

УДК: 546.21 (285.2)

І.Е. СТЕПАНОВА, наук. співроб.,
Інститут біології внутрішніх вод РАН,
сел. Борок, Некоузський р-н, Ярославська обл., РФ
ORCID 0000-0001-6726-4586

ВМІСТ РОЗЧИНЕНОГО КИСНЮ У ВОДОСХОВИЩАХ ВОЛГИ¹

Проведено порівняльний аналіз вмісту розчиненого кисню (РК) і ступеня насичення ним води у поверхневому і придонному шарах водосховищ Волги у літній період 2015—2016 рр. У водосховищах Верхньої Волги — Углицькому і Іваньківському вміст РК часто був нижче ГДК для водойм рибогосподарського призначення. У придонному шарі по всій акваторії водосховищ відзначався гострий дефіцит розчиненого кисню: в Углицькому у 10—45 % випадків його вміст був нижче 2 мг/дм³, а у Іваньківському — у 75 %. У водосховищах Середньої і Нижньої Волги концентрація РК була у межах, сприятливих для існування і розвитку водних організмів завдяки вітровому перемішуванню і швидкій течії, особливо у пониззі річки.

Ключові слова: Волга, водосховища, розчинений кисень.

Вміст основних розчинених газів (азот, кисень, вуглекислий газ, метан, водень) у водосховищах і річках характеристикою їх газового режиму та враховується при оцінці екологічного і санітарного стану. Одним з істотних показників є вміст розчиненого кисню (РК), оскільки він відображає багато процесів, що відбуваються у водоймах, як продукційно-деструкційних, так і гідродинамічних, і служить їх інтегральним показником. Вміст кисню у водоймах має бути достатнім для забезпечення дихання всіх водних організмів і окиснення хімічних речовин при самоочищенні водойм. У перші роки існування проводили постійний моніторинг вмісту РК у поверхневому і у придонному шарах окремих водосховищ [8, 9, 12]. Однак комплексних одночасних досліджень по всій довжині річки не проводили, що зумовило або відсутність даних про вміст розчиненого кисню по каскаду волзьких водосховищ, або їх наявність лише стосовно поверхневого шару води [4].

Метою роботи було на підставі даних про вміст кисню (мг/дм³) і ступеня насичення (%) їм води у водосховищах Волги дати сучасну оцінку їх стану.

¹ Робота виконана у рамках державного завдання АААА-А18-118012690104-3.

Матеріал і методика досліджень. Дані отримані під час комплексних експедицій по Волзьким водосховищам у 2015—2016 рр. Воду відбирали батометром Руттнера у поверхневому і придонному шарах і заповнювали спеціальні кисневі склянки. Вміст кисню визначали методом Вінклера [14]. Ступінь насичення води розраховували, виходячи з таблиці розчинності кисню у воді при певній температурі води і атмосферного тиску. Були обстежені Углицьке, Іваньківське, Горьківське, Чебоксарське, Куйбишівське, Саратовське, Волгоградське водосховища, незарегульована ділянка Нижньої Волги у літній період, Рибінське водосховище досліджено протягом усього року на шести стандартних станціях (Копріно, Молога, Наволок, Ізмайлово, Середній Двір, Брейтово) і у літній період за розширеною схемою (основні характеристики всіх досліджених водосховищ наведені у табл. 1).

Результати досліджень та їх обговорення

Рибінське водосховище. Вода Рибінського водосховища у досліджений період рідко була повністю насиченою РК, але його рівень був достатнім для розвитку і життєдіяльності водних організмів. Раніше зазначалося [16], що у придонних шарах води вміст РК не знижувався до аналітичного нуля навіть при найбільш вираженій на деяких станціях

Таблиця 1

Основні характеристики Волзьких водосховищ

Водосховища	Об'єм, км ³	Площа, км ²	Довжина, км	Глибина, м		Відстань від гирла, км	Рік заповнення
				середня	найбільша		
Верхня Волга							
Іваньківське	1,12	327	120	3,5	19,0	2970	1937
Углицьке	1,25	249	143	5,0	23,0	2834	1940
Рибінське	25,4	4550	250	5,6	30,4	2723	1941—1947
Горьківське	8,82	1590	430	5,5	21,0	2275	1955—1957
Середня Волга							
Чебоксарське	12,6	2180	335	5,8	25	1954	1981
Куйбишівське	58,0	6450	484	8,9	40,0	1470	1955—1957
Нижня Волга							
Саратовське	12,8	1830	348	7,3	32,0	1122	1967—1968
Волгоградське	31,5	3120	546	10,1	41,0	576	1958—1960

