

УДК 556.531.4 (282.247.32)

В. П. Осипенко, Т. В. Євтух

**ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ РОЗЧИНЕНИХ
ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН У ВОДОЙМІ
УРБАНІЗОВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ**

Представлено та проаналізовано результати досліджень розподілу розчинених органічних речовин у воді оз. Райдужного (м. Київ) у 2015—2016 рр. А саме, визначено внутрішньорічні та сезонні величини загального вмісту розчинених органічних речовин за показниками хімічного споживання кисню і перманганатної окиснюваності води, а також сезонна динаміка концентрації їхніх окремих компонентів — гумінових кислот, фульвокислот, вуглеводів та білковоподібних речовин — у поверхневому й придонному шарах води. Наведено основні гідрохімічні характеристики водойми: рН, концентрація розчиненого кисню, ступінь насичення води киснем. Описано сезонні зміни у співвідношенні фракцій фульвокислот, вуглеводів та білковоподібних речовин з різною молекулярною масою. Розраховано концентрації органічного вуглецю і масові частки окремих органічних компонентів у загальному складі розчинених органічних речовин.

Ключові слова: оз. Райдужне (м. Київ), розчинені органічні речовини, гумінові кислоти, фульвокислоти, вуглеводи, білковоподібні речовини.

Водні системи характеризуються відповідним обміном речовини і енергії. Їхня стабільність підтримується внутрішніми зв'язками між абіотичними і біотичними елементами [6, 13, 48]. Зміна зовнішніх чинників, серед яких все більшого впливу набуває антропогенний, призводить до перебудови фізико-хімічних, гідрохімічних, гідрологічних, біологічних процесів у воді [8, 28]. Розчинені органічні речовини (РОР), які є невід'ємною складовою природних вод, їхній вміст і склад слугують своєрідними індикаторами екологічних змін, які відбуваються у водоймі [17, 29, 35, 45, 48]. Вони є показниками не тільки якості води, але й функціонування гідробіоценозів, біологічні процеси в яких відбуваються з одночасним виділенням і поглинанням органічних сполук [5, 18].

Малі водойми міської зони є найбільш чутливими ланками в умовах сучасного техногенно перевантаженого міста [1, 25, 27]. Антропогенний тиск, що формується внаслідок зростання міського населення (часто непропорційно до розвитку інфраструктури міста), близькість автошляхів, автозаправок, теплостанцій, скиди промислових і комунальних підприємств, хімічні і бактеріальні відходи численних закладів відпочинку, бетонування берегів, знищення рослинності тощо призводять часто до незворотних

© В. П. Осипенко, Т. В. Євтух, 2018

наслідків. В результаті не просто погіршується якість води, а відбуваються перебудови в режимі функціонування малих водойм — змінюється склад і об'єм стоку [14, 35], посилюється евтрофікація [17, 19, 46] і «цвітіння» води [15], порушується сезонна динаміка гідрологічних і біохімічних процесів у воді [36, 48] та здатність водойм до самоочищення [8, 27].

Над цими питаннями працюють провідні європейські, в тому числі українські, інститути [23, 28, 33, 49, 50–55], спеціалізовані американські організації — наприклад, Геологічна служба США [56], з метою розробки методів управління якістю, відновлення і раціонального використання водних ресурсів. В наукових працях, присвячених методам моніторингу і контролю поверхневих водойм [14, 24, 32, 34], математичному моделюванню гідроеко-систем [16, 25], процесам природного і антропогенного евтрофування [19, 30, 46], вивченню самовідновного потенціалу водних об'єктів [8, 27], показники концентрації РОР використовуються як динамічний критерій для оцінки екологічного стану водойми. Активні дослідження проводяться як у напрямку якісної і кількісної оцінки загального вмісту розчинених органічних сполук у воді за співвідношеннями різних гідрохімічних показників [29, 39, 43] та сучасними методами флуоресцентної спектроскопії [7], так і характеристики різних класів РОР [5, 7, 44], в тому числі гумінових кислот і фульвокислот (ГК і ФК) [20, 22, 33], вуглеводів (В) [11, 50], білково-подібних речовин (БПР) [11, 49].

Саме через високу потенційну доступність РОР для гідробіонтів їхня концентрація у воді може суттєво впливати на стан динамічної стійкості водойми як біоценозу. Тому вміст РОР у воді можна використовувати не тільки як показник природних продукційно-деструкційних процесів у водному об'єкті, але й як критерій змін, які відбуваються в ньому внаслідок антропогенного навантаження.

Метою нашої роботи було вивчення сезонної динаміки загального вмісту органічних речовин, а також деяких компонентів РОР — ГК, ФК, В та БПР — у взаємозв'язку з такими гідрохімічними показниками, як рН і концентрація розчиненого кисню, у воді міської водойми на прикладі оз. Райдужного.

Матеріал і методика досліджень. Озеро Райдужне, розташоване в лівобережній частині Києва, є прикладом типової заплавної евтрофної водойми. Має видовжену (вдоль русла Дніпра) морфометрію: довжина — 1400 м, середня ширина — 100 м, максимальна глибина — 7,3 м, загальна площа складає 16,2 га. До 12% площі водойми займають мілководдя глибиною до 2 м. Умовно озеро поділене на північну, центральну і південну частини. Головними прибутковими складовими його водного балансу є притік ґрунтових вод внаслідок гідрологічного зв'язку з Канівським водосховищем, поверхневий стік та атмосферні опади. Дно переважно піщане, місцями замулене. На відміну від багатьох інших водойм Києва, площа озера лише на 10% покрита заростями вищих водяних рослин. Біля озера розташовані невелика паркова зона, міський пляж із торговельними закладами, автозаправка. З усіх боків воно щільно оточене автомагістралями і житловими будинками [1, 47]. Все

це дає підставу зарахувати оз. Райдужне до об'єктів з високим антропогенним навантаженням і нестійкою біологічною рівновагою.

