

САНІТАРНА І ТЕХНІЧНА ГІДРОБІОЛОГІЯ

УДК 574.583, 574.52

О.Ю. ДЕРЕВЕНСЬКА, к. б. н., доц., доц.,
Казанський (Приволзький) федеральний університет,
вул. Кремлівська, 18, Казань, РФ, 420008,
e-mail: oderevenskaya@mail.ru

О.М. УНКОВСЬКА, заступник директора, ст. наук. співроб.,
Волзько-Камський державний природний біосферний заповідник,
вул. Вехова, 1, сел. Садове, Зеленодольський р-н,
Республіка Татарстан, РФ, 422537,
e-mail: l-unka@mail.ru

М.В. КОСОВА, аспірант,
Казанський (Приволзький) федеральний університет,
вул. Кремлівська, 18, Казань, РФ, 420008,
e-mail: mary.burunina96.5@yandex.ru

ОЦІНКА САМОВІДНОВЛЕННЯ УГРУПОВАНЬ ЗООПЛАНКТОНУ ОЗЕР ВОЛЗЬКО-КАМСЬКОГО ЗАПОВІДНИКА (РОСІЯ), ЯКІ ПОСТТРАЖДАЛИ ВІД АВАРІЙНИХ СКИДІВ

Озера Гниле, Ліньово та Ілантово розташовані на території Волзько-Камського державного природного біосферного заповідника (Росія). Незважаючи на їхній статус, у 1980-х роках озера зазнали інтенсивного антропогенного впливу бройлерної птахофабрики «Казанська» та звірорадгоспу «Раїфський». Ступінь їх забруднення був екстремально високим. Заходи, спрямовані на очищення заповідних озер від наслідків скидання неочищених стічних вод з птахофабрики і звірорадгоспу розроблені не були. Проведено дослідження з використанням фізико-хімічних і біологічних параметрів для визначення сучасного екологічного стану озер і оцінки їх самовідновлення.

Ключові слова: зоопланктон, озеро, заповідник, самовідновлення, забруднення.

Природна еволюція озер є тривалим процесом, який супроводжується накопиченням донних відкладень і призводить до обміління і заростання, цей процес значно прискорюється при антропогенній евтрофікації [6]. Сільськогосподарське забруднення може привести до значного погіршення якості води і деградації водних об'єктів [10, 13]. Особливо значною у формуванні складу стоку з сільськогосподарських угідь може бути роль тваринництва [11]. Кожна водойма здатна прийняти певну

Ц и т у в а н н я: Деревенська О.Ю., Унковська О.М., Косова М.В. Оцінка самовідновлення угруповань зоопланктону озер Волзько-Камського заповідника (Росія), які постраждали від аварійних скидів. *Гідробіол. журн.* 2021. Т. 57. № 4. С. 79—87.

ISSN 0375-8990. Гідробіологічний журнал. 2021. 57(4)

79

кількість забруднюючих речовин без порушення структури угруповань, тобто характеризується певною екологічною ємністю. У незабруднених водоймах процеси самоочищення протікають досить швидко, але при постійному і інтенсивному забрудненні екосистеми поступово втрачають здатність до відновлення. Істотна роль у процесі самоочищення належить угрупованням гідробіонтів, що забезпечують процеси біофільтрації, біоаккумуляції, біоседиментації, окисно-відновної мінералізації [4]. Основним споживачем первинної органічної речовини є зоопланктон. Завдяки фільтраційному харчуванню він також бере участь у процесах самоочищення [3]. Угруповання зоопланктону можна використовувати як біоіндикатори антропогенного евтрофування і забруднення [5, 14].

Волзько-Камський державний природний біосферний заповідник (ВКГПБЗ) розташований у Середньому Поволжі (Росія), з 2005 р. входить у систему біосферних резерватів ЮНЕСКО. Гідрографічна мережа Раїфської ділянки ВКГПБЗ представлена р. Сумкою, її притоком р. Сер-Булак і розташованими в їх долинах суфозійно-карстовими озерами.

