

УДК 574.632

## Мікробоценози стічних вод Львова на різних етапах очищення

К.В. Шоляк, С.О. Гнатуш, Т.Б. Перстятко, С.П. Гудзь

*Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна*

Досліджено мікробоценози стічних вод міста Львів на різних етапах очищення. Показано якісний та кількісний склад мікроорганізмів первинного та вторинного відстійників, аеротенка та активного мулу. Охарактеризовано закономірності поширення мікроорганізмів різних фізіологічних груп на різних етапах очищення. Встановлено співвідношення мікроорганізмів різних фізіологічних груп на певному етапі очищення стічних вод. У первинному відстійнику за чисельністю переважали нітрифікувальні ( $7,1 \times 10^6$  КУО), азотфіксувальні бактерії ( $9,0 \times 10^6$  КУО), а також гриби ( $3,4 \times 10^6$  КУО). В аеротенку чисельність мікроорганізмів зростала, однак їх видовий та відсотковий склад не змінювався. В активному мулі виявлено зростання відсотка мікроорганізмів, що використовують мінеральні форми нітрогену. Визначено відсотковий вміст хромрезистентних штампів серед представників різних фізіологічних груп. Ці мікроорганізми можуть бути перспективними для розробки біотехнологічних методів очищення стічних вод від сполук хрому, які є високотоксичними для живих організмів.

*Ключові слова:* стічні води; фізіологічні групи бактерій; хромрезистентні штами

## Microbiocenoses of Lviv sewage at various stages of purification

K.V. Sholiak, S.O. Hnatush, T.B. Perctyatko, S.P. Gudz

*Ivan Franko Lviv National University, Lviv, Ukraine*

The aim of this work was to investigate some physiological groups of microorganisms which are components of wastewater microbiocenoses. Microorganisms were grown in Petri dishes containing 20–30 ml agar selective medium and in 25 ml tubes at a temperature +30 °C. The selective media were: wort agar for microscopic fungi and yeasts, Hutcheson medium for the cellulose-destroying microorganisms, starch-ammonium medium for microorganisms that can utilize mineral nitrogen forms, Postgate B medium for sulfate-reducing bacteria, Vinogradsky medium for nitrifying bacteria, Ashby medium for the nitrogen-fixing bacteria, Chapak medium for the actinomycetes. 1 mM Cr(VI) (104 mg/l) in the form of  $K_2Cr_2O_7$  was added to the medium. The number of colonies was determined by the Koch method. We studied wastewater microbiocenoses of Lviv city at various stages of purification. We showed that the quantitative and qualitative composition of microorganisms differed significantly in primary and secondary clarifiers, the aerotank and sludge at different stages of sewage treatment. In the initial stages of purification, in the primary sump, bacteria that reached the treatment plant with sewage were found. Nitrifying bacteria ( $7.1 \times 10^6$  colony forming units (CFU)/ml), nitrogen-fixing bacteria ( $9.0 \times 10^6$  CFU/ml), and fungi ( $3.4 \times 10^6$  CFU/ml) dominated. The qualitative composition of microorganisms in primary clarifiers and the aerotank was similar, but their number in the aerotank was significantly higher than in the primary sump:  $1.5 \times 10^7$  CFU/ml of nitrifying bacteria,  $1.4 \times 10^7$  CFU/ml of nitrogen-fixing bacteria,  $6.7 \times 10^6$  CFU/ml of fungi. The ratio of different physiological groups of microorganisms in the active sludge changed significantly. The predominant microorganisms were those that assimilate mineral forms of nitrogen (65%), their number was  $1.6 \times 10^8$  CFU/ml. In the secondary clarifier, the largest group was cellulose-destroying microorganisms ( $6.0 \times 10^5$  CFU/ml). However, their numbers in the secondary sump were lower compared to their numbers in the aerotank and sludge ( $1.5\text{--}3.9 \times 10^6$  CFU/ml). Among the representatives of various physiological groups of bacteria a significant number of chromium-resistant strains was detected. The largest number of chromium-resistant strains was detected in the active sludge and aerotank, which is probably due to the recirculation of microorganisms in the wastewater treatment. The highest percentage of Cr(VI) resistant microorganisms was among sulphate-reducing bacteria. An increase in the percentage of chromium-resistant microorganisms occurred together with the lowering of the total number of microorganisms of a certain physiological group. These microorganisms could prove useful for the development of biotechnological methods wastewater treatment to eliminate chromium compounds, which are highly toxic to living organisms.