З урахуванням особливостей морфометрії водного об'єкта проби води відбирали у поверхневому і придонному горизонтах у трьох точках: 1 — у північно-західній прибережній зоні озера, 2 — на найвужчій ділянці озера шириною 15 м і глибиною 3 м у його центральній частині, 3 — на південно-західній ділянці з глибиною 5 м у південній частині водойми. Відбір води для дослідження загальних гідрохімічних показників здійснювали щомісяця, а для вивчення окремих компонентів РОР — посезонно у лютому, квітні, серпні і жовтні 2015—2016 рр.

Величини хімічного споживання кисню (ХСК) і перманганатної окиснюваності (ПО) води, що опосередковано характеризують загальний вміст РОР, визначали після фільтрації води через мембранні фільтри Synrog з діаметром пор 0,4 мкм (Чехія). Концентрацію розчиненого у воді кисню і, відповідно, ступінь її насичення киснем визначали за методом Вінклера [26]. рН води вимірювали на рН-метрі рН 150 МИ (Росія).

Подальше фракціонування матеріалу проводили методом іонообмінної хроматографії із застосуванням ДЕАЕ- і КМ-целюлоз за загальноприйнятою схемою; молекулярно-масовий розподіл (ММР) ФК, В та БПР вивчали методом гель-хроматографії з використанням гелів Молселект-25 і Молселект-50 [41].

Окремі групи РОР визначали за допомогою фотометричних методів: БПР — методом Фоліна — Лоурі [10], В — за допомогою антрону [40], ГК і ФК — згідно методик [38]. Вміст $C_{орг}$ і масові частки окремих груп РОР у загальному складі РОР розраховували відповідно [42].

Результати досліджень та їхнє обговорення

Одним із найважливіших чинників, який впливає на направленість і інтенсивність потоків РОР у водних об'єктах, є вміст розчиненого у воді кисню. Жодна сучасна система моніторингу якості води не обходиться без його визначення [32, 34]. Концентрація розчиненого кисню регулює також активну реакцію водного середовища (рН) шляхом хімічного і біохімічного окиснення органічних і неорганічних сполук. Низький вміст кисню як у поверхневому, так і у придонному шарах води є природним критерієм незадовільного стану водойми [3].

У таблиці 1 узагальнено результати визначень температури, величини рН, розчиненого кисню, ступеня насичення води киснем в оз. Райдужному у 2015 р. Спостереження за змінами рН показали, що вода була слабколужною, з рН 7,8—9,2 (поверхня) та 7,8—8,7 (дно). Найвищі значення рН відмічали влітку у поверхневому шарі, найнижчі — влітку у придонному шарі. Характеризуючи сезонний режим розчиненого у воді кисню, слід зазначити його залежність не лише від гідрологічних (вітрове перемішування, проточність тощо), але й від біологічних (фотосинтез, наявність аеробної й анаеробної мікрофлори тощо) чинників [18, 29, 45]. Протягом року вміст

1. Сезонні величини температури, рН, розчиненого кисню, ступеня насичення киснем води оз. Райдужного, 2015 р.

Пори року	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$			рН			$\text{O}_2, \text{мг/дм}^3$			Насичення води киснем, %		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Поверхневий шар												
Зима	—	2	2	—	8,2	8,3	—	8,5	8,5	—	63,5	63,5
Весна	7	6	6	8,8	8,7	8,7	11,9	12,1	12,6	98,2	96,4	101,6
Літо	25	25	25	9,0	8,9	9,2	9,8	10,4	10,5	116,1	123,2	124,4
Осінь	18	18	18	7,8	8,1	8,1	6,0	6,2	6,4	62,0	64,0	66,1
Придонний шар												
Весна	—	8	8	—	8,7	8,7	—	10,1	9,8	—	84,4	82,0
Літо	—	22	20	—	7,9	7,8	—	6,1	1,8	—	68,8	19,5
Осінь	—	18	18	—	8,0	7,9	—	5,5	4,6	—	56,8	47,5

П р и м і т к а. Тут і в табл. 2, 3: 1, 2, 3 — номери ділянок відбору проб води.

кисню у воді був вищим на поверхні, максимальний його вміст відмічали також у поверхневому шарі навесні — $12,6 \text{ мг/дм}^3$, що становило 101,6% насичення води киснем. Сама низька концентрація — $1,8 \text{ мг/дм}^3$ (19,5% насичення) — була у придонному шарі влітку, що відповідало найнижчим значенням рН.

У літній період у придонних шарах води вже на глибині 5 м спостерігали анаеробні зони зі стійким запахом сірководню. Такі умови, як відомо, сприяють десорбції РОР з донних відкладів і вторинному забрудненню водного середовища органічними сполуками різного походження [3, 37, 54]. За середньорічним показником насичення води киснем у поверхневому шарі (89,0%) вона відповідала 3-му класу якості — задовільної чистоти [32].

Результати визначення інтегральних показників вмісту РОР — ХСК і ПО — наведено у таблиці 2. Протягом року відмічали незначне перевищення загальної концентрації РОР у поверхневому шарі відносно придонного, що узгоджується з гідрологічною характеристикою озера як водойми з помірною проточністю і періодом зовнішнього водообміну 12,9 місяців [9, 47]. Вода прибережної ділянки 1 характеризувалася вищим загальним вмістом РОР, ніж ділянок 2 і 3.