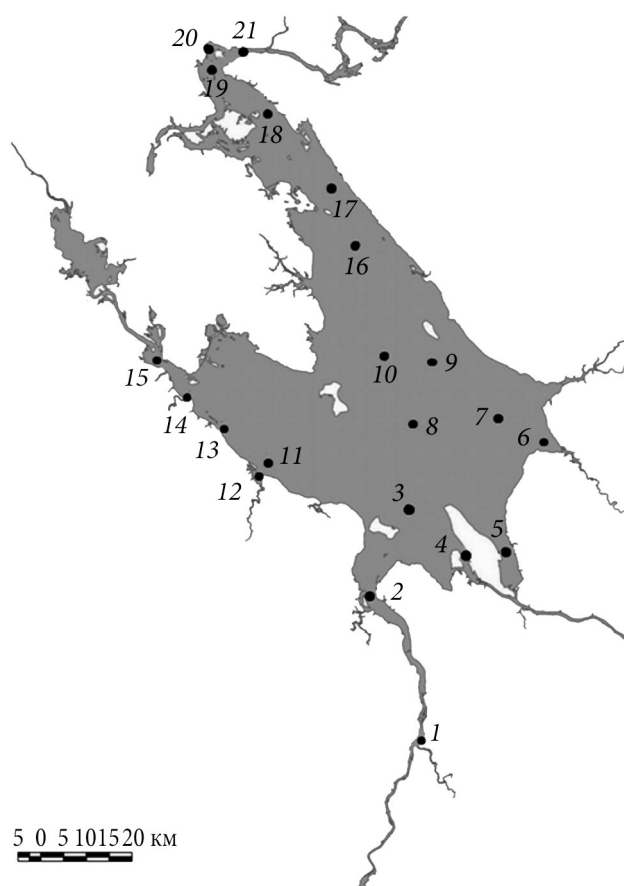


Рис. 1. Карта-схема відбору проб води у Рибінському водосховищі: 1 — Мишкін; 2 — Копріно; 3 — Молога; 4 — Каменнікі; 5 — Волково; 6 — гирло р. Ухри; 7 — Всехсвятское; 8 — Наволок; 9 — Измайлово; 10 — Середній Двір; 11 — Брейтово; 12 — гирло р. Сіті; 13 — Первомайські острови; 14 — гирло р. Себли; 15 — Протів'є; 16 — Мякса; 17 — Любець; 18 — Ваганіха; 19 — Торово; 20 — р. Кошта

термічній стратифікації, яка у Рибінському, та й в інших рівнинних водосховищах такого типу трапляється рідко [5]. Це зумовлено мілководністю і великою площею водосховища, а також сильною вітровою активністю, характерною для зони його розташування, що сприяє інтенсивному перемішуванню і аерації усіх шарів води, тому дефіцит кисню у цілому для Рибінського водосховища не характерний. Площа заростання вищими водними рослинами невелика і варіює залежно від рівня води від 1 до 7 %, що також може бути причиною відсутності кисневої стратифікації. Пізньої осені (листопад 2016 р.) вміст кисню на всіх стандартних станціях був максимальним (14 мг/дм^3), а ступінь насичення становив 90—100 %. Зимовий режим РК визначався насамперед високою осінньою насиченістю. Запасів O_2 вистачає на більшу частину періоду льодоставу. Невелику роль у підтримці рівня вмісту кисню грає епізодичний підлідний фотосинтез на безсніжних ділянках. Взимку концентрація кисню

Таблиця 2

Вміст кисню і ступінь насичення у Рибінському водосховищі на стандартних станціях спостереження