*Keywords:* sewage; physiological groups of microorganisms; chromium-resistant strains

## Вступ

У штучних екосистемах мікроорганізми активного мулу у процесі своєї життєдіяльності перетворюють органічні та неорганічні забруднення на прості та безпечні сполуки. Активний мул розглядають як угруповання про- та еукаріотичних організмів. Злагожене функціонування організмів забезпечує очищення стічних вод, що надходять на очисні споруди (Sharapova and Nicova, 2007). Екосистема будь-яких споруд біологічного очищення може працювати стабільно та ефективно тільки в тому випадку, якщо стоки містять постійний склад забруднювачів. Зазвичай активний мул стійкий до впливу ксенобіотиків, що надходять, оскільки біоценоз гідробіонтів формується залежно від наявності певних органічних речовин і організми адаптуються до конкретного складу стоків (Кагоза, 2008). Біоценоз активного мулу формується залежно від умов середовища: складу стічних вод, концентрації розчинного кисню, температури, *pH*, наявності токсинів, важких металів. Зміна хоча б одного фактора спричиняє зміни та перерозподіл чисельності окремих фізіологічних груп мікроорганізмів. Процес адаптації мікробних угруповань до нових субстратів складний і може тривати декілька місяців (Zhurmins'kaja, 2005). Кількісний вміст мікроорганізмів тієї чи іншої групи є чутливим тестом на присутність у воді забруднювальної речовини певної хімічної природи (Antipchuk and Kirejeva, 2005). Важлива роль у видаленні органічних забруднень, а також різних токсичних для більшості живих організмів речовин належить мікроорганізмам. Вони краще та швидше можуть пристосовуватися до несприятливих умов навколишнього середовища, порівняно із багатоклітинними еукаріотичними організмами. Тому при надходженні на очисні споруди стічних вод, що містять токсичні речовини, часто в аеротенках виявляються лише бактерії (Golub, 2011). Мікроорганізми мають різну чутливість до підвищеного вмісту іонів важких металів (*Cu*, *Cd*, *Ni*, *Pb*, *Zn*), що спричиняє зміни їх видового та кількісного складу (Korinova'ska and Grishko, 2011). Їх чисельність значно змінюється залежно від *pH*, вмісту сполук нітрогену та органічних речовин (Antipchuk and Kirejeva, 2005).

У більшості досліджень активного мулу увага акцентується на еукаріотичних організмах (Gal'perina, 2011; Sharapova and Nicova, 2007; Shved et al., 2012; Nenasheva and Korobov, 2009; Dallaeva, 2013), тоді як роль прокаріотичних залишається маловивченою.

Мета цієї роботи полягала у визначенні деяких фізіологічних груп мікроорганізмів, що входять до складу мікробіоценозу стічних вод, на різних етапах очищення.

## Матеріал і методи досліджень

Мікроорганізми вирощували у чашках Петрі, що містили 20–30 мл агаризованого селективного середовища та у пробірках об'ємом 25 мл у термостаті за температури +30 °С. Анаеробні умови забезпечували кип'ятінням та швидким охолодженням середовища культивування, що викликає зменшення у ньому розчинного кисню, а також додаванням аскорбінової кисло-

ти чи  $\text{Na}_2\text{S}$ . Пробірки повністю заповнювали середовищем і закривали гумовими корками. Чашки Петрі поміщали в генбокси з генераторами GENbox anaer для анаеробів. Анаеробні умови контролювали за допомогою індикатора анаеробних умов – режазурину (Oxoid, BR 0055B).