Озеро Ліньово — заплавна водойма овальної форми з зарослими берегами. За походженням воно відноситься до суфозійно-карстових, за характером водообміну — проточне. В озеро впадає і витікає р. Сер-Булак. Озера Гниле і Ілантово розташовані у долині р. Сумки, вони безстічні, за винятком періоду повені. Озеро Гниле являє собою округлої форми вікно у торф'яному болоті. Для оз. Ілантово характерний високий ступінь заболочування і заростання. Морфометричні показники озер наведені у табл. 1.

Озера Гниле і Ілантово тривалий час (з 1980-х по 1990-ті роки) забруднювались стічними водами звірорадгоспу «Раїфський», що розташовувався поблизу території заповідника. Рідкі відходи та стічні води накопичувались на території господарства у не передбачених проектом накопичувачах, огорожених земляним обвалуванням. Практично щороку під час паводків і у період сильних дощів обвалування руйнувалося і вміст накопичувачів надходив в оз. Гниле, а потім по рельєфу місцевості у р. Сумка і оз. Ілантово. Також накопичувачі не мали гідроізоляції, що

Таблиця 1

Географічні координати і морфометричні характеристики досліджених озер

Озера	Координати центральної точки	Площа, га	Глибина максимальна, м	Глибина середня, м	Об'єм, тис. м ³
Гниле	55°55'4,58"С; 48°46'40,73"В	0,8	5,0	3,5	28,13
		0,8	4,9	2,3	27,5
Ліньово	55°54'14,93"С; 48°47'28,60"В	7,2	6,0	2,37	171,2
		6,9	5,7	2,0	147,8
Ілантово	55°55'17,40"С; 48°47'6,69"В	4,8	3,0	0,8	37,3
		4,8	2,4	0,6	35,8

Примітка. Над рискою — до впливу; під рискою — після впливу.

призводило до забруднення ґрунтових вод. В оз. Ліньово починаючи з 1983 р. надходили стічні води птахофабрики «Казанська». У червні 1986 р. стався аварійний скид 300 м³ неочищених стічних вод, які через р. Сер-Булак потрапили в озеро і призвели до екстремально високого забруднення. Заходи, спрямовані на очищення заповідних озер від наслідків надходження неочищених стічних вод, не здійснювалися.

Впродовж кількох років проводили спостереження за станом озер, що дозволило зробити деякі висновки про їх самовідновлення. Метою роботи була оцінка самовідновлення угруповань зоопланктону і виявлення віддалених наслідків надходження аварійних стічних вод господарських об'єктів.

Матеріал і методика досліджень

Дослідження оз. Гнилого були виконані у 1985—1986 і 1998—2019 рр., оз. Ілантово — у 1984—1986 і 1998—2019 рр., оз. Ліньово — у 1983—1986 рр., 1994 р. і 1998—2020 рр. Проби зоопланктону відбирали у середині вегетаційного періоду (у червні — серпні). Одночасно з ними з поверхневих і придонних шарів відбирали і проби води для гідрохімічного аналізу за допомогою батометра Молчанова ГР-18. У цей час абіотичні умови найбільш стабільні і розвиток планктону залежить переважно від трофічних умов у водоймі, угруповання зоопланктону найбільш різноманітні і рясні [18]. Проби зоопланктону відбирали шляхом послідовного обловлювання сіткою Джеді (розмір вічка 90 мкм) шарів води, виділених відповідно до стратифікації по температурі, або трикратним протягуванням сітки від дна до поверхні. Камеральна обробка проб виконана за стандартними гідробіологічними методиками [8], включаючи визначення видового складу зоопланктону, розрахунок чисельності і біомаси. Всього за період досліджень було відібрано і оброблено 150 кількісних проб.

Зміна структури угруповань зоопланктону оцінювали за індексом Е/О (відношення кількості евтрофних видів до оліготрофних) [17], зміною середньої індивідуальної маси зоопланктону (w , мг), чисельністю і біомасою, часткою таксономічних груп у чисельності і біомасі [3], індексом Сімпсона [21] (за чисельністю і біомасою). Ступінь різноманітності зоопланктону оцінювали за індексом Шеннона (за чисельністю (H_N) і біомасою (H_B)) [19]. Індекс сапробності (S) розраховували за методом Пантле — Букк у модифікації Сладечека [20].