Станції	Поверхневий шар		Придонний шар	
	мг/дм ³	насичення, %	мг/дм ³	насичення, %
2015 р.				
3 лютого				
Брейтово	8,2	58,4	15,0	101,2
Молога	8,16	57,1	9,0	61,9
19 лютого				
Копріно	9,22	62,9	8,3	57,2
Молога	8,75	59,7	8,5	59,1
13 березня				
Копріно	8,17	56,1	7,9	55,7
Молога	8,62	59,7	8,2	56,6
17 травня				
У середньому *	9,9	94,1	8,7	77,5
17 червня				
Копріно	7,9	84,2	4,7	47,7
Молога	7,8	86,0	7,3	76,3
22 липня				
Копріно	7,8	83,5	6,2	65,6
Молога	7,8	84,0	6,9	72,9
У середньому *				
18 серпня	7,9	81,2	7,4	75,9
19 вересня	8,0	79,4	7,8	77,0
2016 р.				
5 травня	11,4	99,5	10,2	83,0
20 травня	10,1	94,2	9,2	83,4
30 травня	9,3	100,4	6,6	61,8
22 липня	7,9	90,5	7,08	80,7
7 серпня	7,4	86,9	6,47	75,4
16 вересня	8,6	83,2	8,5	80,9
12 жовтня	10,7	90,6	10,4	88,2
2 листопада	13,2	95,2	12,9	93,8

* Середнє значення по шести стандартним станціям.

по всій товщі води становила 10—11 мг/дм³, ступінь насичення — 57—62 %. Зменшенню концентрації РК взимку також сприяє окиснення метану, яке найчастіше відбувається у місцях скупчення мулових відкладень. Утворений у мулі СН₄ може накопичуватися під льодом у значній кількості, спричинюючи інтенсивний розвиток метанокиснюючих бактерій, у результаті чого споживання РК на окиснення метану до вуглекислого газу зростає.

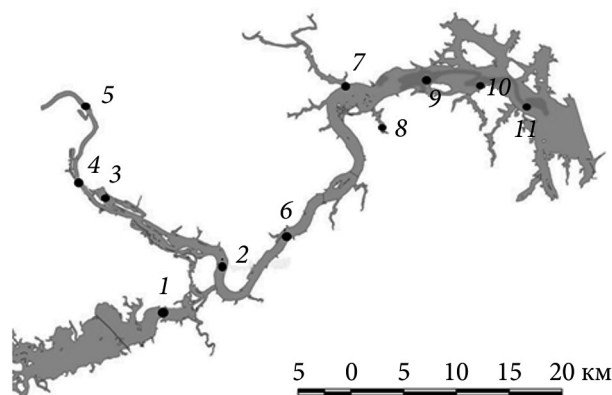


Рис. 2. Карта-схема відбору проб води в Іваньківському водосховищі: 1 — Шошинська затока; 2 — вище р. Шоши; 3 — Видогощ; 4 — Городня; 5 — Лисиці; 6 — Свердловце; 7 — гирло р. Созь; 8 — Мошковицька затока; 9 — Корчова; 10 — Уходово; 11 — Липня.

Його вміст зменшується переважно у верхніх шарах води, в результаті чого спостерігається досить рідкісний ефект «перевернутого дна», або зворотна стратифікація по кисню, коли його вміст у придонному шарі стає вищим, ніж у поверхневому. Це явище відзначено на ст. Брейтово у 2016 р. (у поверхневому і придонному шарі відповідно 8,0 і 15 мг/дм³, табл. 2). На початку весни вміст РК зменшувався до 8 мг/дм³ і зростав у травні (період повені) до 9—11 мг/дм³, що також зазначалося раніше [12]. У літній період концентрація РК становила 7,5—9,0 мг/дм³. Літній мінімум зумовлений відносно слабкою аерацією, посиленою деструкцією органічних речовин, диханням фіто- і зоопланктону. У цей час фотосинтезу не вистачає для підтримки вмісту РК на весняному і осінньому рівнях. Різниця концентрацій між поверхневим і придонним шарами на стандартних станціях води під час досліджень навіть у безвітряну погоду

Таблиця 3

Вміст розчиненого кисню у воді плес Рибінського водосховища, серпень 2016 р.