Кількість колоній визначали за допомогою методу Коха (Egorov, 1995). Кількість клітин в 1 мл досліджуваного субстрату визначали за формулою:

$$M = \frac{a \cdot 10^n}{V},$$

де  $M$  – кількість клітин в 1 мл,  $a$  – середня кількість колоній, що вирости,  $V$  – об'єм суспензії, взятий для посіву (мл),  $n$  – розведення (разів).

Для виділення та підрахунку чисельності мікроорганізмів різних фізіологічних груп використовували селективні середовища (Gerhardt, 1983; Antipchuk and Kirejeva, 2005): сусло-агар – для грибів (включаючи дріжджі); крохмально-аміачне середовище для мікроорганізмів, які асимілюють мінеральні форми нітрогену; Гетченсона для целюлозоруйнівальних мікроорганізмів; Виноградського для нітрифікувальних бактерій; Ешбі для азотфіксаторів; Чапека для актиноміцетів; Ваксмана для грибів; Постгейта В для сульфатвідновлювальних бактерій. Щільні середовища містили 2% агару. До середовищ вносили 1 мМ (104 мг/л)  $\text{Cr(VI)}$  у формі  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . Сусло-агар стерилізували в автоклаві за 0,5 атм. 30 хв, усі інші середовища – за 1 атм. 30 хв.

Результати наведені як середнє значення з поправкою на стандартну похибку.

## Результати та їх обговорення

Стічні води Львова підлягають очищенню на очисних спорудах традиційним методом штучного біологічного очищення за допомогою діяльності активного мулу в аеротенках (рис. 1).

Ця технологія запропонована ще у 1914 р. і з того часу принципово не змінилась, тоді як склад стічних вод доповнюється ксенобіотиками, поверхнево-активними речовинами та іонами важких металів (Oliferchuk, 2008). За технологією стічні води проходять декілька етапів очищення: решітки для вловлювання твердих відходів, пісковловлювачі, первинний відстійник, аеротенк, в який додається активний мул, вторинний відстійник для відділення води від активного мулу.

Для дослідження мікробіоценозів стічних вод відібрано проби води з різних етапів очищення стічних вод: із первинного відстійника, аеротенка, активного мулу, вторинного відстійника. Кількісний і якісний склад мікроорганізмів у стічних водах на різних етапах очищення істотно відрізняється, залежить, перш за все, від складу стоків. На початкових етапах очищення (у первинному відстійнику) виявлено мікроорганізми, які очевидно потрапили на очисні споруди разом зі стічними водами. За чисельністю тут переважали нітрифікувальні ( $7,1 \times 10^6$  КУО/мл), азотфіксувальні бактерії ( $9,0 \times 10^6$  КУО/мл), а також гриби ( $3,4 \times 10^6$  КУО/мл) (рис. 2 а).