Сезонна динаміка вмісту органічних сполук свідчить про широкий діапазон коливань зазначених показників. Величини ХСК і ПО у поверхневому шарі води змінювались у межах відповідно $13,2$ — $38,4$ та $3,5$ — $15,6 \text{ мг О/дм}^3$, а у придонному шарі вони становили $17,0$ — $33,3$ та $6,0$ — $14,0 \text{ мг О/дм}^3$.

Мінімальні значення ХСК і ПО у поверхневому горизонті води припадали на зимовий період. Влітку максимальний вміст органічних речовин у воді

2. Загальний вміст РОР у воді оз. Райдужного за інтегральними показниками ХСК і ПО, 2015 р.

Пори року	ХСК, мг О/дм ³			ПО, мг О/дм ³			ПО/ХСК, %		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Поверхневий шар									
Зима	—	13,5	13,2	—	3,7	3,5	—	27,4	26,5
Весна	19,3	18,8	17,3	8,8	8,6	8,0	45,6	45,7	46,2
Літо	38,4	35,8	35,8	15,6	14,8	14,4	40,6	41,3	40,2
Осінь	34,8	30,6	29,1	13,5	13,4	12,8	38,8	43,8	43,9
Придонний шар									
Весна	—	17,1	17,0	—	6,4	6,0	—	37,4	35,3
Літо	—	30,7	33,3	—	12,8	14,0	—	41,7	42,0
Осінь	—	27,6	29,0	—	12,7	11,8	—	46,0	40,7

(на фоні її інтенсивного «цвітіння») у декілька разів перевищував зимові величини, а восени знову спостерігали поступове зниження їхньої концентрації в обох шарах води, що свідчить про природну самоочисну здатність озера [45].

Аналіз співвідношень показників ПО/ХСК, наведених у таблиці 2, дозволяє дати якісну оцінку походження досліджуваних РОР [43]. Відомо, що величина ПО більшою мірою відображає наявність у воді природних алохтонних ГК і ФК, які надходять у водойму в результаті вимивання з ґрунтового покриву, а також автохтонних легкоокислюваних органічних речовин, до яких належать В і БПР [12, 20]. Показник ХСК характеризує загальну концентрацію як природних, так і важкоокислюваних забруднювальних органічних речовин [24, 39]. Автохтонні РОР утворюються внаслідок продукційно-деструкційних процесів у самій водоймі, а алохтонні надходять з площі водозбору та зі стічними водами. Тому показники ПО/ХСК > 40% можуть відповідати високим концентраціям ароматичних речовин і, в першу чергу, природного алохтонного гумусу. Значення ПО/ХСК < 40%, навпаки, можуть свідчити про накопичення у воді автохтонних РОР аліфатичного ряду або забруднювальних речовин неприродного походження. [23, 29].

Середні сезонні значення співвідношення ПО/ХСК у поверхневому шарі води протягом періоду спостережень становили 26,9, 45,8, 40,7 і 42,1% (див. табл. 2). Максимальні показники припадали на весну, мінімальні — на зимовий період. Враховуючи той факт, що автохтонна речовина, включаючи водний гумус, більш консервативна, ніж алохтонна [31], різниця в показниках, ймовірно, більшою мірою зумовлена органічними речовинами, які надходять з території водозбору під час весняної повені, сезонних дощів і паводків.

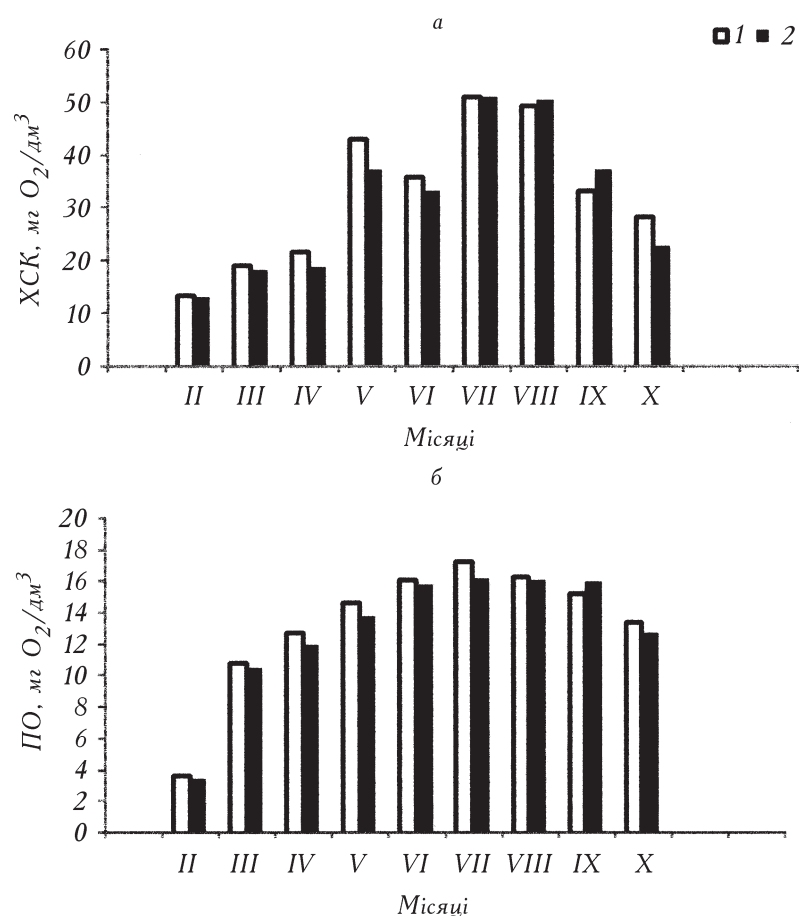
3. Внутрішньорічні величини температури, рН, розчиненого кисню, ступеня насичення води киснем у поверхневому шарі оз. Райдужного, 2016 р.

