

ЕКОЛОГО-ТРОФІЧНІ ГРУПИ МІКРООРГАНІЗМІВ ВОДИ ОЗЕРА ЯВОРІВСЬКЕ

О. Тарабас¹, О. Мороз¹, С. Гнатуш¹, Г. Яворська¹, Г. Звір¹, М. Ковальчук²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна

²ТЗОВ “Інститут Гірхімпром” Академії гірничих наук України
вул. Стрийська, 98, Львів 79026, Україна
e-mail: otarabas@gmail.com

Досліджено хімічний склад води озера Яворівське восени 2016 р. на різних глибинах (0–70 м) та вивчено основні еколого-трофічні групи мікроорганізмів, які беруть участь у трансформуванні сполук карбону, нітрогену та сульфуру. Кислотність, мінералізація та вміст Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- і NO_3^- на всіх глибинах озера, K^+ , P_2O_5 та NH_4^+ на глибинах до 20–50 м виявилися незначними і не перевищували гранично допустимих концентрацій (ГДК). На всіх глибинах вміст SO_4^{2-} (913–1530 мг/л) і на глибинах понад 30 м вміст H_2S (30–34 мг/л) значно перевищували ГДК. Встановлено, що зміна чисельності різних еколого-трофічних груп мікроорганізмів та їхнє співвідношення у воді озера, порівняно з водоймою джерельного типу заповідника Розточчя, є адаптивною відповіддю мікробного угруповання на несприятливі фактори довкілля. Загальна кількість усіх еколого-трофічних груп мікроорганізмів у воді озера Яворівське з глибиною зменшується від $5,24 \times 10^6$ до $2,45 \times 10^6$ КУО/мл води і є у 2–5 разів нижчою, ніж у контролі: $1,28 \times 10^7$ КУО/мл води. У озері Яворівське відбувається формування нового мікробоценозу, в якому на поверхні води і на глибині 30 м найбільш численними еколого-трофічними групами є нейтрофільні безбарвні сіркоокиснювальні бактерії (39,3 і 13,3 %), мікроорганізми, які використовують органічні форми нітрогену (21,6 і 42,9 %), нітрифікувальні (7,3 і 9,4 % I фази та 13,5 і 4,9 % II фази нітрифікації), денітрифікувальні (7,1 і 11,3 %), олігонітрофільні бактерії (4,4 і 5,1 %), мікроорганізми, що використовують мінеральні форми нітрогену (5,8 і 1,4 % відповідно), та фототрофні несіркові бактерії (4,9 % на глибині 30 м). Сульфат- і сірководновідновлювальні (42,9 і 44,9 %), фототрофні сіркові (2,7 і 4,5 %) і несіркові бактерії (4,4 і 3,7 % відповідно) є найбільш численними еколого-трофічними групами мікроорганізмів на глибинах 50 і 70 м озера. Кількість ацидофільних безбарвних сіркоокиснювальних бактерій, ціанобактерій, целюлозоруйнувальних мікроорганізмів і мікроскопічних грибів на усіх глибинах була незначною. У контролі найбільш численними еколого-трофічними групами є мікроорганізми, які використовують органічні форми нітрогену (28,3 %), олігонітрофільні (25,6 %), нітрифікувальні (23,5 % II фази і 15,7 % I фази нітрифікації), нейтрофільні безбарвні сіркоокиснювальні бактерії (3,0 %), мікроскопічні гриби (1,9 %). Їхня кількість, окрім нейтрофільних безбарвних сіркоокиснювальних бактерій, є значно вищою, ніж у воді озера Яворівське.

Ключові слова: еколого-трофічні групи мікроорганізмів, гідроген сульфід, озеро Яворівське

Яворівське державне гірничо-хімічне підприємство “Сірка”, площею 74 км², у 1993 р. припинило промислову діяльність. Відкритий спосіб видобутку сірчаної руди у 70-ті роки ХХ ст. спричинив утворення одного із найбільших у світі кар’єру площею 1080 га. З 1998 р. значна територія родовища, а власне центральний зумпф і прилеглі рукави кар’єру,

затоплювалися водою. У результаті утворилося озеро Яворівське, площею понад 700 га та глибиною понад 90 м [2, 3, 5].

Унаслідок видобутку сірки відкритим способом компоненти природного еволюційно сформованого біогеоценозу зруйнувалися. Утворився техногенний ландшафт, рекультивация якого супроводжувалася формуванням якісно нових біогеоценозів, зокрема, мікробіоценозів. Їхні компоненти постійно вступають у тісну взаємодію між собою і з породою, винесеною на поверхню з недоступної раніше глибини. Формуються нові гідрогеологічні та гідрологічні умови, нові угруповання мікроорганізмів, яким немає аналогів у природі [2, 8, 22].

Мікроорганізми, завдяки великій поверхні контакту зі середовищем і ефективним процесам регулювання метаболізму, краще за інші живі організми адаптуються до впливу шкідливих чинників середовища, заселяючи водойми з несприятливими умовами. Вони активно трансформують різні речовини, забезпечуючи розвиток рослинних і тваринних організмів [20]. Зміни кількісного і функціонального складу мікробіоценозів є комплексним сигналом екологічних змін [9, 10, 14, 16, 17]. Саме тому мікробіологічний контроль основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів техногенно сформованого озера Яворівське, їхніх взаємозв'язків є надзвичайно актуальним.

Вивчення розвитку і життєдіяльності мікробіоти озера Яворівське здійснюється нами з 2001 р. з урахуванням вертикальної зональності хімічного складу води. Найбільша увага приділяється дослідженню розповсюдження у затопленому сірчаному кар'єрі, водоносний комплекс якого містить великі кількості розчиненого H_2S , бактерій циклу сульфуру. Метаболічні процеси, які здійснюють ці мікроорганізми, є суттєвим фактором оцінки екологічного стану води трансформованого біоценозу [2, 5, 13]. Метою нашої роботи було дослідити хімічний склад води озера Яворівське на різних глибинах та основні еколого-трофічні групи мікроорганізмів, які беруть участь у кругообігу карбону, нітрогену та сульфуру, для оцінки екологічного стану водойми, що допоможе науково обґрунтувати оптимальний комплекс заходів із її ремедіації.

Матеріали та методи

Відбір проб води з різних глибин озера (0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 м) проводили за допомогою батометра. Для здійснення фонових мікробіологічних моніторингу використали екосистему водойми джерельного типу заповідника Розточчя, яка не зазнала прямого антропогенного впливу. Контрольну пробу води відбирали з глибини 2 м придонного шару.

Концентрації Ca^{2+} та Mg^{2+} визначали титриметрично за реакцією з трилоном Б; Na^+ та K^+ аналізували за методом полум'яно-емісійної спектрометрії ($\lambda_K=768$ нм, $\lambda_{Na}=589$ нм; СФ Flahho-4 Carl Zeiss, Jena); H_2S+HS^- – спектрофотометрично за утворенням метиленої сині ($\lambda=665$ нм; СФ-46); рН води – потенціометрично (рН-метр 150 М). Концентрації HCO_3^- і Cl^- визначали титриметрично за реакціями з HCl (10 %) і $AgNO_3$ відповідно. Концентрацію SO_4^{2-} визначали турбідиметричним методом ($\lambda=520$ нм; КФК-301) за утворенням барій сульфату після осадження їх барій хлоридом. Концентрацію P_2O_5 визначали фотоколориметрично ($\lambda=440$ нм; КФК-301) за реакцією з амоній молібденовокислим, ванадій молібденовокислим і HNO_3 (1:2). Концентрацію NO_3^- визначали фотоколориметрично ($\lambda=400$ нм; КФК-301) після випарювання зі саліциловою кислотою та додавання розчину на основі натрій гідроксиду і сегнетової солі. Концентрацію NH_4^+ визначали колориметричним методом ($\lambda=400$ нм; КФК-301) за реакцією зі сегнетовою сіллю (50 %) та реактивом Несслера [6, 12, 23].