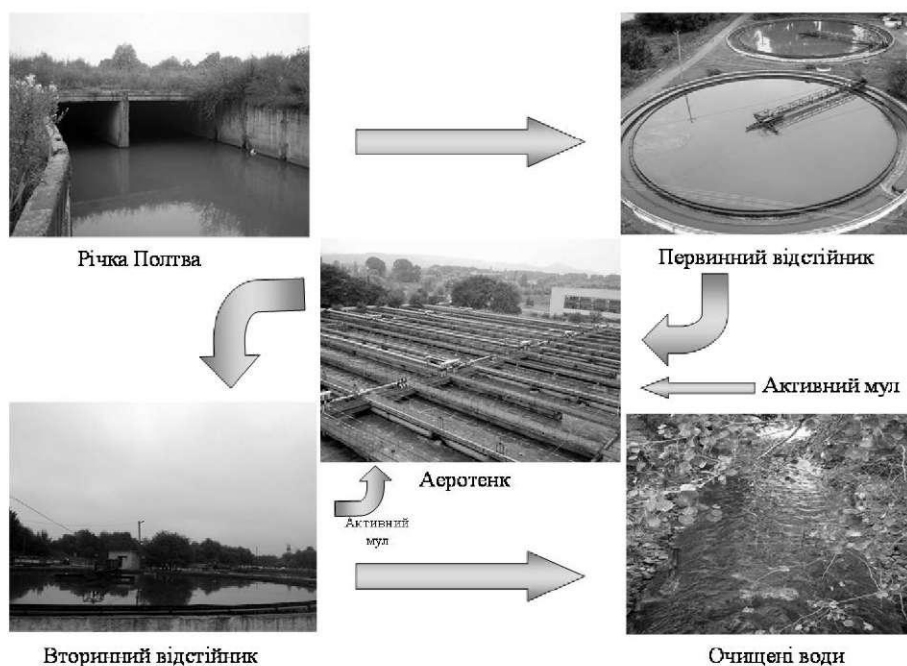


Рис. 1. Схема очищення стічних вод (м. Львів)