Місяці	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$		рН		$\text{O}_2, \text{мг/дм}^3$		Насичення води киснем, %	
	2	3	2	3	2	3	2	3
Лютий	2,0	2,0	8,2	8,3	8,5	8,5	63,6	63,6
Березень	5,0	5,0	8,7	8,6	10,9	12,2	86,6	96,9
Квітень	14,0	14,0	7,3	7,7	11,8	11,4	115,1	111,2
Травень	20,0	20,0	7,5	7,8	14,1	13,7	153,2	148,8
Червень	18,0	19,0	7,7	7,6	9,2	8,8	93,9	93,3
Липень	25,0	27,0	7,1	8,1	7,0	8,1	85,5	95,8
Вересень	22,0	23,0	7,7	7,8	12,2	10,2	136,4	116,0
Жовтень	16,0	16,0	8,4	8,5	9,6	9,5	97,1	96,0

Таблиця 3 відображає внутрішньорічну динаміку показників температури, рН, розчиненого кисню і ступеня насичення води киснем на досліджуваних ділянках оз. Райдужного у 2016 р. Величина рН коливалась у межах 7,1—8,7. Вміст кисню у воді протягом року був досить високим — $10,3 \text{ мг/дм}^3$ за середньорічним показником. Найвищим він був у травні — $14,1 \text{ мг/дм}^3$, що становило 153,2% насичення. Такий кисневий режим є важливим чинником у процесі самоочищення водойми [3, 27], оскільки безпосередньо впливає на активізацію мікробіологічних процесів у поверхневому шарі води і прискорює розкладання органічних речовин [18, 42].

Внутрішньорічна динаміка ХСК і ПО води у 2016 р. відображена на рисунку 1. Величини зазначених показників змінювалися відповідно у межах 13,2—51,2 та 3,5—17,3 мг О/дм^3 з максимумом влітку. Поступове зменшення вмісту РОР восени на фоні зростання концентрації кисню також свідчить про сприятливі умови для їхньої деструкції з точки зору самоочисної здатності озера.

Як відомо, перемішування води безпосередньо впливає на самоочищення водного об'єкту шляхом активізації у ній фізико-хімічних та біологічних процесів, а також на розведення, окиснення й розпад забруднювальних речовин [3, 14]. Вчені Інституту гідробіології НАН України за результатами моделювання циркуляції води залежно від швидкості течії і напрямку вітру [45] визначили ділянки оз. Райдужного, які мають різну динамічну активність водних мас [9] і, як наслідок, різний самоочисний потенціал — відношення коефіцієнтів біохімічного окиснення речовин у нерухомому середовищі і за умов перемішування води [2]. Концентрація РОР на ділянках 1, 2 і 3 в основному відповідає складеній ними карті [9] районування динамічної складової самоочисного потенціалу озера. Вміст РОР на північній ділянці 1 і центральній ділянці 2 (на карті це застійні зони з низьким самоочисним потенціалом в діапазоні 0—4) перевищував показники їхніх концентрацій на



1. Внутрішньорічна динаміка ХСК (а) і ПО (б) води оз. Райдужного, 2016 р.: 1 — ділянка 2; 2 — ділянка 3.

південній ділянці 3 (зона високої гідродинамічної активності з високим самоочисним потенціалом в діапазоні 8—10).

Результати дослідження сезонної динаміки вмісту окремих груп РОР у воді оз. Райдужного наведено у таблиці 4. Загальною закономірністю їхнього просторового розподілу було домінування у поверхневому шарі води, за винятком літнього періоду.

Аналізуючи максимальні абсолютні величини вмісту кожної групи РОР у воді поверхневого шару, можна зазначити, що концентрації ГК і ФК зростали до найвищих навесні — відповідно 0,70 і 4,50 мг/дм³. Така тенденція узгоджується з даними співвідношень ПО/ХСК (див. табл. 2), коли у весняний період цей показник був максимальним і становив 45,8%. Як було вже зазначено, навесні у поверхневому шарі води більшу частку гумусових речовин складають алохтонні ГК і ФК, які надходять у озеро внаслідок повені, а літом гумусові сполуки у водоймах з уповільненим водообміном активно попов-