Плеса	Поверхневий шар		Придонний шар	
	мг/дм ³	насичення, %	мг/дм ³	насичення, %
Волзьке	6,73	79,2	5,42	63,0
Центральне	7,80	91,2	6,25	72,2
Молозьке	7,01	81,7	5,91	68,8
Шекснїнське	7,86	91,2	7,23	83,1
У середньому	7,46	87,2	6,18	71,5

влітку не перевищувала 3 мг/дм³. Мінімальні значення у поверхневому і придонному шарах відмічені на ст. Копріно, розташованій у найбільш продуктивному Волзькому плесі у серпні 2016 р. — відповідно 5,9 і 4,8 мг/дм³.

У серпні 2016 р. нульовий вміст РК у придонному шарі зареєстрований лише у гирлі р. Сіті. В результаті постійного окиснення органічних речовин аллохтонного і автохтонного походження, розчинених газів, наприклад, метану, що надходять з донних відкладень, у серпні недонасиченість води киснем у поверхневому шарі досягала 9—30 %, у придонному — 12—100 %. Мінімальний вміст РК в обох шарах характерний для Волзького плеса. Максимальна середня різниця вмісту РК була у Центральному плесі, мінімальна — у Шекснїнському, так само, як і ступеня насичення води киснем (табл. 3).

Іваньківське водосховище досліджували на мережі станцій (рис. 2). Влітку 2015 р. у верхньому шарі практично на всіх досліджених станціях відмічена недонасиченість води киснем (від 3 до 15 %, табл. 4), що пояснюється переважанням деструкційних процесів над продукційними. Мінімальне значення зареєстроване на ст. Городня. Середнє значення вмісту РК у поверхневому шарі становило 7,03 мг/дм³ і не відрізнялося від встановленого у 1970-ті роки (7,2 мг/дм³, [7]) і в 2009 р. (7,5 мг/дм³, [4]). У придонних шарах глибокий дефіцит кисню спостерігався у 70 % випадків. В озерній частині (ст. Видогощ) дефіциту не відмічено ні разу. Низький вміст розчиненого кисню у придонних шарах води у період температурної стратифікації зазначали і раніше (1968—1976 рр.) [1]. Найменшим вміст РК в обидва роки був на Іваньківському плесі. У 2016 р. у поверхне-

Таблиця 4

Вміст розчиненого кисню і ступінь насичення води Іваньківського водосховища

Плеса	Поверхневий шар		Придонний шар	
	мг/дм ³	насичення, %	мг/дм ³	насичення, %
2015 р.				
Волзьке	7,22	86,2	2,81	35,9
Іваньківське	6,99	80,0	1,95	22,0
Шошинське	7,38	85,0	7,25	83,5
У середньому	7,03	83,3	2,94	33,9
2016 р.				
Волзьке	6,70	82,7	1,91	24,5
Іваньківське	5,30	63,3	2,10	24,5
Шошинське	11,8	142,5	5,27	61,6
У середньому	6,52	79,3	2,30	27,8

вому шарі води на ст. Видогощ і Городня він не перевищував 5 мг/дм^3 , а насичення відповідно 50 і 55 %. У придонних шарах води також відзначалася його гостра нестача (у 70 % випадків по всій водоймі). Це зумовлено тим, що, незважаючи на невеликі глибини (середня 3,4 м, див. табл. 1), повного перемішування шарів води не відбувається через невеликий розгін хвилі і невисоку швидкість течії. Важливу роль у формуванні кисневого режиму відіграє його мілководність (площа мілководь становить трохи більше половини площі водойми) і ступінь заростання (заросла частка всієї акваторії становить 27,5 %, а мілководь — 62 %). На Іваньківському плесі також знаходиться велика кількість островів і зарослих заток. У зв'язку зі значною масою вищих водних рослин (приблизно 300 т сирової маси) на багатьох ділянках водойми, заострівних мілководдях і затоках утворюються сплавини загальною площею 50 км^2 . Надмірний ріст рослин викликає замулення і заболочування мілководь, а біохімічне розкладання рослинної біомаси зумов-