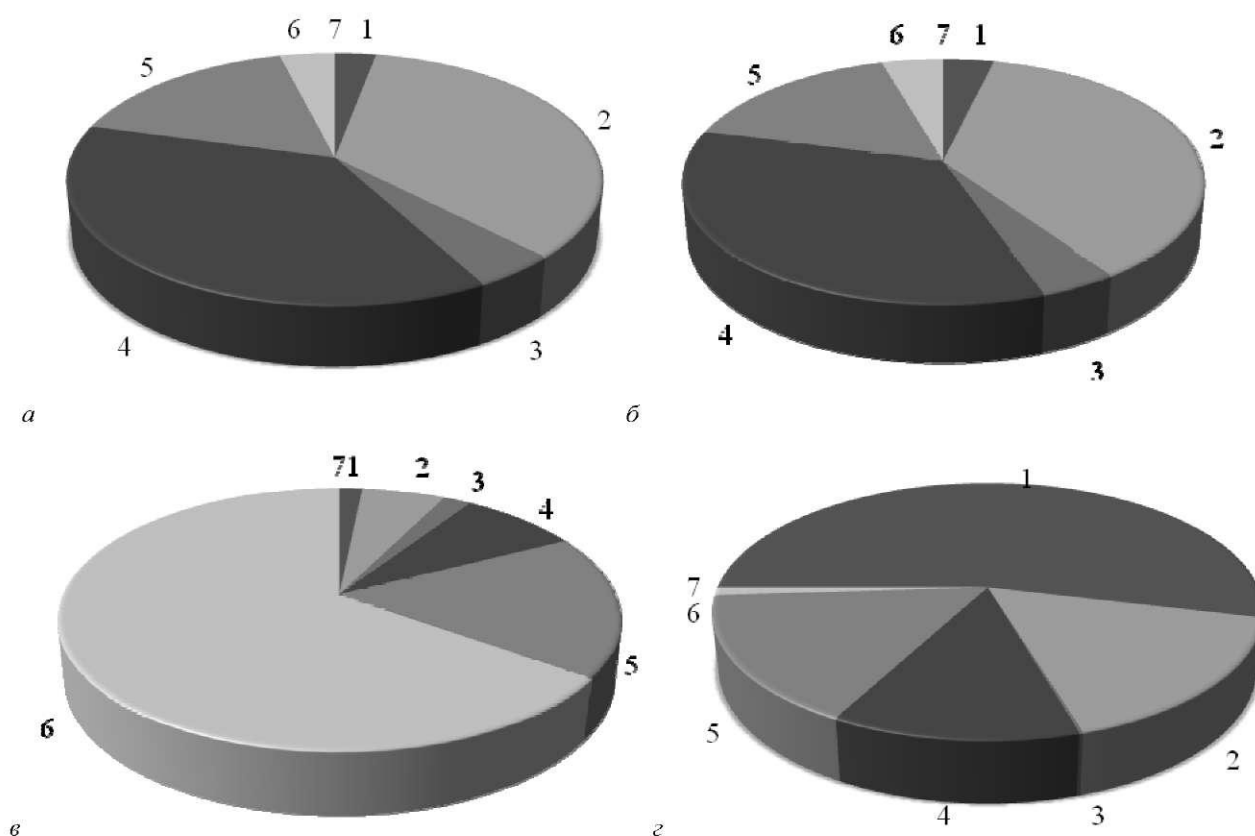


Рис. 2. Співвідношення мікроорганізмів різних фізіологічних груп у первинному відстійнику (а), аеротенку (б), активному мулі (в), вторинному відстійнику (г): 1 – целюлозоруйнівні бактерії, 2 – нітрифікувальні бактерії, 3 – актиноміцети, 4 – азотфіксувальні мікроорганізми, 5 – гриби, включаючи дріжджі, 6 – мікроорганізми, що використовують мінеральні форми нітрогену, 7 – сульфатвідновлювальні бактерії

В аеротенку чисельність аеробних мікроорганізмів зростала на порядок, порівняно з кількістю мікроорганізмів у первинному відстійнику, однак їх видовий та відсотковий склад не змінювався (рис. 2 б). Це зумовлено внесенням активного мулу та наявністю достатньої кіль-

кості органічних сполук у стічних водах. Серед мікроорганізмів значний відсоток складали нітрифікувальні ( $1,5 \times 10^7$  КУО/мл) та азотфіксувальні бактерії ( $1,4 \times 10^7$  КУО/мл), а також гриби ( $6,7 \times 10^6$  КУО/мл).

Порівняно з аеротенком і первинним відстійником (4%), в активному мулі виявлено зростання відсотка мікроорганізмів, що використовують мінеральні форми нітрогену (65%). Їх кількість становила  $1,6 \times 10^8$  КУО/мл. На фоні зростання загальної кількості мікроорганізмів спостерігали зниження відсотка нітрифікувальних бактерій, хоча їх кількість залишалась такою самою, як в аеротенку ( $1,4 \times 10^7$  КУО/мл). З іншого боку, відсоток грибів (включаючи дріжджі) не змінювався порівняно з аеротенком і первинним відстійником, однак їх кількість зростала до  $4,1 \times 10^7$  КУО/мл (рис. 2 в).

Аналіз мікроорганізмів активного мулу очисних споруд Львова проводили також Швед та співавтори. Вони показали, що серед гідробіонтів активного мулу є значна кількість найпростіших організмів типу Ciliophora, а також велика кількість нітрифікувальних бактерій родів *Nitrosomonas* та *Nitrosobacter* (Shved et al, 2012). За нашими даними, кількість нітрифікувальних бактерій в активному мулі складала лише 6%.

Суміш активного мулу та очищених стоків потрапляє у вторинний відстійник, де відбувається відділення очищеної води від активного мулу за рахунок його осідання на дно відстійника. На цьому етапі очищення кількість мікроорганізмів зменшується порівняно із первинним відстійником чи аеротенком, про що свідчать отримані нами результати (рис. 2 г). Серед мікроорганізмів різних фізіологічних груп переважали целюлозоруйнівні мікроорганізми ( $6,0 \times 10^5$  КУО/мл).

Однак їх кількість у вторинному відстійнику знижувалась порівняно із кількістю в аеротенку та активному мулі ( $1,5-3,9 \times 10^6$  КУО/мл). Кількість мікроскопічних грибів становила  $1,8 \times 10^5$  КУО/мл, що складало 17% загальної кількості досліджуваних мікроорганізмів.

Целюлозоруйнівні мікроорганізми є однією із найважливіших груп мікроорганізмів, що беруть участь у кругообігу карбону у водоймах. Ці мікроорганізми переробляють органічну речовину, що накопичується в риболовних ставках та інших водоймах при відмиранні рослин, і відіграють важливу роль у живленні донних тварин (Antipchuk and Kirejeva, 2005).