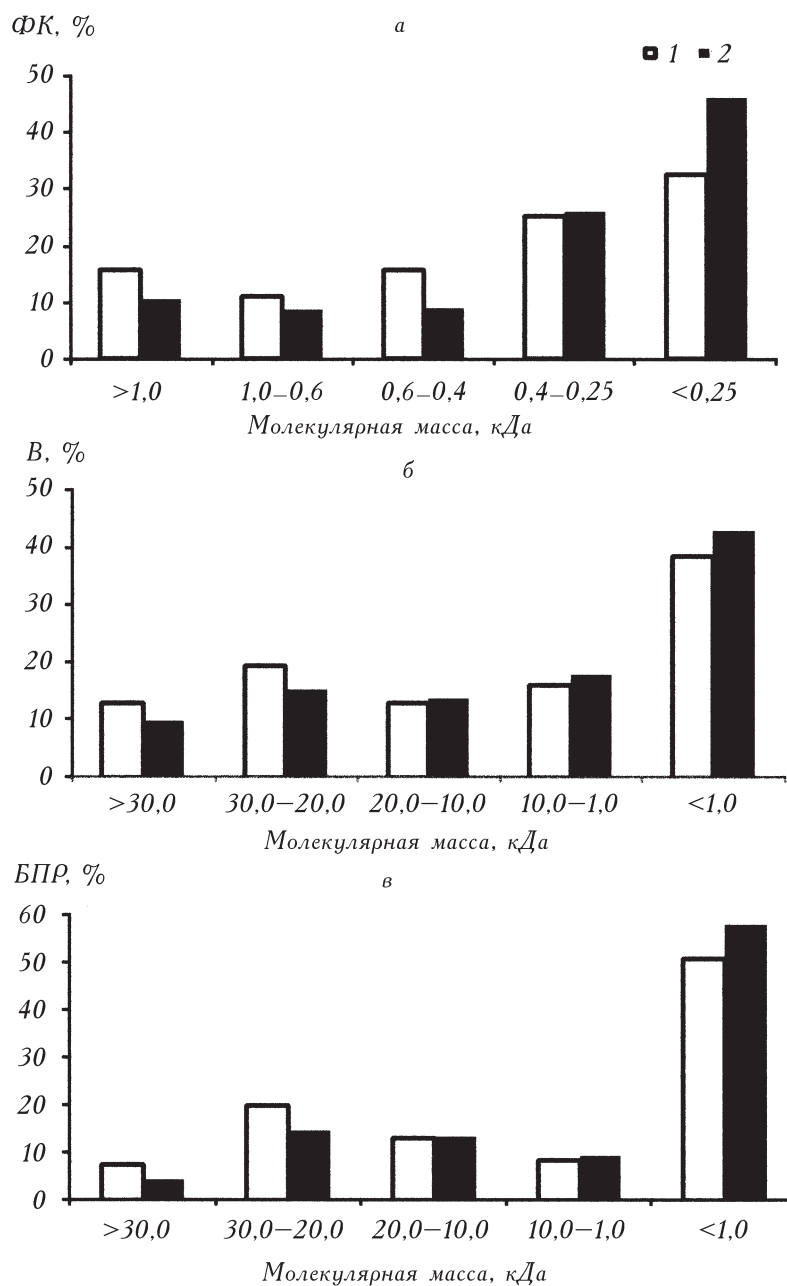
4. Загальний вміст РОР ($C_{\text{орг}}$), абсолютний і відносний вміст окремих груп РОР у воді оз. Райдужного, 2015 р.

Пори року	$C_{\text{орг}}$, мг/дм ³	ГК, мг/дм ³	% $C_{\text{орг}}$	ФК, мг/дм ³	% $C_{\text{орг}}$	В, мг/дм ³	% $C_{\text{орг}}$	БПР, мг/дм ³	% $C_{\text{орг}}$
Поверхневий шар									
Зима	5,1	0,38	3,7	3,90	38,2	1,20	11,8	0,43	4,2
Весна	7,1	0,70	4,9	4,50	31,7	2,30	16,2	0,53	3,7
Літо	13,4	0,40	1,5	4,00	14,9	3,40	12,7	0,70	2,6
Осінь	11,5	0,36	1,6	3,80	16,5	3,00	13,0	0,55	2,4
Придонний шар									
Весна	6,4	0,60	4,7	3,80	29,7	2,00	15,6	0,42	3,3
Літо	11,5	0,46	2,0	4,50	19,6	4,00	17,4	0,76	3,3
Осінь	10,4	0,30	1,4	3,70	17,8	2,70	22,6	0,48	2,3

нюються також автохтонним гумусом [23, 31]. Максимальні концентрації В і БПР спостерігали влітку (відповідно 3,40 і 0,70 мг/дм³), що співпадало з динамікою показників ХСК та ПО і пов'язане, насамперед, з високою фотосинтетичною активністю фітопланктону [1, 36, 51].

У придонному шарі води концентрація усіх компонентів РОР була найвищою влітку, за винятком ГК (хоча сумарний вміст гумусових речовин також був максимальним — 4,96 мг/дм³). В цей час, як було зазначено вище, відбувається десорбція РОР з донних відкладів через дефіцит кисню (1,8 мг/дм³) і відповідне йому зниження рН, що може зумовлювати надходження РОР до придонного горизонту води [3, 27]. Отже, влітку у придонному шарі води концентрація В і БПР (відповідно 4,00 і 0,76 мг/дм³), ГК і ФК (0,46 і 4,50 мг/дм³) навіть перевищувала аналогічні показники на поверхні. Але, як свідчать результати гідрологічних досліджень оз. Райдужного, температурна стратифікація водної товщі і наявність температурного стрибка у літній період перешкоджають надходженню біогенних і органічних речовин з нижніх горизонтів до поверхневого шару води [9, 45]. А восени через вітрове переміщення води і встановлення вертикальної гомотермії (18 °С) знову спостерігали поступове зниження концентрацій усіх органічних сполук в обох шарах води з перевагою у поверхневому шарі, що, враховуючи діяльність аеробної і анаеробної мікрофлори [18], свідчить про хорошу самоочисну здатність водойми.

У таблиці 4 наведено також дані стосовно загального вмісту РОР у перерахунку на $C_{\text{орг}}$ і масові частки окремих груп РОР у відсотках від $C_{\text{орг}}$. Найбільша масова частка у загальному складі РОР відповідала гумусовим речовинам (сума ГК і ФК) і становила 16,4—41,9% (у середньому 26,9%); В складала 11,8—22,6% (у середньому 15,6%), а БПР — лише 2,3—4,2% (у середньому 3,1%) від загального $C_{\text{орг}}$. Серед «некласифікованих» РОР певну частку можуть становити забруднювальні речовини різного походження [2, 7]. Такий розподіл досліджуваних нами сполук узгоджується з літературними да-



2. Молекулярно-массовий розподіл ФК (а), В (б) й БПР (в) у воді оз. Райдужного навесні (1) і влітку (2) 2016 р.