Мікроорганізми, які використовують органічні форми нітрогену (сапрофіти, у тому числі амоніфікатори), виявляли на м'ясо-пептонному агарі (МПА) та бульйоні (МПБ); мікроскопічні гриби, у тому числі дріжджі – на сусло-агарі (СА); олігонітрофіли – на середовищі Ешбі; актинобактерії – на середовищі Гінсбурга; мікроорганізми, які використовують мінеральні форми нітрогену, – на крохмально-аміачному агарі (КАА) та середовищі Чапека; нітрифікувальні бактерії (I і II фази нітрифікації) – на відповідних середовищах Виноградського; денітрифікувальні бактерії – на середовищах Гільтая і Баалсруда; целюлозоруйнівальні аеробні бактерії – на середовищі Гетченсона із фільтрувальним папером; фототрофні несіркові бактерії – на середовищі АТСС № 1449 (з або без $\text{Na}_2\text{S}\times 9\text{H}_2\text{O}$); ціанобактерії – на суміші Кнопа; сульфат- і сірководновлювальні бактерії – на середовищі Кравцова-Сорокіна зі сульфатами або елементною сіркою відповідно; безбарвні сіркоокиснювальні бактерії: нейтрофільні – на середовищі Бейеринка, ацидофільні – на середовищі Ваксмана; фототрофні сіркові бактерії – на середовищі Ван Ніля; автохтонну мікробіоту – на агаризованій воді з озера (агар 2,5 %) [6].

Мікроорганізми вирощували у пробірках об'ємом 25 мл (зі середовищами МПБ, Виноградського, Гільтая, АТСС № 1449, Кнопа, Кравцова-Сорокіна чи ван Ніля) або на чашках Петрі (зі середовищами МПА, сусло-агар, Ешбі, Гінсбурга, КАА, Чапека, Баалсруда, Гетченсона, агаризованою водою з озера (на поверхні й у товщі агару), Бейеринка, Ваксмана) за температури 25–30 °С, упродовж 10–15 діб. Фототрофні (несіркові й сіркові) бактерії та ціанобактерії виділяли після культивування на світлі (інтенсивністю 40–300 лк, видима ділянка спектра (360–870 нм)), розвиток цих мікроорганізмів спостерігали за наявністю бурих, пурпурових, зелених або синьо-зелених пігментів [6].

Підрахунок кількості колонієутворювальних одиниць (КУО) мікроорганізмів у 1 мл води на щільних середовищах здійснювали безпосередньо на чашках, враховуючи розведення, у рідких середовищах – методом граничних розведень, враховуючи розведення, за таблицею Мак-Креді [6, 21].

Отримані результати опрацьовували статистично з використанням програми Microsoft Excel 2010. Досліди повторювали тричі з двома паралельними постановками для кожного варіанта експериментальних і контрольних умов. Для оцінки достовірності різниці між статистичними характеристиками двох альтернативних сукупностей даних обчислювали коефіцієнт Стьюдента t . Достовірною вважалася різниця при рівні значимості $p \leq 0,05$ [11].

Результати і їхнє обговорення

У воді озера Яворівське безперервно відбуваються складні взаємоперетворення органічних і мінеральних речовин, причому мікроорганізми забезпечують циклічність і збалансованість кругообігу основних хімічних елементів, енергетичний взаємозв'язок процесів, які відбуваються у різних екологічних зонах. Шари водної товщі відрізняються за фізико-хімічними властивостями, містять неоднакову кількість поживних речовин і є складною динамічною системою [15, 18]. Від фізико-хімічних властивостей води (температури, рН, мінералізації) залежить токсичність багатьох розчинених у ній неорганічних речовин, які згубно діють на мікроорганізми [1, 4].

Оскільки влітку та на початку осені кількість мікроорганізмів у водоймах є найвищою [1, 2, 5, 13], проводили хімічний аналіз проб води озера, відібраних восени 2016 р. з різних глибин (табл. 1). Кислотність води на всіх глибинах була слабколужною (рН від 6,6 до 7,8), що є в межах норми. Загальна твердість води або мінералізація, яка характеризується сумарним числом мг-еквівалентів йонів Ca^{2+} та Mg^{2+} у 1 л води, була невисокою: від 1404 на поверхні до 2678 мг-екв/л на дні, порівняно з гранично допустимою концентраці-

єю (ГДК) <7000, а отже, досліджувана вода за цим показником є придатною як середовище існування для живих організмів. Вміст йонів калію на усіх глибинах перевищував ГДК, зокрема, на глибинах понад 20 м – більш ніж удвічі. Концентрації йонів натрію, кальцію та магнію були на всіх глибинах незначними і не перевищували ГДК. Вміст HCO_3^- , Cl^- та NO_3^- теж виявився у межах норми, хоча кількість гідрокарбонатів на глибині 50 м і нижче була майже рівною або незначно вищою від ГДК. Концентрації P_2O_5 та NH_4^+ перевищували ГДК лише на глибинах понад 40–50 м. На відміну від інших сполук, ситуація з вмістом сульфатів і гідроген сульфід у воді озера виявилася критичною. На всіх глибинах концентрація SO_4^{2-} виявилася приблизно у 4–6 разів вищою, ніж ГДК, і коливалась у межах 913 на поверхні до 1530 мг/л на дні. Якщо з 2001 року по 2007 рік концентрація сульфатів у воді кар'єру (придонних шарах) зросла більш ніж удвічі: від 784 до 1725 мг/л [2, 13], то у 2016 р. їхній вміст незначно зменшився. Як і у попередні роки, гідроген сульфід до глибини 20 м не виявлено, але вже на глибинах 30 м і нижче його концентрація у 138–170 разів перевищувала ГДК. З роками вміст H_2S у придонних шарах поступово зменшився: від 121 мг/л у 2001 р. [2] і 47 мг/л у 2007 р. [13] до 30–34 мг/л у 2016 р. Оскільки гідроген сульфід є надзвичайно токсичним для живих організмів, він пригнічує у них дихальні процеси, пошкоджує структуру білків, нуклеїнових кислот та інших молекул [4, 24], його наявність за високих концентрацій у воді впливає на чисельність еколого-трофічних груп мікроорганізмів і функціонування мікробіоценозу озера загалом.