Установлено, що мікроорганізми можуть не лише адаптуватись до дії різних речовин, а і використовувати їх як донори чи акцептори електронів. Визначено кількість мікроорганізмів різних фізіологічних груп, стійких до іонів шестивалентного хрому. Найбільша кількість хром-резистентних мікроорганізмів на всіх етапах очищення стічних вод виявлена серед целюлозоруйнівних бактерій та дріжджів (табл. 1).

Найбільшу кількість хромрезистентних штамів мікроорганізмів виявлено в активному мулі та аеротенку, що, імовірно, зумовлено рециркуляцією мікроорганізмів у процесі очищення стічних вод і виникненням у них певних механізмів стійкості до різного типу забруднювачів (у тому числі іонів важких металів). Найвищий відсоток стійких до Cr штамів мікроорганізмів виявлено серед сульфатвідновлювальних бактерій (табл. 2).

Таблиця 1

Кількість хромрезистентних мікроорганізмів (КУО/мл) на різних етапах очищення стічних вод

Групи мікроорганізмів	Етапи очищення стічних вод			
	первинний відстійник	аеротенк	активний мул	вторинний відстійник
Дріжджі	$(1,60 \pm 0,08) \times 10^2$	$(6,00 \pm 0,24) \times 10^3$	$(1,10 \pm 0,12) \times 10^5$	$(1,00 \pm 0,01) \times 10$
Целюлозоруйнівні	$(3,10 \pm 0,15) \times 10^1$	$(3,40 \pm 0,44) \times 10^5$	$(1,10 \pm 0,06) \times 10^6$	$(3,40 \pm 0,79) \times 10^2$
Нітрифікувальні	$(10,00 \pm 1,01) \times 10^2$	$(6,70 \pm 0,28) \times 10^2$	$(5,50 \pm 0,59) \times 10^2$	$(0,30 \pm 0,02) \times 10^2$
Актиноміцети	$(0,30 \pm 0,05) \times 10$	$(0,20 \pm 0,01) \times 10^2$	$(1,20 \pm 0,09) \times 10^2$	$(0,10 \pm 0,01) \times 10^2$
Азотфіксувальні	$(4,60 \pm 0,15) \times 10^2$	$(5,60 \pm 0,71) \times 10^2$	$(9,30 \pm 2,01) \times 10^2$	$(1,00 \pm 0,09) \times 10^2$
Гриби	$(2,00 \pm 0,15) \times 10$	$(5,00 \pm 0,34) \times 10^2$	$(9,90 \pm 0,52) \times 10^2$	$(0,60 \pm 0,05) \times 10$
Мікроорганізми, що асимілюють мінеральні форми нітрогену	$(5,00 \pm 0,81) \times 10$	$(2,10 \pm 0,15) \times 10^2$	$(9,80 \pm 1,51) \times 10^2$	$(1,00 \pm 0,05) \times 10$
Сульфатвідновлювальні	$(0,60 \pm 0,05) \times 10$	$(1,00 \pm 0,01) \times 10^2$	$(9,60 \pm 0,62) \times 10$	$(0,10 \pm 0,02) \times 10$

Таблиця 2

Відсотковий вміст хромрезистентних мікроорганізмів різних фізіологічних груп

Групи мікроорганізмів	Відсоток резистентних до хрому (VI) мікроорганізмів			
	первинний відстійник	аеротенк	активний мул	вторинний відстійник
Дріжджі	0,4	1,6	6,3	0,2
Целюлозоруйнівні мікроорганізми	5,1	20,0	28,0	3,7
Нітрифікувальні бактерії	0	0,0043	0,0033	0
Актиноміцети	0	0,0017	0,0025	0
Азотфіксувальні бактерії	0	0,0040	0,0046	0
Гриби	0	0,0070	0,0024	0
Мікроорганізми, що асимілюють мінеральні форми нітрогену	0,0063	0,0100	0,0006	0,0090
Сульфатвідновлювальні бактерії	1	25	100	100

Зростання відсотка хромрезистентних мікроорганізмів відбувається на фоні зниження загальної кількості мікроорганізмів певної фізіологічної групи. Це можна пояснити тим, що підвищена концентрація іонів  $Cr_2O_7^{2-}$

призводить до загибелі чутливих до цього металу мікроорганізмів, тоді як резистентні мікроорганізми залишаються життєздатними. Кількість мікроорганізмів цієї фізіологічної групи на всіх етапах очищення була досить

низькою. Очевидно, це зумовлено несприятливими для досліджуваної групи аеробними умовами. Однак майже всі виділені штами виявляти стійкість до іонів хрому (VI).