ними стосовно озер евтрофного типу [19, 21, 39], що характеризуються невисокою концентрацією гумусових речовин порівняно з річками [20, 31] і водосховищами [22, 33], де їхній вміст за розрахунками оцінюється в 50% і більше від загального вмісту $C_{орг}$. Додатковим джерелом водного гумусу у

міських водоймах і водотоках можуть слугувати продукти стічних вод, структура яких дуже близька до ґрунтових ГК і ФК за елементним складом, кисневими групами і іншими параметрами [52]. Це відображається на показниках ХСК, на основі яких розраховуються частки окремих груп РОР. Тому нарівні з коефіцієнтами перерахунку концентрації ГК і ФК на $C_{орг}$ [19, 21] у сучасних дослідженнях застосовуються також методи визначення $C_{орг}$ за специфічними спектрами флуоресценції природної води, яким відповідають окремі компоненти РОР [7].

Як видно з наведених результатів, сезонні коливання вмісту ГК, ФК, В і БПР співпадали у часі з продукційно-деструкційними процесами у водоймі [4, 6, 18]. Залежно від цього змінювались і кількісні співвідношення досліджуваних сполук з різною молекулярною масою (ММ). Для аналізу сезонних особливостей компонентного складу РОР ми вивчали молекулярно-масовий розподіл (ММР) зазначених РОР навесні (під час повені) і влітку (за найвищого вмісту РОР у воді).

На рисунку 2 представлено ММР ФК, В і БПР у воді оз. Райдужного у ці пори року. Можна відмітити, що спільним у розподілі наведених груп РОР було зменшення влітку частки високомолекулярних сполук і збільшення частки низькомолекулярних сполук порівняно з весняним періодом.

Для ФК ця різниця була найбільшою і становила 5,0% для фракцій з ММ >1000 Да та 13,5% — для фракцій з ММ < 250 Да. Ймовірно, навесні значну частку алохтонних гумусових речовин можуть становити саме високомолекулярні малотрансформовані ФК [29, 33], в той час як влітку переважають більш рухливі низькомолекулярні ФК [52]. Суттєва перевага навесні легкоокиснюваних речовин (В і БПР) з ММ 20—30 кДа та > 30 кДа може свідчити про активізацію продукційних процесів [4, 19, 53], що підтверджується високим вмістом розчиненого у воді кисню (див. табл. 3). А посилення деструкційних процесів влітку [3, 15], навпаки, призводить до трансформації РОР, збільшення частки їхніх низькомолекулярних фракцій, більш придатних для засвоєння гідробіонтами. Така ситуація також добре впливає на самоочисну здатність водойми [45].

Висновки

Отже, вивчення внутрішньорічного і сезонного розподілу РОР за величинами ХСК й ПО у взаємозв'язку з основними гіdroхімічними показниками води та вмісту окремих груп РОР підтвердило евтрофний статус оз. Райдужного. Показники ХСК й ПО у досліджувані періоди змінювались відповідно в межах 13,2—51,2 та 3,5—17,3 мг О/дм³. Просторовий розподіл органічних сполук показав незначне перевищення їхнього вмісту у воді поверхневого шару порівняно з придонним.

Сезонна динаміка концентрації РОР вирізнялась істотними коливаннями зазначених величин. Максимальні показники ХСК й ПО в обох шарах води припадали на літній період і в декілька разів перевищували їхні зимові показники. Але якщо велика концентрація органічних сполук у поверхневому шарі (на фоні високого вмісту кисню) свідчить, зазвичай, про активний перебіг продукційних процесів у

водоймі, то значне підвищення концентрації РОР у придонному шарі за різкого дефіциту кисню може бути наслідком їхньої десорбції з донних відкладів і призводити до вторинного забруднення водного середовища.

Загальною закономірністю порівняльного просторового розподілу окремих компонентів РОР — ГК, ФК, В і БПР — було їхнє домінування навесні та восени у поверхневому шарі, а влітку — у придонному шарі води. Концентрація ГК і ФК коливалася відповідно в межах 0,38—0,70 та 3,80—4,50 мг/дм³, В і БПР — в межах 1,20—4,00 та 0,42—0,76 мг/дм³.

На підставі розрахунків $C_{\text{орг}}$ за даними ХСК визначено середні величини масових часток окремих органічних компонентів у загальному складі РОР: найвищі значення відповідали гумусовим речовинам (сума ГК та ФК) — 26,9%, В становили 15,6%, БПР — лише 3,1% від загального вмісту $C_{\text{орг}}$.

Залежно від сезонних коливань концентрації окремих компонентів РОР у воді змінювались і кількісні співвідношення досліджуваних сполук з різною ММ. Молекулярно-масовий розподіл ФК, В і БПР показав, що влітку зменшувалась частка високомолекулярних і збільшувалась частка низькомолекулярних сполук порівняно з весняним періодом, що відображає динаміку продукційно-деструкційних процесів у воді у різні пори року і в комплексі з іншими гідрохімічними показниками свідчить про хорошу самоочисну здатність водойми.

Одержані результати з просторового і сезонного розподілу РОР добре узгоджуються з гідрологічними даними вчених Інституту гідробіології НАН України стосовно динамічної активності водних мас, самоочисного потенціалу та температурної стратифікації водної товщі оз. Райдужного і потребують подальших комплексних досліджень.

**

Представлены и проанализированы результаты исследований распределения растворенных органических веществ в воде оз. Радужного в 2015—2016 гг. В частности, определены внутригодовые и сезонные величины общего содержания растворенных органических веществ по показателям химического потребления кислорода и перманганатной окисляемости воды, а также сезонная динамика концентрации их отдельных компонентов — гуминовых кислот, фульвокислот, углеводов и белковоподобных веществ — в поверхностном и придонном слоях воды. Приведены основные гидрохимические характеристики водоема: рН, концентрация растворенного кислорода, степень насыщения воды кислородом. Описаны сезонные изменения в соотношении фракций фульвокислот, углеводов и белковоподобных веществ с различной молекулярной массой. Рассчитаны концентрации органического углерода и массовые доли отдельных органических компонентов в общем содержании растворенных органических веществ.