Гідрохімічний аналіз проведений за загальноприйнятими гідрохімічними методиками [1, 2, 7]. Оцінка якості води за фізико-хімічними показниками виконана шляхом порівняння з ПДК і за значенням середнього рангового показника (РП), розрахованого з використанням еколого-санітарної класифікації якості поверхневих вод [9]. Статистична обробка даних виконана в MS Excel, вона включала розрахунок середніх значень і похибки середньої.

Результати досліджень та їх обговорення

У 1980—1990-і роки джерелами забруднення оз. Гнилого були розташовані поруч кролячі ферми звірорадгоспу «Раїфський» (відстійники, купи гною тощо). У 1990-і роки озеро фактично являло собою природний відстійник господарства, за РП вода відносилась до розряду «дуже брудна» (РП = 8,0). Екологічний стан поруч розташованого мілководного оз. Ілантово був подібним, за РП його відносили до розряду «помірно забруднена» (РП = 6,8).

До 1980-х років оз. Ліньово являло собою природно евтрофовану лісову водойму. Після аварійного скидання сільськогосподарських стічних вод колір води змінився на чорно-коричневий, відбулась масова загибель гідрофауни. Фізико-хімічні дослідження показали, що кисень був відсутній по всій товщі води, ПДК за багатьма показниками, в тому числі і по БПК₅, були перевищені більш ніж у 100 раз. За середнім значенням РП вода в озері відносилась до розряду «сильно забруднена» (РП = 7,8). Озеро також фактично перетворилося на відстійник. У наступні роки рівень забруднення дещо зменшився, але повного відновлення якості води не відбулося.

Дослідження, виконані у 1998—2019 рр., показали стабільно високий ступінь забруднення озер. Прозорість води незначна (0,44—0,72 м), за значенням індексу трофічного стану озера відносяться до евтрофних. Вода в озерах Ілантово і Ліньово нейтральна, а в оз. Гниле — слабко кисла. Склад головних іонів в озерах подібний, з аніонів переважали гідрокарбонати, з катіонів кальцій. Вміст органічних речовин у поверхневих і придонних шарах води (за ХПК) більш ніж удвічі перевищує допустимі нормативи, за БПК — більш ніж у 3,5 раз. У придонних шарах води вміст кисню низький, міститься сірководень. В оз. Гнилому його вміст перевищує допустимі нормативи більш ніж удвічі. Вміст нітрат-іонів, іонів амонію і фосфатів також багаторазово перевищує допустимі нормативи. У придонних шарах води концентрації біогенних елементів істотно вище, ніж у поверхневих, що вказує на можливість вторинного забруднення з донних відкладень. За середнім значенням РП якість води у поверхневих шарах відповідає розряду «цілком чиста», а у придонних — «слабко забруднена».

У зоопланктоні оз. Гнилого найменшу кількість видів у зоопланктоні (по 6—8 у пробі) реєстрували у 1985—1988 рр., коли відбувалося забруднення водойми стічними водами. За чисельністю домінували коловертки *Asplanchna priodonta* Gossei, *Keratella cochlearis* (Gosse), за біомасою — *A. priodonta*. Середня чисельність становила 47,12 тис. екз/м³, біомаса 0,53 г/м³.

