущего нормально работающим очистным сооружениям.

Ключевые слова: СТОЧНЫЕ ВОДЫ, ГИДРОБИОНТЫ, АКТИВНЫЙ ИЛ, БАКТЕРИИ.

Semenova Olena, Reshetnyak Ludmila, Tkachenko Tetyana, Bublienko Nataliya

DESCRIPTION of HYDROBIOLOGICAL COMPOSITION of AEROBIC ACTIVE SILT

Research of high-quality composition of active silt of aerotank is conducted at cleaning of sewages of milk factory of different concentration of contaminations. Efficiency of application of aerobic fermentation is explains at cleaning of flows by confirmation of hydrobiological composition of active silt of inherent to the normally workings cleansing equipments.

Keywords: SEWAGES, AQUATIC LIVES, ACTIVE SILT, BACTERIA.