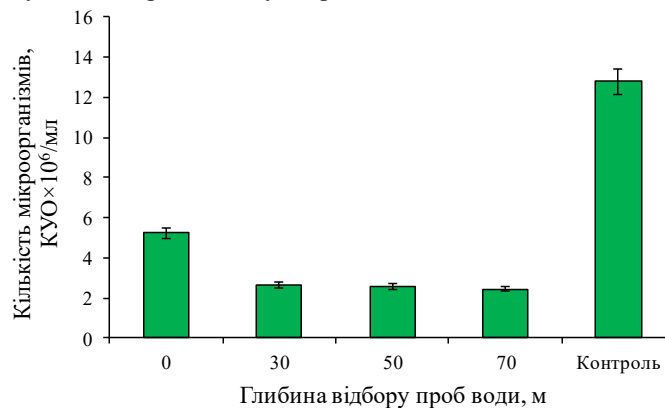


Рис. 1. Чисельність автохтонної мікробіоти у воді озера Яворівське, відібраній восени 2016 р. з різних глибин. Контроль – проба води, відібрана з придонного шару водойми джерельного типу заповідника Розточчя. * – $p < 0,05$

Через забруднення токсичними сполуками сульфуру, зменшення вмісту кисню, зниження температури та інші фізико-хімічні властивості загальна кількість усіх еколого-трофічних груп мікроорганізмів або автохтонної мікробіоти у воді озера Яворівське, відібраній в осінній період, з глибиною зменшувалася від $5,24 \times 10^6$ до $2,45 \times 10^6$ КУО/мл води і виявилася у 2–5 разів нижчою, ніж у воді, відібраній у цей же час із придонного шару водойми джерельного типу заповідника Розточчя: $1,28 \times 10^7$ КУО/мл води (рис. 1).

Аналіз чисельності еколого-трофічних груп мікроорганізмів води озера Яворівське та їхнього співвідношення показав, що найчисленнішою еколого-трофічною групою у поверхневому шарі води є аеробні нейтрофільні безбарвні сіркоокиснювальні бактерії (39,3 %), де їх титр становить $2,06 \times 10^6$ КУО/мл води (табл. 2, рис. 2). З глибиною кількість цих бактерій різко зменшувалася: від $3,54 \times 10^5$ КУО/мл води на глибині 30 м (13,3 %) до $2,63 \times 10^4$ КУО/мл води на глибині 70 м (1,1 %). Ацидофільні безбарвні сіркоокиснювальні

Таблиця 1

Хімічний аналіз води озера Яворівське (20 вересня 2016 р.)

Глибина, м	рН	мг/л											Мінералізація, мг-екв/л
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	NH ₄ ⁺	H ₂ S+HS ⁻	
0	6,8±0,2	29,7±0,3	6,2±0,3	270,5±3,3	19,4±0,5	139,1±1,7	24,5±1,2	913,3±6,1*	0,5±0,1	0,6±0,1	0,0±0,0	0,0±0,0	1403,8±3,1
5	7,7±0,3	29,5±0,2	6,2±0,4	268,5±2,2	20,7±0,9	139,1±2,4	25,5±1,4	940,1±4,8*	1,3±0,1	0,6±0,1	0,0±0,0	0,0±0,0	1431,5±4,7
10	7,8±0,2	29,8±1,5	7,2±0,7	272,5±1,4	20,7±0,7	141,6±2,8	25,5±1,6	983,3±3,2*	1,9±0,1	0,8±0,2	0,0±0,0	0,0±0,0	1483,3±3,8
20	7,6±0,1	32,5±0,7	8,5±0,3*	274,5±3,7	25,5±0,5	151,3±1,6	24,1±1,2	992,9±3,0*	1,6±0,1	1,3±0,3	0,1±0,0	0,0±0,0	1512,3±6,2
30	7,1±0,4	36,0±1,2	9,0±0,2*	280,6±3,5	51,0±0,4	170,8±1,8	24,6±2,0	1142,9±4,5*	0,7±0,2	2,4±0,2	2,0±0,1	27,5±0,4*	1747,5±7,1
40	6,9±0,1	39,0±0,4	10,0±0,4*	276,6±2,5	60,8±1,2	195,3±1,9	26,6±1,5	929,6±3,4*	0,9±0,3	8,7±0,6*	2,9±0,2	30,2±0,5*	1580,6±8,7
50	6,8±0,2	42,0±2,2	10,5±0,1*	268,5±1,7	105,7±2,3	261,2±2,4	26,7±1,7	1540,8±2,2*	1,8±0,4	15,4±0,5*	4,3±0,4*	27,5±0,3*	2304,4±5,3
60	6,7±0,3	42,0±1,1	10,7±0,2*	280,6±2,3	100,9±1,9	244,1±2,6	25,5±1,3	1239,7±1,7*	1,3±0,4	25,6±0,5*	14,1±0,5*	34,0±0,4*	2018,5±6,5
70	6,6±0,1	43,0±1,6	10,0±0,3*	420,8±1,5	109,4±1,5	395,4±3,4	34,5±2,4	1529,5±3,9*	2,5±0,5	69,1±0,8*	33,3±0,4*	30,2±0,2*	2677,7±4,3
ГДК [4]	6,7-8,6	50,0	4,0	550,0	125,0	240,0	200,0	250,0	10,0	3,0	2,0	0,2	<7000

Примітка: * – p<0,05

Таблиця 2

Чисельність еколого-профічних груп мікроорганізмів у воді озера Яворівське, відібраній восени 2016 р. з різних глибин

Екологопрофічні групи мікроорганізмів	Кількість мікроорганізмів, КУО/мл води			Контроль	
	Глибина відбору проб води, м				
	0	30	50		70
Мікроорганізми, які використовують органічні форми нітрогену	(1,13±0,02)×10 ^{6*}	(1,14±0,04)×10 ^{6*}	(4,16±0,04)×10 ^{3*}	(1,36±0,08)×10 ^{3*}	(3,61±0,51)×10 ⁶
Мікрокопічні гриби, у т.ч. дріжджі	(2,23±0,01)×10 ^{3*}	(2,22±0,02)×10 ^{3*}	(1,60±0,02)×10 ^{4*}	(1,68±0,02)×10 ^{3*}	(2,42±0,05)×10 ⁵
Олігонітрофіли	(2,31±0,10)×10 ^{5*}	(1,35±0,20)×10 ^{5*}	(3,20±0,10)×10 ^{3*}	(6,50±0,10)×10 ^{3*}	(3,26±0,51)×10 ⁶
Мікроорганізми, які використовують мінеральні форми нітрогену	(2,25±0,04)×10 ^{5*}	(2,72±0,05)×10 ^{4*}	(1,94±0,03)×10 ^{3*}	(1,33±0,01)×10 ^{2*}	(1,93±0,06)×10 ⁴
Актинобактерії	(3,06±0,08)×10 ^{5*}	(3,72±0,06)×10 ^{4*}	(3,80±0,11)×10 ^{3*}	(3,83±0,04)×10 ^{2*}	(8,33±0,14)×10 ⁴
Загальна кількість	(3,80±0,01)×10 ^{5*}	(2,50±0,02)×10 ^{5*}	(7,10±0,01)×10 ^{4*}	(7,00±0,01)×10 ^{3*}	(2,00±0,21)×10 ⁶
І фази нітрифікації	(7,10±0,02)×10 ^{5*}	(1,30±0,01)×10 ^{5*}	(1,30±0,01)×10 ^{4*}	(5,10±0,01)×10 ^{3*}	(3,00±0,05)×10 ⁶
ІІ фази нітрифікації	(3,72±0,20)×10 ^{5*}	(3,00±0,18)×10 ^{5*}	(4,75±0,09)×10 ^{3*}	(2,43±0,15)×10 ^{2*}	(6,50±0,12)×10 ⁴
Денітрифікувальні бактерії	(1,01±0,05)×10 ^{4*}	(7,63±0,05)×10 ^{3*}	(5,42±0,06)×10 ^{3*}	(3,55±0,06)×10 ^{3*}	(8,78±0,07)×10 ²
Целлозоруйні бактерії	(6,00±0,02)×10 ³	(1,31±0,03)×10 ^{3*}	(1,13±0,01)×10 ^{3*}	(9,00±0,02)×10 ^{4*}	(6,25±0,08)×10 ³
Фототрофні несіркові бактерії	(1,10±0,01)×10 ^{4*}	(3,00±0,01)×10 ^{4*}	0	0	(7,50±0,21)×10 ⁴
Ціанобактерії	(1,30±0,03)×10 ^{4*}	(7,00±0,02)×10 ^{4*}	(1,10±0,01)×10 ^{6*}	(1,10±0,01)×10 ^{6*}	(2,50±0,05)×10 ³
Сульфатвідновлювальні бактерії	(6,00±0,01)×10 ^{4*}	(7,00±0,01)×10 ^{4*}	(1,10±0,01)×10 ^{6*}	(1,10±0,01)×10 ^{6*}	(1,30±0,11)×10 ⁴
Сірководновлювальні бактерії	(2,06±0,08)×10 ^{6*}	(3,54±0,04)×10 ⁵	(3,09±0,07)×10 ^{4*}	(2,63±0,04)×10 ^{4*}	(3,83±0,27)×10 ⁵
Нейтрофільні	(2,25±0,07)×10 ⁴	(2,31±0,05)×10 ⁴	0	0	(1,45±0,32)×10 ⁴
Ацидофільні	(6,00±0,02)×10 ^{4*}	(1,30±0,01)×10 ^{4*}	(7,00±0,01)×10 ^{4*}	(1,10±0,01)×10 ^{6*}	(3,50±0,17)×10 ²