Присутність сульфатвідновлювальних бактерій в аеротенку свідчить про наявність у цих мікроорганізмів адаптаційних механізмів захисту від впливу кисню. Аеротолерантність бактерій зумовлена наявністю ферментів антиоксидантної системи, хеморецепторами на  $O_2$ . Крім класичних супероксиддисмутази та каталази, які містять деякі сульфатвідновлювальні бактерії, в їх клітинах виявлено негемові ферумумісні білки: рубреритрин, рубредоксин, десульфоферодоксин, несларедоксин (Brioukhanov, 2008; Brioukhanov et al., 2010). Деякі сульфатвідновлювальні бактерії утворюють скупчення клітин (флоки), що сприяє аеротолерантності. Рухливі види характеризуються негативним аеротаксисом і мігрують до анаеробних зон. Здатність до позитивного аеротаксису відіграє важливу екологічну роль у зонах переходу від аеробних до анаеробних умов, створюючи там оптимальний окисно-відновний потенціал для росту облигатних анаеробів (Brioukhanov and Netrusov, 2007).

### Висновки

Кількісний і якісний склад мікроорганізмів різних фізіологічних груп на різних етапах очищення стічних вод суттєво відрізняється. Співвідношення мікроорганізмів у первинному відстійнику та аеротенку за якісним складом подібні, однак їх кількість в аеротенку на порядок вища, ніж у первинному відстійнику. В активному мулі співвідношення фізіологічних груп мікроорганізмів суттєво змінюється. Переважають мікроорганізми, що засвоюють мінеральні форми нітрогену. У вторинному відстійнику найбільшу кількість становлять целюлозоруйнівні бактерії. Серед представників різних фізіологічних груп бактерій виявлено значну кількість хромрезистентних штамів. Найвищий відсоток стійких до Cr (VI) мікроорганізмів серед сульфатвідновлювальних бактерій. Ці мікроорганізми можуть бути перспективними для розробки біотехнологічних методів очищення стічних вод від сполук хрому, високотоксичних для живих організмів.

### Бібліографічні посилання

Antipchuk, A.F., Kirejeva, I.J., 2005. Vodna mikrobiologija [Aquatic microbiology]. Kondor, Kyiv (in Ukrainian).  
Brioukhanov, A.L., 2008. Negemovye zhelezosoderzhashhie belki kak al'ternativnaja sistema antiokislitel'noj zashhity v kletkah strogo anaerobnyh mikroorganizmov [Non-heme iron proteins as an alternative antioxidant defense system in cells strictly anaerobic microorganisms]. Prikladnaja biokhimiya i Mikrobiologija 44(4), 373–386 (in Russian).  
Brioukhanov, A.L., Netrusov, A.I., 2007. Aerotolerantnost' strogo anaerobnyh mikroorganizmov: Faktory zashhity ot oksislitel'nogo stressa [Aerotolerant in strictly anaerobic microorganisms: Protective factors against oxidative stress]. Prikladnaja Biokhimiya i Mikrobiologija 43(6), 635–652 (in Russian).  
Brioukhanov, A., Piculle, L., Dolla, A., 2010. Antioxidative defense systems of anaerobic sulfate-reducing microorganisms. Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology 149–159.