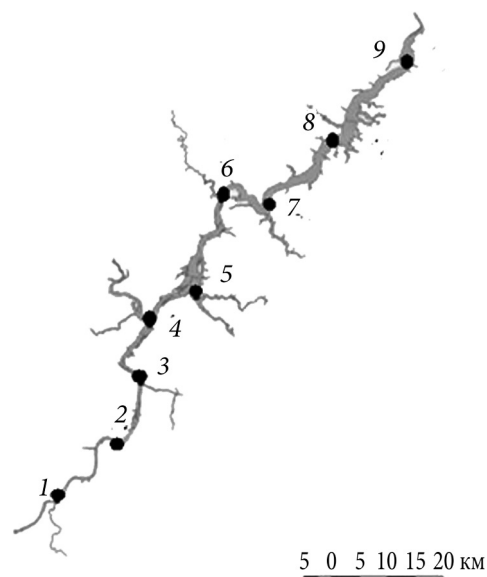


Рис. 3. Карта-схема відбору проб на Углицькому водосховищі: 1 — Дубна; 2 — Кімри; 3 — Білий Городок; 4 — Ведмедиця; 5 — гирло р. Нерлі; 6 — Кашинка; 7 — Калязін; 8 — Прилуки; 9 — Гріхів струмок.

Таблиця 5

Вміст розчиненого кисню і насичення води Углицького водосховища

Ділянки	Поверхневий шар		Придонний шар	
	мг/дм ³	насичення, %	мг/дм ³	насичення, %
2015 р.				
Волзька	10,4	120,0	4,48	44,0
Пригреблева	8,72	99,8	4,68	52,5
У середньому	9,4	109,0	4,60	48,7
2016 р.				
Волзька	6,97	84,4	1,26	14,5
Пригреблева	6,00	72,6	3,15	37,1
У середньому	6,40	77,8	2,30	27,7

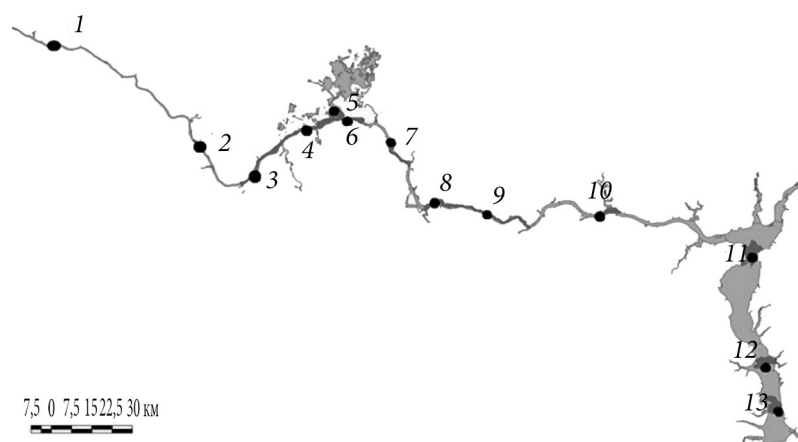


Рис. 4. Карта-схема відбору проб води у Горьківському водосховищі: 1— Копаєва; 2 — Толга; 3 — Туношна; 4 — Красний Профінтерн; 5 — Подільське розширення; 6 — гирло Сіземов; 7 — нижче Костроми; 8 — нижче Волгореченська; 9 — Плес; 10 — Кінешма; 11 — Юр'євець; 12 — Пучеж; 13 — Чкаловськ

лює зниження концентрації РК. Важливе значення має і інтенсивне антропогенне забруднення і склад донних відкладів. Відомо, що значну частку площі дна водойми займають мулисті відклади — 38 % [7].

Углицьке водосховище (рис. 3). Гідрохімічний режим основної маси водойми визначається переважно водними масами, які пройшли трансформацію в Іваньківському водосховищі, що зазначає антропогенний вплив, внаслідок чого його води характеризуються високим вмістом біогенних і органічних речовин. Приблизно такий же вміст РК характерний і для Углицького водосховища, проте біомаса і первинна продукція у ньо-

Таблиця 6

**Вміст розчиненого кисню і ступінь насичення у воді
Горьківського водосховища**

Ділянка	Поверхневий шар		Придонний шар	
	мг/дм ³	насичення, %	мг/дм ³	насичення, %
2015 р.				
Річкова	7,72	83,3	7,14	76,1
Озерна	8,65	92,6	7,20	75,5
У середньому	7,93	85,9	7,15	75,9
2016 р.				
Річкова	8,31	90,0	7,11	68,8
Озерна	9,53	105,2	5,85	57,6
У середньому	8,59	93,5	6,82	66,2