Примітки: * – p<0,05; контроль – проба води, відібрана з придонного шару водойми джерельного типу заповідника Розточчя

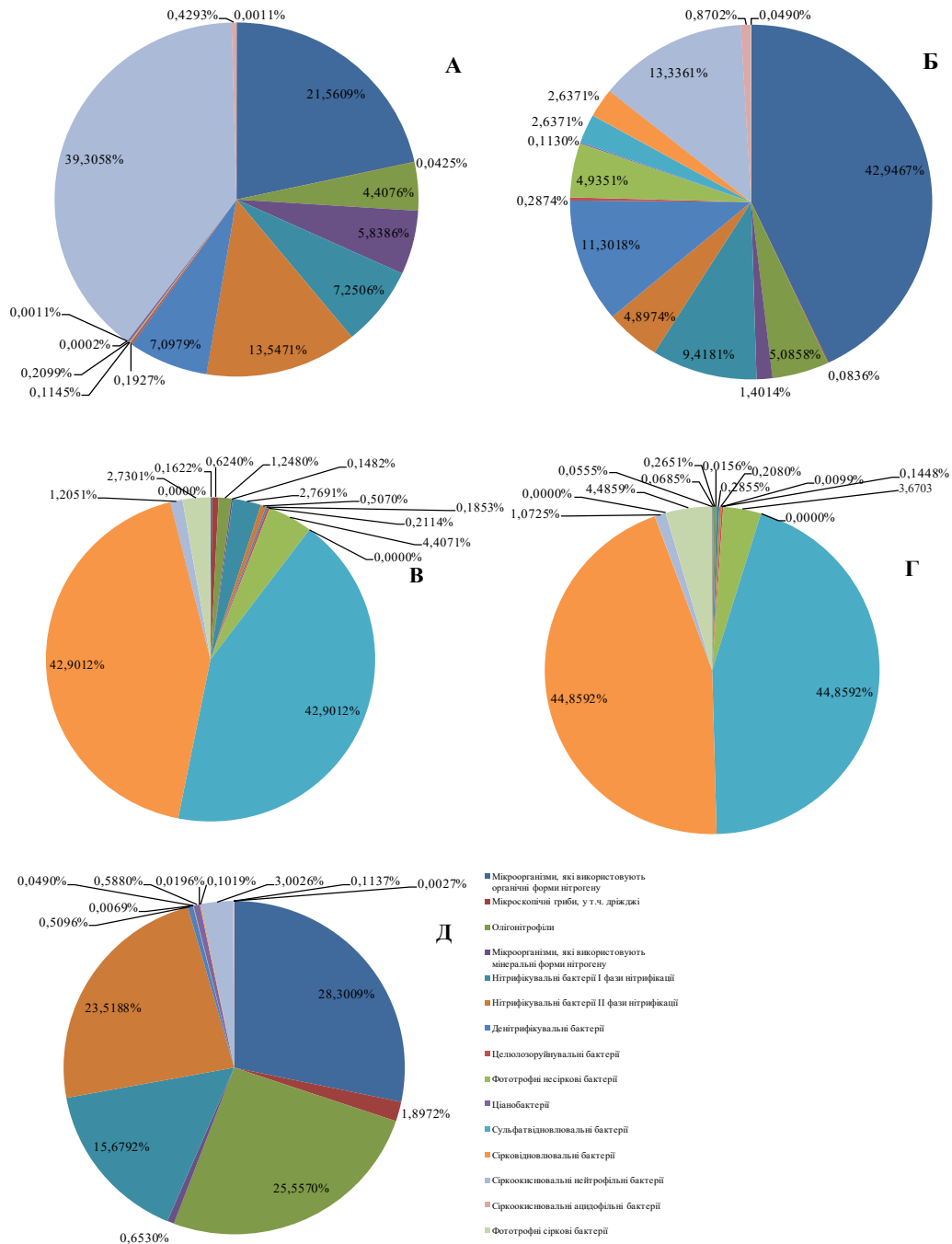


Рис. 2. Співвідношення еколого-трофічних груп мікроорганізмів у воді озера Яворівське, відібраній з різних глибин (м): 0 (А), 30 (Б), 50 (В), 70 (Г), та у воді, відібраній з придонного шару водойми джерельного типу заповідника Розточчя (Д)

бактерії були виявлені тільки на поверхні та глибині 30 м, де їхня кількість не перевищувала $2,31 \times 10^4$ КУО/мл води (0,9 %). Значна кількість цих бактерій на поверхні води свідчить про активні процеси окиснення відновлених сполук сульфуру, які вони здійснюють. Трансформація речовин, які містять сульфур, складається з двох принципово відмінних процесів: окиснення відновлених сполук сульфуру до сірки та сульфатної кислоти і відновлення окиснених сполук сульфуру до гідроген сульфід [7, 9, 19]. Окиснення сполук сульфуру з різним ступенем відновлення у природних умовах здійснюють безбарвні сіркоокиснювальні бактерії (роди *Achromatium*, *Beggiatoa*, *Hyphomicrobium*, *Macromonas*, *Sulfolobus*, *Thiobacillus*, *Thiodendron*, *Thiothrix*, *Thioploca*, *Thiobacterium*, *Thiospira*, *Thiovulum*, *Thermothrix*, *Thiomicrospira*, *Thiosphaera*, *Acidiphilium*) [19]. У роботі використано елективні середовища для нейтрофільних представників тіонових бактерій роду *Thiobacillus*, зокрема, *Thiobacillus thioparus* (середовище Бейеринка), які відіграють важливу роль в утворенні епігенетичних місцезароджень сірки, і ацидофільних представників, зокрема, *Thiobacillus thiooxidans* (середовище Ваксмана), які окиснюють сірку й інші відновлені сполуки сульфуру. У водоймі джерельного типу заповідника Розточчя кількість нейтрофільних і ацидофільних безбарвних сіркоокиснювальних бактерій нижча, ніж у поверхневому шарі води озера Яворівське, і становить $3,83 \times 10^5$ і $1,45 \times 10^4$ КУО/мл води (3,0 і 0,1 %) відповідно.