У 1998—2019 рр. в озері було виявлено 45 таксонів зоопланктону рангом нижче роду, з них коловерток — 28 (62 %), гіллястоусих ракоподібних — 13 (29 %), веслоногих — 4 (9 %). Видове багатство зоопланктону нижче, ніж в озерах заповідника, що не піддавалися значному антропогенному впливу. Наприклад, в оз. Білому, що має аналогічні морфометричні по-

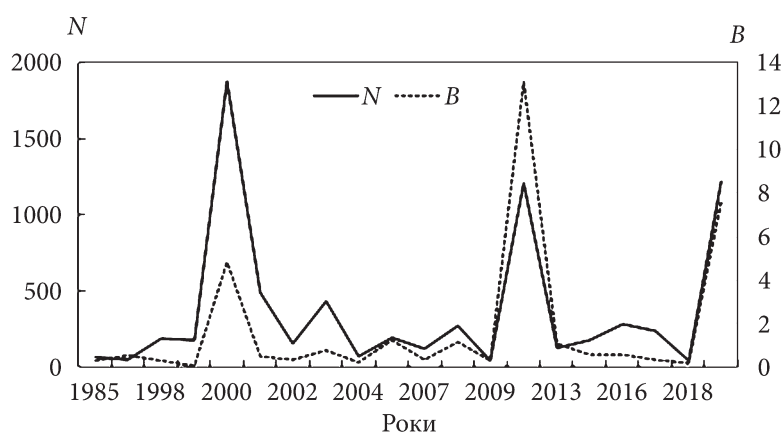


Рис. 1. Чисельність (N , тис. екз/м³) і біомаса (B , г/м³) зоопланктону оз. Гнилого

казники, за цей же період було виявлено 74 види зоопланктону. Найбільш багатими видами були роди *Trichocerca* і *Daphnia*. Середня кількість видів у пробі у 1998—2019 рр. становила $11 \pm 0,5$. Домінуючий комплекс включав від одного до п'яти видів, найбільш часто до нього входили *K. cochlearis*, *A. priodonta*, *Thermocyclops crassus* (Fischer). Кількісні показники зоопланктону були відносно низькі — чисельність зазвичай не перевищувала 300 тис. екз/м³, біомаса — 1 г/м³ (рис. 1). За кількісними показниками переважали коловертки (до 80 % загальних).

Вертикальний розподіл зоопланктону був нерівномірним. Найбільша кількість організмів знаходилась у поверхневих шарах води (до глибини 1 м), у придонних шарах їх мало через несприятливий кисневий режим і вміст сірководню.

У зоопланктоні з оз. Ілантово за весь період досліджень було виявлено 70 видів, з них коловерток 35 (50 %), гіллястовусих ракоподібних — 22 (31 %), веслоногих — 13 (19 %). У 1984—1986 рр. у пробах містилось по 8—10 видів. Домінували *A. priodonta*, *Brachionus quadridentatus* Hermann, ювенільні стадії циклопів. У 1998—2019 рр. середня кількість видів у пробі становила $13 \pm 0,6$. За чисельністю домінували від одного до чотирьох видів, найбільш часто до складу домінантів входили *K. cochlearis*, *A. priodonta*, *Gastropus hyptopus* (Ehrenberg), *Bosmina longirostris* (O.F. Müller). Середня чисельність у 1984—1985 рр. становила 171,8 тис. екз/м³, біомаса 1,12 г/м³, у 1986 р. — 8,4 тис. екз/м³ і 0,06 г/м³. У наступні роки кількісні показники зоопланктону зросли (рис. 2), переважали коловертки.

В оз. Ліньово за весь період досліджень було виявлено 58 видів зоопланктону, з них коловерток 29 (50 %), гіллястоусих ракоподібних — 20 (34 %), веслоногих — 9 (16 %). У 1985—1986 рр. у пробах зустрічалось від 3 до 7 видів. Домінували *Brachionus calyciflorus* Pallas, *B. longirostris*, *Keratella quadrata* (Müller). У 1998—2019 рр. середня кількість видів у пробі зросла до $17 \pm 0,5$. За чисельністю домінували чотири — шість видів, найбільш ча-