**

The results of investigations of the dissolved organic substances distribution in water of the Rayduzhny lake (Kyiv City) in 2015—2016 are presented and analysed. In particular the annual and seasonal values of the total dissolved organic substances content are defined by parameters of chemical oxygen demand and permanganate oxidizability of water. Also the seasonal dynamics of such different organic compounds as humic acids, fulvic acids, carbo-

hydrates, and protein-like substance into the surface and bottom water layers are considered. The major hydrochemical characters of water body: pH, dissolved oxygen concentration, degree of oxygen saturation of water are studied. The seasonal changes of percentage of fulvic acids, carbohydrates, and protein-like substance fractions with different molecular mass are described. The concentrations of organic carbon and mass parts of different organic compounds in the total dissolved organic substances content are calculated.

**

1. Афанасьева О.А., Багацька Т.С., Оляницька Л.Г. та ін. Екологічний стан кийвських водойм. — К.: Фітосоціцентр, 2010. — 256 с.
2. Бородавченко И.И., Зарубаев Н.В., Васильев Ю.С. и др. Охрана водных ресурсов. — М.: Колос, 1979. — 247 с.
3. Бреховских В.Ф. Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов. — М.: Наука, 1988. — 168 с.
4. Васильчук Т.А., Клоченко П.Д. Динамика содержания биогенных и органических веществ в некоторых притоках Днепра и ее связь с развитием фитопланктона // Гидробиол. журн. — 2001. — Т. 37, № 1. — С. 36—47.
5. Верес Ю.К., Остапеня А.П. Содержание лабильного органического вещества в воде озер нарочанского региона // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. — 2011. — № 2. — С. 45—49.
6. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. — Минск: Изд-во АН БССР, 1960 — 329 с.
7. Горшкова О.М., Пацаева С.В., Фегосеева Е.В. и др. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды // Вода: химия и экология. — 2009. — № 11. — С. 31—37.
8. Горюнова С.В. Закономерности процесса антропогенной деградации водных объектов: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — М.: 2006. — 40 с.
9. Дараган С.В. Еколого-гідрологічні показники озера Райдужне (Київ) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2011. — № 2. — С. 75—84.
10. Дебейко Е.В., Рябов А.К., Набиванец Б.И. Прямое фотометрическое определение растворимых белков в природных водах // Гидробиол. журн. — 1973. — Т. 9, № 6. — С. 109—113.
11. Ефремова Т.А., Сабылина А.В., Лозовик В.А. Лабильные органические вещества (углеводы, липиды и белки) в Онежском озере // Тр. Карел. науч. центра РАН. — 2013. — № 6. — С. 96—104.
12. Зобкова М.В., Ефремова Т.А., Лозовик П.А., Сабылина А.В. Органическое вещество и его компоненты в поверхностных водах гумидной зоны // Успехи совр. естествознания. — 2015. — № 12. — С. 115—120.
13. Израэль Ю.А. Экология и контроль природной среды. — М.: Гидрометеоиздат, 1984. — 560 с.
14. Йоргенсен С.Э. Управление озерными системами. — М.: Агропромиздат, 1985. — 160 с.
15. Клоченко П.Д., Шевченко Т.Ф., Харченко Г.В. Структурно-функциональная организация фитопланктона в зарослях и на открытых участках озер г. Киева // Гидробиол. журн. — 2015. — Т. 51, № 1. — С. 49—65.
16. Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. — СПб.: Наука, 1988. — 168 с.

17. Кудерский Л.А., Румянцев В.А., Кулибаба В.В. Изменение экологического состояния озер в связи с антропогенным влиянием. — СПб.: Ин-т озероведения РАН, 2002. — 63 с.
18. Кузнецов С.И. Микрофлора озер и ее гидрохимическая деятельность. — Л.: Наука, 1970. — 440 с.
19. Кулиш Т.П. Трансформация различных форм органического вещества вод Ладожского озера в условиях антропогенного эвтрофирования: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — СПб.: 1996. — 24 с.
20. Левшина С.И. Гумусовые кислоты в речных водах Приамурья // Геогр. и прир. ресурсы. — 2006. — № 2. — С. 101—105.
21. Левшина С.И., Шамов В.В., Ким В.И. Органическое вещество в воде припойменных озер нижнего Амура // Вод. ресурсы. — 2007. — Т. 34, № 5. — С. 596—603.
22. Линник П.Н., Васильчук Т.А., Линник Р.П. Гумусовые вещества природных вод и их значение для водных экосистем (обзор) // Гидробиол. журн. — 2004. — Т. 40, № 1. — С. 81—107.
23. Лозовик П.А., Морозов А.К., Зобкова М.В. и др. Alloхтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водн. ресурсы. — 2007. — Т. 34, № 2. — С. 225—237.
24. Лурье Ю.Ю. Об общих показателях загрязнения вод // Пробл. аналит. химии. — 1977. — Т. 5. — С.14—20.
25. Меншуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н. Моделирование экосистем пресноводных озер (обзор) // Водн. ресурсы. — 2014. — Т. 41, № 1. — С. 24—38.
26. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод // За ред. В. Д. Романенка. — К.: Логос, 2006. — 408 с.
27. Мингазова Н.М. Антропогенные изменения и восстановление экосистем малых озер (на примере Среднего Поволжья): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — СПб.: 1999. — 50 с.
28. Моисеенко Т.И. Изменчивость экосистем в условиях антропогенных нагрузок и закономерности их восстановления // Озера Евразии: проблемы и пути решения: Материалы 1-й Междунар. конф., Петрозаводск, 11—15 сент. 2017 г. — Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2017. — С. 103—109.
29. Молчанова Я.П., Заика Е.А., Бабкина Э.И., Сурнин В.А. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. — М.: Форум, 2007. — 192 с.
30. Науменко М.А. Эвтрофирование озер и водохранилищ: учеб. пособие. — СПб.: РГГМУ, 2007. — 100 с.
31. Новиков М.А., Харламова М.Н. Трансбиотические факторы в водной среде (обзор) // Журн. общ. биологии. — 2000. — Т. 61, № 1. — С. 22—24.
32. Оксюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. — 1993. — Т. 29, № 4. — С. 62—74.
33. Осагча Н.М. Закономірності міграції гумусових речовин у поверхневих водах України: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. — К.: 2011. — 30 с.