Сульфат- і сірковідновлювальні бактерії (роди *Desulfotomaculum*, *Desulfovibrio*, *Desulfobacter*, *Desulfobulbus*, *Desulfonema*, *Desulfomonas*, *Desulfosarcina*, *Desulfuromonas*, *Desulfurella*, *Desulfuromusa*, *Geobacter*, *Pelobacter*, *Campylobacter*, *Wolinella*, *Sulfospirillum*, *Alteromonas*, *Shewanella*) переносять гідроген від органічних субстратів на сульфати чи елементну сірку з відновленням їх до гідроген сульфід, що є небезпечним забруднювачем довкілля [19]. Сульфат- і сіркоредакція – основний механізм утворення відновлених сполук сульфуру в усіх водоймах. За рахунок органічного сульфуру в донних відкладах утворюється не більше 10 % цих сполук. Утворений бактеріями гідроген сульфід зв'язується в зоні відновлених осадів йонами феруму, що є важливим біогеохімічним процесом його виведення з глобального кругообігу [9]. В місцях активної життєдіяльності сульфат- і сірковідновлювальних бактерій відбувається інтенсивне анаеробне окиснення органічної речовини та нагромадження біогенної вуглекислоти і її похідних – бікарбонатів і карбонатів [20]. Кількість сульфат- і сірковідновлювальних бактерій зі збільшенням глибини озера зростає від 13 і 60 КУО/мл води (0,0002 і 0,0011 %) у поверхневому шарі води до $1,10 \times 10^6$ КУО/мл води (44,9 %) на глибині 70 м відповідно, що свідчить про інтенсивні процеси утворення гідроген сульфід в глибинній зоні водойми (табл. 2, рис. 2). Оскільки ці бактерії, окрім окиснених сполук сульфуру, інтенсивно відновлюють окиснені сполуки нітрогену з утворенням NH_4^+ [19], це пояснює виявлення його значних кількостей (як і H_2S) на глибинах понад 40 м (табл. 1). Сульфат- і сірковідновлювальні бактерії є найбільш численними еколого-трофічними групами мікроорганізмів на глибинах 50 і 70 м озера Яворівське. У придонному шарі водойми джерельного типу заповідника Розточчя кількість цих бактерій не перевищує $2,50 \times 10^3$ і $1,30 \times 10^4$ КУО/мл води (0,0196 і 0,1019 %) відповідно і є значно нижчою, ніж у воді озера на глибинах 30–70 м.

Фототрофні пурпурові (роди *Allochro-matium*, *Amoebobacter*, *Chromatium*, *Halo-chromatium*, *Isochromatium*, *Lamprobacter*, *Lamprocystis*, *Marichromatium*, *Rhabdochromatium*, *Thermochromatium*, *Thioalkalicoccus*, *Thiobaca*, *Thiocapsa*, *Thiococcus*, *Thiocystis*, *Thiodictyon*, *Thioflavicoccus*, *Thiohalocapsa*, *Thiolampro-vum*, *Thiopedia*, *Thiorhodococcus*, *Thiorhodovibrio*, *Thiospirillum*) та зелені (*Ancalochloris*, *Chlorobium*, *Chloroherpeton*, *Pelodictyon*, *Prostecochloris*, *Chloroflexus*, *Chloronema*, *Heliolithrix*, *Oscillochloris*) сіркові бактерії в анаеробній зоні водойми використовують відновлені сполуки сульфуру і, в першу чергу, гідро-

ген сульфід як донори електронів у процесі аноксигенного фотосинтезу [19]. Пігментний склад фотосинтезувальних сіркобактерій дає їм змогу використовувати сонячне світло в широкому спектральному діапазоні та поширюватись у різних екологічних зонах водойм. Фототрофні сіркобактерії часто вступають у синтрофні взаємозв'язки зі сульфідогенними хемотрофними бактеріями [9, 15]. У поверхневому шарі води озера кількість фототрофних сіркобактерій виявилася незначною – 60 КУО/мл води (0,0011 %), але зі збільшенням глибини їхня чисельність зростає і була найбільшою на глибинах 50 і 70 м: $7,00 \times 10^4$ і $1,10 \times 10^5$ КУО/мл води (2,7 і 4,5 %) відповідно, що свідчить про інтенсивну окиснювальну трансформацію сполук сульфуру в цій зоні озера (табл. 2, рис. 2). У водоймі джерельного типу заповідника Розточчя кількість фототрофних сіркобактерій значно нижча, ніж у воді озера Яворівське на глибинах 30–70 м, і становить $3,50 \times 10^2$ КУО/мл води (0,0027 %).

Фототрофні несіркові бактерії (роди *Rhodobaca*, *Rhodobacter*, *Rhodovulum*, *Rhodopseudomonas*, *Rhodoblastus*, *Blastochloris*, *Rhodomicrobium*, *Rhodobium*, *Rhodoplanes*, *Rhodocista*, *Rhodospirillum*, *Phaeospirillum*, *Rhodopila*, *Rhodospira*, *Rhodovibrio*, *Rhodothalassium*, *Roseospira*, *Roseospirillum*, *Ectothiorhodospira*, *Halorhodospira*, *Thiorhodospira*, *Ectothiorhodosinus*, *Rhodocyclus*, *Rhodoferax*, *Rubrivivax*, *Bradyrhizobium*) ростуть за умов освітлення, використовуючи H_2 , органічні сполуки, H_2S , $S_2O_3^{2-}$, SO_3^{2-} як донори електронів у процесі аноксигенного фотосинтезу [19]. У більшості випадків сульфід окиснюється лише до молекулярної сірки, яка (на відміну від фототрофних сіркобактерій) ніколи не відкладається у клітинах [9, 19]. У поверхневому шарі води озера Яворівське чисельність фототрофних несіркових бактерій не відрізнялася від контролю (табл. 2, рис. 2). На глибині 30 м їхня кількість виявилася найбільшою: $1,31 \times 10^5$ КУО/мл води (4,9 %), а на глибинах 50 і 70 м чисельність цих бактерій знижувалася до $1,13 \times 10^5$ і $9,00 \times 10^4$ КУО/мл води (4,4 і 3,7 %) відповідно, та все ж на глибинах 30–70 м була значно вищою, ніж у водоймі джерельного типу заповідника Розточчя: $6,25 \times 10^3$ КУО/мл води (0,049 %).