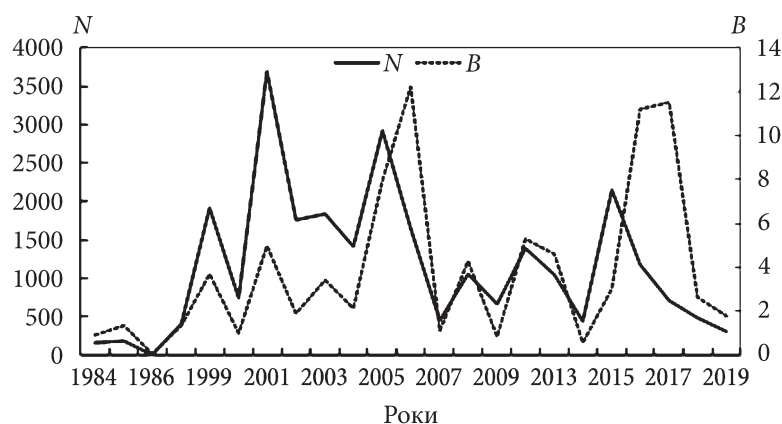


Рис. 2. Чисельність (N, тыс. екз/м³) і біомаса (B, г/м³) зоопланктону оз. Ілантово

сто *G. hyptopus*, *A. priodonta*, *B. longirostris*, *Keratella quadrata* (Müller), *Brachionus angularis* Gosse, *Filinia longiseta* (Ehrenberg), за біомасою домінували два — шість видів, найчастіше *A. priodonta*, *Thermocyclops oithonoides* (Sars), *Daphnia cucullata* Sars і *B. longirostris*.

У 1985—1988 рр. кількісні показники зоопланктону в озері були дуже низькими (близько 50 тыс. екз/м³ і менше 0,5 г/м³). З груп переважали коловертки. У подальшому відмічені коливання чисельності, але у цілому значення залишались невисокими (рис. 3). Піки викликані переважно збільшенням чисельності одного — двох видів, зазвичай *G. hyptopus* або *K. cochlearis*. Біомаса зоопланктону у більшості випадків не перевищувала 1 г/м³. За біомасою переважали коловертки або веслоногі ракоподібні. Надходження великої кількості біогенних сполук наприкінці 1990-х років зумовило зростання кількісних показників (див. рис. 3).

Надходження у водойми біогенних сполук сприяє посиленню евтрофікації, що зумовлює збільшення кількості коловерток [15], відповідно співвідношення Rotifera : Cladocera : Copepoda змінюється у бік зростання частки коловерток [12, 16, 18]. У досліджуваних озерах коловертки переважали за чисельністю, а у більшості випадків і за біомасою (табл. 2), що підтверджує інтенсивну евтрофікацію. Відомо [12], що у ході евтрофування озер біомаса Cyclozoidea відносно Calanoida знижується, відтак знижуються значення індексу B_{Cycl}/B_{Cal} . У досліджуваних озерах у більшості випадків розрахувати B_{Cycl}/B_{Cal} неможливо через відсутність представників Calanoida.

У процесі евтрофікації внаслідок зростання чисельності дрібних коловерток їх біомаса часто знижується, що призводить і до зниження значень індексу B_{C}/B_{Rot} . У досліджуваних озерах значення цього показника коливались у широких межах ($CV = 353$), у більшості випадків коловертки переважали за чисельністю і біомасою. З цим же пов'язані і низькі значення середньої індивідуальної маси зоопланктонів (w), що характери-

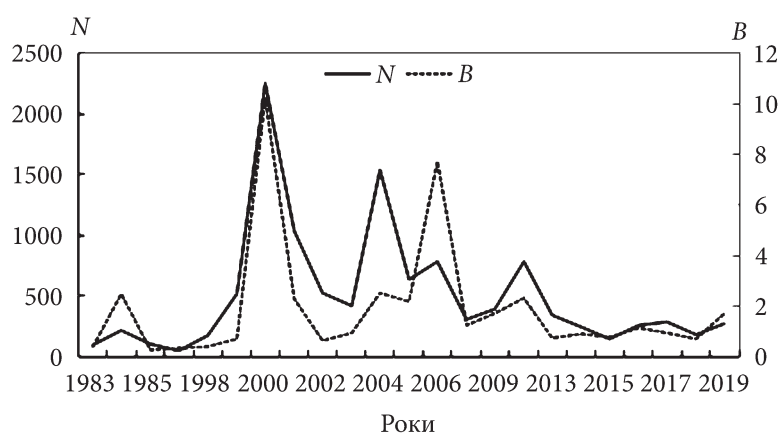


Рис. 3. Чисельність (N , тыс. екз/м³) і біомаса (B , г/м³) зоопланктону оз. Ліньово

зують озера як високоевтрофні. У той же час відношення кількості евтрофних видів до оліготрофних (E/O) [3, 17] характеризують озера як гіпертрофні.