Dallaeva, D.S., 2013. Osobennosti mikroorganizmov aktivnogo ila [Features of microorganisms of activated sludge]. Global'nyj Nauchnyj Potencial 5(26), 7–9 (in Russian).  
Igorov, N.S., 1995. Rukovodstvo po prakticheskim zanjatijam po mikrobiologii [Guide to almost classes in microbiology]. MGU, Moscow.  
Gal'perina, A.R., 2011. Aborigennye mikroorganizmy zamazuchennyh stochnyh vod kak osnova ekologicheskikh biotekhnologij [Aboriginal microorganisms of oil polluted waste water as a basis for ecological biotechnology]. Izvestija Samarskogo Nauchnogo Centra Rossijskoj Akademii Nauk 13(5/3), 132–135 (in Russian).  
Gerhardt, F., 1983. Metody obshhej bakteriologii [Methods for general bacteriology]. Mir, Moscow (in Russian).  
Golub, N.M., 2011. Vlijanie veshhestv-zagriznitatelej, sodержashhihsja v stochnyh vodah, na zhiznedejatel'nost' aktivnogo ila [Influence of substances pollutants contained in wastewater on the life of the activated sludge]. Vestnik Brjescckaga Universitjeta Seryja 5 Himija Bijalogija Navuki ab Zjamli 1, 14–19 (in Russian).  
Karoza, S.J., 2008. Vlijanie ksenobiotikov stochnyh vod na sostojanie aktivnogo ila ochistnyh sooruzhenij [Influence of xenobiotics on the state of sewage activated sludge treatment facilities]. Materialy III Mezhdunar. nauch. konf. "Ksenobiotiki i zhivye sistemy" [Proc. of the III Int. scientific. conf. "Xenobiotics and Living Systems"]. Minsk, 52–54 (in Russian).  
Korinova, O.M., Grishko, V.M., 2011. Chutlivity mikromicetiv do vazhkih metaliv [Micromycetes sensitivity to heavy metals]. Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Med. 2(2), 49–55 (in Ukrainian).  
Nenasheva, M.N., Korobov, V.J., 2009. Izuchenie vidovogo raznoobrazija gidrobiontov zakrytoj ekosistemy pri bess-tochnoj sisteme vodosnabzhenija iskusstvennogo vodoema dlja razvedenija ryby [The study of species diversity in aquatic ecosystems closed undrained water supply system of an artificial pond for fish farming]. Vestnik OGU 6, 275–277 (in Russian).  
Olikerchuk, V.P., Gurla, U.R., Senjuk, A.I., Hodzins'ka, O.R., 2008. Zastosuvannja mikromicetiv dlja ochishhennja stichnyh vod za dopomogoju biokonvejera [Application of micromycetes for wastewater treatment using bioconveyer]. Naukovij Visnik NLTU Ukraїni 8(3), 22–29 (in Ukrainian).  
Sharapova, I.V., Hicova, L.N., 2007. O strukture i funkcional'nom znachenii protozojnogo kompleksa aktivnogo ila aerotekov ochistnyh sooruzhenij malogo goroda [The structure and functional significance of protozoan complex activated sludge treatment facilities aerotekov of small city]. Vestnik VGU: Khimiya, Biologija, Farmacija 2, 123–128 (in Russian).  
Shved, O.M., Vydryns'ka, O.K., Chervcova, V.G., Gubrij, Z.V., Novikov, V.P., 2012. Novi pidhody do biologichnogo ochyshhennja stichnyh vod mista L'vova [New approaches to biological wastewater treatment in L'viv]. Visnyk Nacional'nogo Universytetu "L'vivs'ka Politehnika" 726, 145–152 (in Ukrainian).  
Zhurmins'kaja, O.V., 2005. Vlijanie koncentrirovannyh stokov na sostojanie aktivnogo ila sooruzhenij biologicheskoi ochistki stochnyh vod [Influence of concentrated industrial discharges on the state of active cludge in the Process of biological wastewater treatment]. Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii "Geoekologicheskie i bioekologicheskie problemy severnogo prichomomor'ja" [Proc. of the Int. conf. "Geoeological and bioecological problems of the North black sea coast"]. Tiraspol, 25–28.

Надійшла до редакції 02.12.2013