Широко розповсюджені у водоймах ціанобактерії (роди *Chamaesiphon*, *Chroococcus*, *Cyanothece*, *Gloeobacter*, *Gloeocapsa*, *Gloeotheca*, *Microcystis*, *Synechococcus*, *Synechocystis*, *Myxobaktron*, *Dermocarpella*, *Stanieria*, *Chroococcidiopsis*, *Myxosarcina*, *Pleurocapsa*, *Xenococcus*, *Arthrospira*, *Crinalium*, *Lyngbya*, *Microcoleus*, *Oscillatoria*, *Spirulina*, *Starria*, *Trichodesmium*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Nostoc*, *Nodularia*, *Rivularia*, *Scytonema*, *Tolythrix*, *Chlorogloeopsis*, *Geitleria*, *Stigonema*, *Fischerella*) можуть здійснювати кисневий і безкисневий фотосинтез з використанням як H_2O , так і інших екзогенних донорів електронів: H_2S , $Na_2S_2O_3$, H_2 , органічних сполук [19]. Деякі їхні представники (понад 100 видів) є вільноживучими азотофіксувальними мікроорганізмами. Завдяки процесам фотосинтезу ціанобактерії постачають гетеротрофним мікроорганізмам вуглеводи й інші енергетичні субстрати, а за рахунок азотофіксації нагромаджують у середовищі мінеральні форми нітрогену. Будучи численною складовою частиною планктону, ціанобактерії є важливою ланкою більшості харчових ланцюгів [9]. Якщо аноксигенні фототрофні бактерії виявляли на всіх глибинах озера, то ціанобактерії було виявлено лише до глибини 30 м, що пов'язано з їхніми потребами у кисні, вищій температурі й освітленні (табл. 2, рис. 2). У поверхневому шарі води озера Яворівське їхня чисельність була найбільшою і становила $1,10 \times 10^4$ КУО/мл води (0,21 %). У зв'язку зі значним забрудненням озера сполуками сульфуру, нітрогену, важких металів та іншими поллютантами на поверхні його води і на глибині 30 м чисельність ціанобактерій виявилася відповідно у 7 і 25 разів нижчою, ніж у контролі: $7,50 \times 10^4$ КУО/мл води (0,59 %), що, очевидно, є адаптивною відповіддю мікробного угруповання на їхній токсикогенний вплив пригнічення життєздатності чутливих видів і виживанням видів, метаболічно активних за даних стресових умов.

Трансформацію целюлози, найбільш поширеної карбоновмісної сполуки у природі, здійснюють різні мікроорганізми. Значна роль у цьому процесі належить бактеріям родів *Pseudomonas*, *Cytophaga*, *Sporocytophaga*, *Cellvibrio*, *Cellfalcicula*, *Vibrio*, *Polyangium*, *Sporangium*, *Archangium*, *Cellulomonas*, *Clostridium*, а також актинобактеріям *Micromonospora*, *Streptomyces*, *Streptosporangium*, *Actinomyces*, грибам *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Fusarium* [10, 19]. У поверхневому шарі води озера Яворівське чисельність целюлозоруйнівальних мікроорганізмів виявилася найвищою, порівняно з іншими глибинами, і становила $1,01 \times 10^4$ КУО/мл води (0,19 %) (табл. 2, рис. 2). Кількість цих мікроорганізмів на всіх глибинах значно перевищувала їхню кількість у контролі ($8,78 \times 10^2$ КУО/мл води або 0,007 %), що є індикатором забруднення води озера, у першу чергу нітратами та сполуками карбону.

У природних екосистемах постійно відбуваються взаємно протилежні перетворення складних органічних речовин на мінеральні й навпаки, вирішальну роль у яких відіграють мікроорганізми. Вони утилізують органічні та неорганічні форми нітрогену, переводячи їх з однієї форми в іншу [7, 9]. Найбільш численною еколого-трофічною групою у поверхневому шарі води озера Яворівське після нейтрофільних безбарвних сіркоокиснювальних бактерій є мікроорганізми, які використовують органічні форми нітрогену або сапрофіти, у тому числі амоніфікувальні бактерії (які здійснюють мінералізацію нітрогеновмісних органічних сполук із виділенням аміаку), де їхня кількість становить $1,13 \times 10^6$ КУО/мл води (21,6 %) (табл. 2, рис. 2). Кількість сапрофітів у водоймі джерельного типу заповідника Розточчя перевищує кількість представників інших еколого-трофічних груп і є у 3 рази вищою, ніж у поверхневому шарі води озера Яворівське, та сягає $3,61 \times 10^6$ КУО/мл води (28,3 %). Мінералізацію органічних форм нітрогену в мінеральні форми: амонійні солі, солі нітритної та нітратної кислот, аміак, молекулярний азот забезпечують представники родів *Proteus*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Mycobacterium*, актинобактерії, гриби родів *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor* та ін. [19]. На глибині 30 м озера частка сапрофітів щодо інших еколого-трофічних груп є найбільшою і сягає 42,9 %, а на глибинах 50 і 70 м – різко зменшується до 0,16 і 0,06 % відповідно.

Мікроскопічних грибів (до яких належать представники родів *Alternaria*, *Fusarium*, *Chaetomium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Botrytis*, *Trichothecium*, *Candida*, *Ogataea*, *Rhodotorula* та ін. [19]) на глибинах 0, 30 і 70 м було виявлено $1,68\text{--}2,23 \times 10^3$ КУО/мл води (0,04–0,08 %), а на глибині 50 м їхня кількість була майже вдвідесятеро вищою і сягала $1,60 \times 10^4$ КУО/мл води (0,62 %) (табл. 2, рис. 2). Але чисельність цих мікроорганізмів у водоймі джерельного типу заповідника Розточчя перевищувала їхню кількість, визначену у воді озера з усіх глибин, більш ніж у 15 разів і сягала $2,42 \times 10^5$ КУО/мл води (1,9 %).

Про активні процеси метаболізму сполук нітрогену свідчить наявність у воді озера великої кількості нітрифікувальних, денітрифікувальних та олігонітрофільних бактерій. Нітрифікувальні хемолітоавтотрофні бактерії у водному середовищі можуть окиснювати аміак, амонійні солі, гідроксиламін, нітрити й інші відновлені неорганічні сполуки нітрогену, причому нітробактерії (роди *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*, *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio* і ін.) окиснюють амоній до гідроксиламіну та нітритів, нітробактерії (роди *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospina*, *Nitrospira* і ін.) – нітрити до нітратів [7, 9, 15, 19]. Чисельність нітрифікувальних бактерій з глибиною озера зменшувалася, можливо, у зв'язку з їхньою чутливістю до низької концентрації кисню, що пригнічує розвиток цих бактерій [9, 19]. У воді озера, відібраній з різних глибин, кількість цих мікроорганізмів була значно меншою, ніж у воді, відібраній з водойми джерельного типу заповідника Розточчя (табл. 2, рис. 2). Найбільшу кількість нітрифікувальних бактерій I і II фази нітрифікації виявлено у поверхневому шарі води озера Яворівське і на глибині 30 м: $2,50\text{--}3,80 \times 10^5$ КУО/мл води

(7,25–9,42 %) і $1,30\text{--}7,10 \times 10^5$ КУО/мл води (4,9–13,6 %) відповідно, яка була у понад 5 і 4 рази нижчою, ніж у контролі: $2,00 \times 10^6$ і $3,00 \times 10^6$ КУО/мл води (15,7 і 23,5 %) відповідно, очевидно, у зв'язку з несприятливими для них умовами техногенно сформованого екотопу.