Середні значення індексу Шеннона, розраховані за біомасою (H_B), відповідають евтрофним умовам, значення індексу сапробності (S) відносять водойму до β -мезосапробної зони з помірно забрудненою водою.

Висновки

Надходження в озера Ліньово, Гниле і Лантово аварійних і неочищених стічних вод птахофабрики і звіроферми призвело до екстремального

Таблиця 2

Середні значення біотичних індексів зоопланктону в озерах в різні періоди дослідження

Показники	Гниле		Лантово		Ліньово	
	1985—1986	1998—2018	1984—1986	1998—2018	1983—1986	1998—2018
$R : Cl : Cop$ (N , %)	63 : 03 : 33	78 : 03 : 19	39 : 11 : 50	71 : 07 : 22	80 : 10 : 10	63 : 11 : 26
$R : Cl : Cop$ (B , %)	62 : 12 : 26	80 : 03 : 17	20 : 7 : 73	44 : 25 : 31	35 : 47 : 18	51 : 15 : 34
B_{Cr}/B_{Rot}	0,63±0,31	0,85±0,33	9,42±4,64	9,71±6,88	2,42±1,13	2,24±0,59
w , мг	0,0113±0,006	0,0034±0,0006	0,0067±0,0006	0,0036±0,0037	0,0072±0,0021	0,0035±0,0005
E/O	6,1±0,1	5,2±0,3	6,3±0,38	5,9±0,3	4,5±0,6	8,9±0,5
S	1,66±0,04	1,48±0,02	1,55±0,06	1,52±0,02	2,05±0,08	1,61±0,03
H_N	2,01±0,13	1,99±0,14	1,73±0,08	2,16±0,15	1,26±0,51	2,57±0,08
H_B	1,21±0,08	1,51±0,16	1,57±0,12	1,73±0,3	1,49±0,49	2,15±0,09

забруднення води органічними речовинами і сполуками біогенних елементів і загибелі гідробіонтів. Заходи, спрямовані на очищення озер, не проводилися. В озерах переважало забруднення. За минулі роки відбулося зниження рівня забруднення, однак ситуація продовжує залишатися напруженою. Вміст у воді органічних речовин (за БПК і ХПК), іонів амонію, фосфат-іонів багаторазово перевищує ПДК. Для газового режиму характерно перенасичення киснем поверхневих шарів і його дефіцит у придонному. Накопичені у донних відкладеннях забруднюючі речовини викликають вторинне забруднення озер, особливо у літній період.

Дослідження зоопланктону виявило катастрофічні порушення структури угруповань, що проявилось у скороченні кількості видів, низьких кількісних показниках, переважанні коловерток. Угруповання зоопланктону відновлюються дуже повільно і на сьогодні їх структура відповідає евтрофно-гіпертрофним умовам.