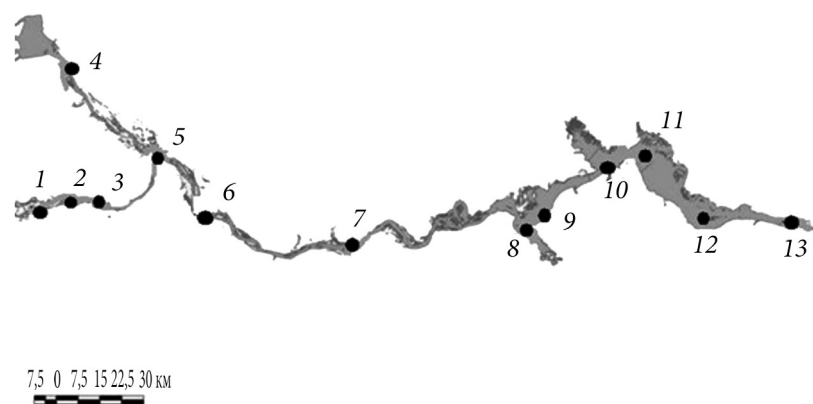


Рис. 5. Карта-схема відбору проб води у Чебоксарському водосховищі: 1— вище Сейми; 2 — Дзержинськ; 3 — Юр'євець; 4 — Городець; 5 — Нижній Новгород; 6 — Кстово; 7 — Макар'їв; 8 — р. Сура; 9 — Васильсурск; 10 — р. Ветлуга; 11 — Козьмодем'янськ; 12 — Іллінка; 13 — Чебоксари.

му набагато нижча, ніж у Іваньківському. Це визначається сукупністю таких чинників, як особливості морфометрії (руслівий тип, слабо розчленований рельєф узбережжя, відносно великі глибини) і високий коефіцієнт водообміну.

Гуміфіковані води поверхневого стоку, який є основним джерелом живлення водойм, піддаються інтенсивним процесам деструкції у вищеразташованому Іваньківському водосховищі, в результаті чого після ути-

Таблиця 7

**Вміст розчиненого кисню і ступінь насичення води
Чебоксарського водосховища**

Ділянки	Поверхневий шар		Придонний шар	
	мг/дм ³	насичення, %	мг/дм ³	насичення, %
2015 р.				
Верхня	9,22	104,4	8,73	98,5
Середня	8,15	90,6	7,78	83,1
Нижня	7,68	82,7	7,36	77,9
У середньому	8,18	90,1	7,80	84,2
2016 р.				
Верхня	7,23	75,4	7,23	75,4
Середня	6,78	73,0	6,66	71,8
Нижня	6,33	72,0	6,26	67,3
У середньому	6,86	72,8	6,61	70,2

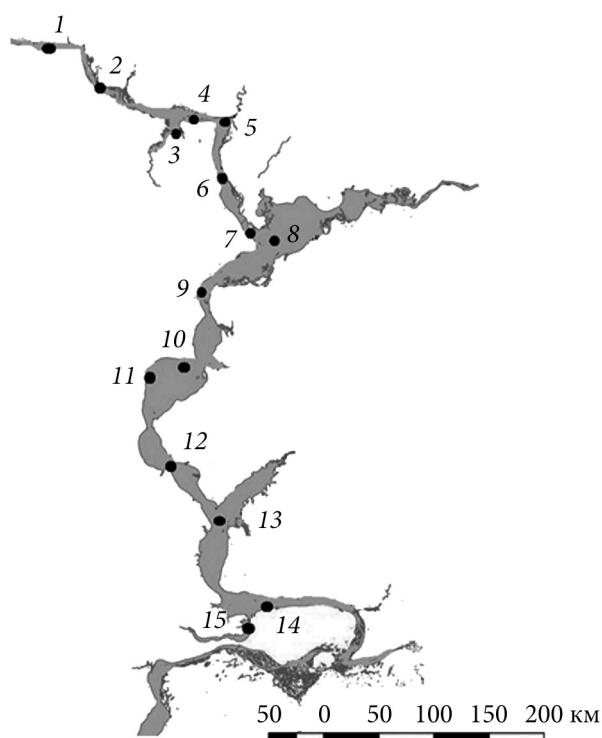


Рис. 6. Карта-схема відбору проб води у Куйбишевському водосховищі: 1 — пригреблева ділянка; 2 — нижче Новочебоксарська; 3 — нижче Звенигово; 4 — нижче Свяжська; 5 — р. Свяга; 6 — Казань; 7 — Шеланга; 8 — гирло р. Ками; 9 — Тетюши; 10 — Кременки; 11 — Ундори; 12 — Новоульяновськ; 13 — проти Великого Черемшана; 14 — гирло р. Вус