Денітрифікувальні бактерії (роди *Pseudomonas*, *Paracoccus*, *Bacillus*, *Thiobacillus*) здійснюють зворотний до нітрифікації процес – відновлюють нітрати і нітрити (дією нітрат- і нітритредуктаз) до NO та N_2O або до молекулярного нітрогену чи аміаку і зв'язують потоки карбону й нітрогену в анаеробних зонах водойм, окиснюючи органічні сполуки до CO_2 і води [9, 19]. Утворення великих кількостей N_2O збільшує парниковий ефект, а оксиди нітрогену, що досягають стратосфери, сприяють виснаженню озонового шару [9, 15]. У роботі використано середовища Гільтая для хемоорганогетеротрофних денітрифікувальних бактерій та Баалсруда для хемолітоавтотрофних сіркоокиснювальних бактерій *Thiobacillus denitrificans*, які за анаеробних умов здійснюють анаеробне дихання з використанням нітратів, нітритів, N_2O як акцепторів електронів. Чисельність денітрифікувальних бактерій з глибиною озера зменшувалася (табл. 2, рис. 2). У воді, відібраній з поверхні та глибини 30 м, кількість цих мікроорганізмів ($3,00\text{--}3,72 \times 10^5$ КУО/мл води (7,1–11,3 %)) у 6 разів перевищувала чисельність мікроорганізмів у водоймі джерельного типу заповідника Розточчя: $6,50 \times 10^4$ КУО/мл води (0,51 %), що свідчить про значне забруднення поверхневих шарів води озера окисненими сполуками нітрогену і його евтрофікацію у цій зоні.

Наявність олігонітрофільних, у тому числі азотофіксувальних, бактерій (роди *Azotobacter*, *Azotomonas*, *Derxia*, *Beijerinckia*, *Clostridium*), у воді озера Яворівське є показником перебігу активного процесу азотофіксації у цій техногенно зміненій екосистемі [19]. Олігонітрофільні мікроорганізми завершують мінералізацію органічних речовин і здатні рости тільки за низької концентрації нітрогеновмісних сполук [7]. Для функціонування нітрогеназного комплексу, чутливого до вільного кисню та кількості зв'язаного нітрогену, бактеріям потрібні значні затрати енергії (легкодоступні органічні речовини) і низький окисно-відновний потенціал середовища. Найбільшу кількість олігонітрофільних бактерій виявлено у поверхневому шарі води озера Яворівське і на глибині 30 м: $2,31\text{--}1,35 \times 10^5$ КУО/мл води (4,4–5,1 %), яка з глибиною зменшувалася (табл. 2, рис. 2). Чисельність цих мікроорганізмів у озері була в 14 разів нижчою, ніж у контролі: $3,26 \times 10^6$ КУО/мл води (25,6 %), де олігонітрофільні бактерії є другою після сапрофітів найчисленнішою екологічною групою.

Мікроорганізми, які здійснюють окисно-відновну трансформацію мінеральних сполук нітрогену (роди *Bacillus*, *Micrococcus*, *Escherichia*, *Brevibacterium*, *Sarcina*, *Pseudomonas*, *Aspergillus*, актинобактерії *Streptomyces*, *Nocardia*, *Actinoplanes*, *Micromonospora*, *Streptosporangium*, *Corynebacterium*, *Arthrobacter*, *Actinomadura*, *Rhodococcus*, *Thermoactinomyces*, *Dietzia*, *Salinispora*, *Marinophilus*, *Solwaraspora*, *Salinibacterium*), розщеплюють природні біополімери: крохмаль, целюлозу, пектин, хітин, органічні кислоти, залишки білків, гумусу, пестициди та ін., завдяки їхній здатності до синтезу амілолітичних ферментів [19]. Актинобактерії синтезують до 10 тис. промислово важливих вторинних метаболітів, зокрема, низку біологічно активних сполук і антибіотиків [9]. Загальна кількість мікроорганізмів, що використовують мінеральні форми нітрогену, у воді озера Яворівське з глибиною зменшувалася (табл. 2, рис. 2). У воді, відібраній з поверхні озера, кількість цих мікроорганізмів ($3,06 \times 10^5$ КУО/мл води (5,8 %)) була у 4 рази більшою, ніж у водоймі джерельного типу заповідника Розточчя: $8,33 \times 10^4$ КУО/мл води (0,65 %). У воді, відібраній з глибин 30–70 м, кількість цих мікроорганізмів була значно меншою, ніж у контролі, можливо, у зв'язку з недостатнім забезпеченням киснем і впливом інших фізико-хімічних умов середовища існування. Чисельність актинобактерій на глибині озера 30 м не відрізнялася

від контролю: $2,72 \times 10^4$ і $1,93 \times 10^4$ КУО/мл води відповідно, але також виявилася найвищою на його поверхні: $2,25 \times 10^5$ КУО/мл води (табл. 2).

Таким чином, вода озера Яворівське є придатною як середовище існування для живих організмів, хоча ситуація з вмістом сульфатів і гідроген сульфід у ній залишається критичною. Встановлено, що зміна чисельності різних еколого-трофічних груп мікроорганізмів та їхнє співвідношення у воді озера, забрудненій насамперед токсичними сполуками сульфуру, порівняно з їхньою чисельністю і співвідношенням у водоймі джерельного типу заповідника Розточчя, є адаптивною відповіддю мікробного угруповання на несприятливі фактори довкілля. Загальна чисельність мікроорганізмів усіх еколого-трофічних груп у воді озера Яворівське з глибиною зменшується від $5,24 \times 10^6$ до $2,45 \times 10^6$ КУО/мл води і є у 2–5 разів нижчою, ніж у контролі: $1,28 \times 10^7$ КУО/мл води. У озері Яворівське відбувається формування нового мікробоценозу, в якому на поверхні води і на глибині 30 м найбільш численними еколого-трофічними групами є нейтрофільні безбарвні сіркоокиснювальні бактерії, мікроорганізми, які використовують органічні форми нітрогену, нітрифікувальні, денітрифікувальні, олігонітрофільні бактерії, мікроорганізми, що використовують мінеральні форми нітрогену, та фототрофні несіркові бактерії. Сульфат- і сірководновлявальні, фототрофні сіркові та несіркові бактерії є найбільш численними еколого-трофічними групами мікроорганізмів на глибинах 50 і 70 м озера. Кількість ацидофільних безбарвних сіркоокиснювальних бактерій, ціанобактерій, целюлозоруйнівальних мікроорганізмів і мікроскопічних грибів на всіх глибинах була незначною, що дає підстави зробити припущення про звуження видової різноманітності мікробоценозу озера. У контролі найбільш численними еколого-трофічними групами є мікроорганізми, які використовують органічні форми нітрогену, олігонітрофільні, нітрифікувальні, нейтрофільні безбарвні сіркоокиснювальні бактерії, мікроскопічні гриби. Їхня кількість, окрім нейтрофільних безбарвних сіркоокиснювальних бактерій, є значно вищою, ніж у воді озера Яворівське. Різні еколого-трофічні групи мікроорганізмів займають окремі екологічні ніші, зумовлені фізіолого-біохімічними особливостями, типом взаємовідносин і фізико-хімічними умовами техногенно сформованого біотопу, на всіх глибинах якого активно відбувається трансформування сполук карбону, нітрогену та сульфуру. Тому рекультивация озера є неможливою без участі мікроорганізмів, які відіграють важливу роль у балансі речовин, що засвоюються організмами інших трофічних рівнів. Сіркоокиснювальне та сульфідогенне мікробне угруповання озера Яворівське може бути середовищем виділення нових штамів, цінних для біотехнологічного застосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алматов Б. И., Нуралиев Н. А., Курбанова С. Ю. Посезонная динамика изменения микробного состава воды некоторых водохранилищ Узбекистана // Микробиол. журнал. 2016. Т. 78. № 2. С. 95–102.
2. Баран І. М., Подопрігора О. І., Гришук Г. В. та ін. Екологічний моніторинг водойм Яворівського сіркового родовища; мікробіологічний контроль // Довкілля та здоров'я. 2003. Вип. 27. № 4. С. 56–62.
3. Гайдін А. М., Зозуля І. І. Нові озера Львівщини. Львів: Афша, 2009. 103 с.
4. Грушко Я. М. Вредные неорганические соединения в промышленных сточных водах. Л.: Химия, 1979. 161 с.
5. Гудзь С., Гнатуш С., Перетятко Т. та ін. Динаміка змін титру сульфатвідновлювальних бактерій та вмісту сульфатів і сірководню у водах кар'єру Яворівського сіркового родовища в процесі його затоплення // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2004. Вип. 37. С. 185–189.