Список використаної літератури

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Ленинград : Гидрометеиздат, 1970. 443 с.
2. Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. 268 с.
3. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических уровней. СПб : Наука, 1996. 189 с.
4. Винберг Г.Г. Биологическое самоочищение и формирование качества воды. *Задачи санитарной гидробиологии*. Москва : Наука. С. 5—9.
5. Деревенская О.Ю., Мингазова Н.М., Унковская Е.Н. Изменение структуры сообществ зоопланктона в процессе эвтрофирования озер Среднего Поволжья. *Экосистемы*. 2019. Т. 20. С. 92—104.
6. Дробкова В.Г., Прыткова М.Я., Якушко О.Ф. Восстановление экосистем малых озер. СПб : Наука, 1994. 143 с.
7. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. Москва : Химия, 1973. 376 с.
8. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Ленинград, 1982. 33 с.
9. Романенко В.Д., Оксикюк О.П., Жукинский В.Н. и др. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты. Киев : Наук. думка, 1990. 256 с.
10. Россоломо Л. Л. Антропогенное эвтрофирование водоемов. Итоги науки и техники. Общая Экология. Биоценология. Гидробиология. Антропогенное эвтрофирование водоемов. Москва: ВИНТИ, 1975. С. 9—57.
11. Шилькрот Г.С. Причины антропогенного эвтрофирования водоемов. Там же. С. 61—96.
12. Adamczuk M., Mieczan T., Tarkowska-Kukuryk M., Demetraki-Paleolog A. Rotatoria — Cladocera — Copepoda relations in the long-term monitoring of water quality in lakes with trophic variation (E. Poland). *Environ. Earth Sci.* 2015. Vol. 73. P. 8189—8196.
13. Coveney M. F., Lowe E.F., Battoe L.E. et al. Response of a eutrophic, shallow subtropical lake to reduced nutrient loading. *Freshwater Biology*. 2005. Vol. 50. P. 1718—1730.
14. Derevenskaya O.Y., Mingazova N.M. Communities of zooplankton in lakes in the course of their contamination and restoration. *Hydrobiol. J.* 2000. Vol. 36, N 1. P. 1—7.
15. Ejsmont-Karabin J., Karabin A. The suitability of zooplankton as lake ecosystem indicators: crustacean trophic state index. *Pol. J. Ecol.* 2013. Vol. 61, N 3. P. 561—573.

16. Haberman J., Haldna M. Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Vörtsjärv. *J. Limnol.* 2014. Vol. 73, N 2. P. 263—273.
17. Hakkari L. Zooplankton species as indicators of environment. *Aqua Fenn.* (Helsinki). 1972. P. 46—54.
18. Ochocka A., Pasztaleniec A. Sensitivity of plankton indices to lake trophic conditions. *Environ. Monit. Assess.* 2016. Vol. 188., Art. 622. P. 1—16.
19. Shannon C.E., Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication.* Urbana: Univ. Ill. Press, 1949. 117 p.
20. Sládeček V. System of water quality from biological point of view. *Adv. Limnol.* 1973. Vol. 7. P. 1—218
21. Whittaker R.H. Dominance and diversity in land plant communities. *Science.* 1965. Vol. 147, N 3655. P. 250—260.

Надійшла 04.11.2020

O.Yu. Derevenskaya, PhD (Biol.), Ass. Prof.,
Kazan Federal University,
18 Kremlivska St., Kazan, RF, 420008,
e-mail: oderevenskaya@mail.ru

E.N. Unkovskaya, Deputy Director, Senior Researcher,
Volga-Kama State Natural Biosphere Reserve,
1 Vekhova St., Sadove town, Republic Tatarstan, RF, 422537,
e-mail: l-unka@mail.ru

M.V. Kosova, Post-graduate Student,
Kazan Federal University,
18 Kremlivska St., Kazan, RF, 420008,
e-mail: mary.burunina96.5@yandex.ru

ASSESSMENT OF SELF-REHABILITATION OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES
IN LAKES OF THE VOLGA-KAMA NATURE RESERVE (RUSSIA), AFFECTED BY
EMERGENCY DISCHARGES

Lakes Gnulo, Liniovo and Ilantovo are located in the territory of the Volga-Kama State Natural Biosphere Reserve (Russia). In spite of their protected status, in the 1980s the lakes experienced an intense anthropogenic impact caused by the discharge of the untreated wastewater from the poultry farm and fur farm. The pollution of the lakes was extremely high. Measures aimed at the lakes' purification have not been developed. Research was carried out using physicochemical and biological parameters to determine the current ecological state of the lakes and assess their self-rehabilitation. Actually, the pollution level remains high. Zooplankton communities recover very slowly, the indicators of the communities' structure correspond to eutrophic water bodies.

Keywords: zooplankton, lake, nature reserve, self-recovery, pollution.