34. *Осагча Н.М., Клебанова Н.С., Осагчий В.І.,Набиванець Ю.Б.* Адаптація системи моніторингу поверхневих вод державної гідрометеорологічної служби МНС України до положень Водної Рамкової Директиви ЄС // Наук. пр. УкрНДГМІ. — 2008. — Вип. 257. — С. 146—161.
35. *Осагчий В.І., Осагча Н.М., Мостова Н.М.* Вплив урбанізованих територій на хімічний склад поверхневих вод басейну Дніпра // Наук. пр. УкрНДГМІ. — 2002. — Вип. 250. — С. 242—261.
36. *Осипенко В.П., Васильчук Т.О., Євтух Т.В.* Сезонна динаміка вмісту основних груп органічних речовин у різних водних об'єктах // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2012. — Т. 1 (26). — С. 134—140.
37. *Осипенко В.П., Євтух Т.В.* Залежність процесів обміну органічними речовинами між донними відкладами і водою від деяких абіотичних чинників // Там же.— 2008. — Т.15. — С.113—115.
38. *Попович Г.М.* Сорбционное концентрирование и спектрофотометрическое определение гуминовых и фульвокислот в водах: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. — К.: 1990. — 23 с.
39. *Рижинашвили А.Л.* Показатели содержания органических веществ и компоненты карбонатной системы в природных водах в условиях интенсивного антропогенного воздействия // Вестн. СПб ун-та. Сер. 4. — 2008. — Вып. 4. — С. 90—101.
40. *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши /* Под ред. А. Д. Семенова. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 542 с.
41. *Сироткина И.С., Варшал Г.М., Лурье Ю.Ю., Степанова Н.П.* Применение целлюлозных сорбентов и сефадексов в систематическом анализе органических веществ природных вод // Журн. аналит. химии. — 1974. — Т. 29, № 8. — С. 1626—1632.
42. *Скопинцев Б.А.* Взвешенное и растворенное органическое вещество в природных водах по экспериментальным данным и натурным наблюдениям // Микробиологические и химические процессы деструкции органического вещества в водоемах. — Л.: Наука, 1979. — С. 236—256.
43. *Скопинцев Б.А., Гончарова И.А.* Использование значений соотношений-различных показателей органического вещества природных вод для его качественной оценки // Современные проблемы региональной и прикладной гидрохимии. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — С. 95—117.
44. *Степанова И.Э.* Характеристики органического вещества в Рыбинском водохранилище на современном этапе // Вода: химия и экология. — 2015. — № 10. — С. 3—10.
45. *Тимченко В.М.* Экологическая гидрология водоемов Украины. — Киев: Наук. думка, 2006. — 384 с.
46. *Хендерсон-Селмерс Б., Маркленд Х.* Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 279 с.
47. *Хильчевский В.К., Бойко А.В.* Гидролого-гидрохимическая характеристика озер и прудов Киева // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2005. — № 2. — С. 529—535.

48. Шилькром Г.С. Биогеохимические процессы и потоки веществ и энергии в нарушенных водных экосистемах // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2008. — № 3. — С. 35—44.
49. Benner R. Molecular indicators of the bioavailability of dissolved organic matter // Aquatic Ecosystems: Interactivity of Dissolved Organic Matter. — Amsterdam: Elsevier, 2003. — P. 121—137.
50. Jorgensen N. Carbohydrate // Encyclopedia of inland waters / Ed. by G. E. Likens. — Oxford: Elsevier Science, 2009. — Vol. 2. — P. 727—742.
51. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Vasilchuk T.A. et al. On the ecology of phytoepiphyton of water bodies of the Dnieper river basin // Hydrobiol. J. — 2014. — Vol. 50, N 3. — P. 41—54.
52. Manka J., Robhum M., Mandelbaum A., Bortinger A. Characterization of organics in secondary effluents // Environ. Sci. and Technol. — 1974. — Vol. 8 (12). — P. 1017—1020.
53. Osipenko V.P. Seasonal and spatial changes in the content and molecular mass distribution of carbohydrates in the surface waters // Hydrobiol. J. — 2014. — Vol. 50, N 5. — P. 89—98.
54. Vasilchuk T.A., Osipenko V.P., Yevtukh T.V. Peculiarities of migration and distribution of the main groups of organic matter in the water of the Kiev reservoir depending on the oxygen regime // Hydrobiol. J. — 2011. — Vol. 47, N 6. — P. 97—106.
55. Wetzel R.G. Limnology: lake and river ecosystems. — San Diego: Academic Press, 2001.—1006 p.
56. Winter T.C., Harvey J.W., Franke O.L., Alley W.M. Ground water and surface water: a single resource // U.S. Geological Survey Circular 1139. — Denver — Colorado, 1998. — 237 p.
57. Wojcik W., Osypenko V.P., Osypenko V.V. et al. Hydroecological investigations of water objects located on urban areas // Environmental Engineering V. / Ed. by Pawlowska & Pawlowski. — London: CRC Press, 2016. — P. 155—160.