6. Гудзь С. П., Гнатуш С. О., Яворська Г. В. та ін. Практикум з мікробіології: підручник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2014. 436 с.
7. Іутинська Г. О. Ґрунтова мікробіологія: навч. посіб. К.: Арістей, 2006. 284 с.
8. Колодяжний О. Ю., Пати́ка М. В. Формування мікробного комплексу чорнозему типового в агроценозі пшениці озимої за різних систем землеробства // Вісн. Полтав. держ. аграр. академії. 2014. Вип. 73. № 2. С. 26–33.
9. Козлова І. П., Радченко О. С., Степура Л. Г. та ін. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти. К.: Наукова думка, 2008. 526 с.
10. Курдиш І. К. Роль мікроорганізмів у відтворенні родючості ґрунтів // Сільськогосп. мікробіологія: міжвід. темат. наук. зб. Чернігів, 2009. Вип. 9. С. 7–32.
11. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
12. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия природных и сточных вод. М.: Химия, 1984. 312 с.
13. Мороз О. М., Колісник Я. І., Подопрігора О. І. та ін. Мікрофлора води озера “Яворівське” // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. біол. 2008. Вип. 24. С. 131–138.
14. Патька Н. В., Колодяжний А. Ю., Ибатуллин И. И. Оценка метагенома и детекция функционально значимых полиморфизмов прокариот почвы с использованием метода пиросеквенирования // Мікробіол. журнал. 2016. Т. 78. № 2. С. 43–51.
15. Пати́ка В. П., Омелянець Т. Г., Гриник І. В., Петриченко В. Ф. Екологія мікроорганізмів: посібник / за ред. В.П. Пати́ки. К.: Основа, 2007. 192 с.
16. Пати́ка В. П., Симочко Л. Ю. Мікробіологічний моніторинг ґрунту природних та трансформованих екосистем Закарпаття України // Мікробіол. журнал. 2013. Т. 75. № 2. С. 21–31.
17. Пати́ка В. П., Тараненко С. В., Тараненко А. О., Калініченко А. В. Мікробний біом різних ґрунтів й ґрунтово-кліматичних зон Полтавської області // Мікробіол. журнал. 2014. Т. 76. № 5. С. 20–25.
18. Савилов Е. Д., Анганова Е. В. Микробиологический мониторинг водных экосистем // Гигиена и санитария. 2010. № 5. С. 56–58.
19. Современная микробиология. Прокариоты / ред. Й. Ленгелер, Г. Древис, Г. Шлегель; пер. с англ. М.: Мир, 2005. Т. 1. 654 с. Т. 2. 496 с.
20. Теплинская Н. Г. Микробная трансформация биогенных элементов в сапропелевых илах Каламитского залива Черного моря // Мікробіол. журнал. 2007. Т. 69. № 5. С. 15–20.
21. Теплер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2004. 256 с.
22. Узбек И. Х. Эколого-биологическая оценка эдафотопов техногенных ландшафтов степной зоны Украины: дис.... д-ра биол. наук. Днепропетровск, 2001. С. 164–229.
23. Harris D. C. Quantitative Chemical Analysis. 6-th ed. 2003. 928 p.
24. Hydrogen sulfide: human health aspects [Electronic resource]. World health organization. Geneva. 2003. Available from: <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad53.htm>.

Стаття: надійшла до редакції 14.06.17

доопрацьована 29.09.17

прийнята до друку 06.10.17

**ECOLOGICAL TROPHIC GROUPS OF MICROORGANISMS
OF YAVORIVSKE LAKE WATER****O. Tarabas, O. Moroz, S. Hnatush, G. Yavorska, G. Zvir, M. Kovalchuk***¹Ivan Franko National University of Lviv
4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine**²LLC "Institute Hirhimprom", Academy of Mining Sciences of Ukraine
98, Stryjska St., Lviv 79026, Ukraine
e-mail: otarabas@gmail.com*

The chemical composition of Yavorivske lake water in the autumn of 2016 at different depths (0–70 m) was investigated and the main ecological trophic groups of microorganisms, involved in transformation of carbon, nitrogen and sulfur compounds, were studied. Acidity, mineralization and Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- and NO_3^- content at all depths, K^+ , P_2O_5 and NH_4^+ at depths up to 20–50 m were insignificant and did not exceed the permissible norms. At all depths the content of SO_4^{2-} (913–1530 mg/l) and H_2S (30–34 mg/l) at depths over 30 m significantly exceeded the norms. It was established that the change in the quantity of different ecological trophic groups of microorganisms and their ratio in the lake water, compared with the source type reservoir of Roztochya_reserve, is an adaptive response of the microbial community to stress environmental factors. The total quantity of all ecological trophic groups of microorganisms in water of Yavorivske lake with depth decreases from 5.24×10^6 to 2.45×10^6 CFU/ml of water and is 2–5 times lower than in the control: 1.28×10^7 CFU/ml of water. In Yavorivske lake is formed new microocenosis, in which on the surface and at depth of 30 m the most numerous ecological trophic groups are neutrophilic colorless sulfur oxidizing bacteria (39.3 and 13.3 %), microorganisms that use organic forms of nitrogen (21.6 and 42.9 %), nitrifying (7.3 and 9.4 % of phase I, 13.5 and 4.9 % of phase II of nitrification), denitrifying (7.1 and 11.3 %), oligonitrophilic bacteria (4.4 and 5.1 %), microorganisms that use mineral forms of nitrogen (5.8 and 1.4 % respectively) and phototrophic nonsulfur bacteria (4.9 % at depth of 30 m). Sulfate and sulfur reducing (42.9 and 44.9 %), phototropic sulfur (2.7 and 4.5 %) and nonsulfur bacteria (4.4 and 3.7 % respectively) are the most numerous ecological trophic groups of microorganisms at depths of 50 and 70 m of the lake. The quantity of acidophilic colorless sulfur oxidizing bacteria, cyanobacteria, cellulose degrading microorganisms and microscopic fungi at all depths was insignificant. In control the most numerous ecological trophic groups are microorganisms that use organic forms of nitrogen (28.3 %), oligonitrophilic (25.6 %), nitrifying (23.5 % of phase II and 15.7 % of phase I of nitrification), neutrophilic colorless sulfur oxidizing bacteria (3.0 %), microscopic fungi (1.9 %). Their number, besides neutrophilic colorless sulfur oxidizing bacteria, is much higher than in Yavorivske lake water.

Keywords: ecological trophic groups of microorganisms, hydrogen sulfide, Yavorivske lake