розвитку фітопланктону. У придонному шарі у 65 % випадків спостерігався дефіцит РК (менше 5 мг/дм^3), і у 10 % — гострий дефіцит (менше 2 мг/дм^3). У 2016 р. у поверхневому шарі концентрація O_2 була приблизно в 1,5, а у придонному у 2,5 рази нижче, ніж у 2015 р. У придонному шарі вміст РК був невисоким (менше 5 мг/дм^3), а у 45 % випадків відмічено гострий дефіцит. Вміст РК на волзькій ділянці був вищим, ніж на пригреблевій. На станціях Кімри і нижче гирла р. Дубни у 2016 р. він не перевищував 5 мг/дм^3 навіть у поверхневому шарі.

Горьківське водосховище (рис. 4). У поверхневому шарі в озерній частині вміст РК в обидва роки досліджень був вищим, ніж у річковій і становив у 2015 р. відповідно $8,65$ і $7,72 \text{ мг/дм}^3$, у 2016 р. — $9,5$ і $8,3 \text{ мг/дм}^3$ (табл. 6). У придонному шарі вміст РК переважно був нижчим, що, ймовірно, зумовлено весняним надходженням великої кількості аллохтонних органічних речовин з численних приток озерної частини, особливо лівобережних Немди і Унжи, кольоровість яких досягає $150\text{--}200^\circ$ хромово-ко-

лізації більш легкозасвоюваних зростає частка стійких органічних сполук, на окиснення яких витрачається більша кількість кисню. Так само, як і в Іваньківському, значну площу займають мілководдя (40 %) з заростями вищих водних рослин, донні відклади представлені переважно глинистими мулами і замуленими ґрунтами [6]. В результаті цього водойма характеризується неблагополучним кисневим режимом. У літній період 2015 р. вміст РК у поверхневому шарі води і ступінь насичення на різних станціях в змінювалися у широких межах — від $0,32$ до $7,91 \text{ мг/дм}^3$, і від $3,5$ до $90,5 \%$ (табл. 5). На шести відзначена перенасиченість киснем внаслідок масового

Таблиця 8

**Вміст розчиненого кисню і ступінь насичення води
Куйбишівського водосховища**

Плеса	Поверхневий шар		Придонний шар	
	мг/дм ³	насичення, %	мг/дм ³	насичення, %
2015 р.				
Волзьке	7,58	82,3	7,03	74,9
Волго-Камське	8,02	85,1	7,78	82,1
Тетюшинське	7,51	89,8	7,25	76,2
Ундорське	7,58	82,5	7,41	79,3
Ульяновське	7,94	85,8	—	—
Пригреблеве	9,58	107	—	—
У середньому	8,03	87,8	7,38	78,4
2016 р.				
Волзьке	6,70	71,5	6,59	70,3
Волго-Камське	7,42	78,2	7,22	76,6
Тетюшинське	8,00	84,3	7,38	78,2
Ундорське	7,82	83,1	7,54	79,4
Ульяновське	7,98	83,0	7,76	79,7
Пригреблеве	8,63	88,8	8,38	84,5
У середньому	7,41	78,1	7,23	76,4

Таблиця 9

Вміст розчиненого кисню і ступінь насичення води Саратовського водосховища

Ділянки	Поверхневий шар		Придонний шар	
	мг/дм ³	насичення, %	мг/дм ³	насичення, %
2015 р.				
Верхня	7,35	80,6	7,58	83,0
Середня	7,42	80,7	7,97	86,5
Нижня	8,08	87,1	7,75	83,7
У середньому	7,58	82,5	7,76	84,2
2016 р.				
Верхня	8,44	86,7	—	—
Середня	8,38	91,7	7,98	83,1
Нижня	8,54	92,3	8,06	83,1
У середньому	8,46	90,7	8,03	83,1

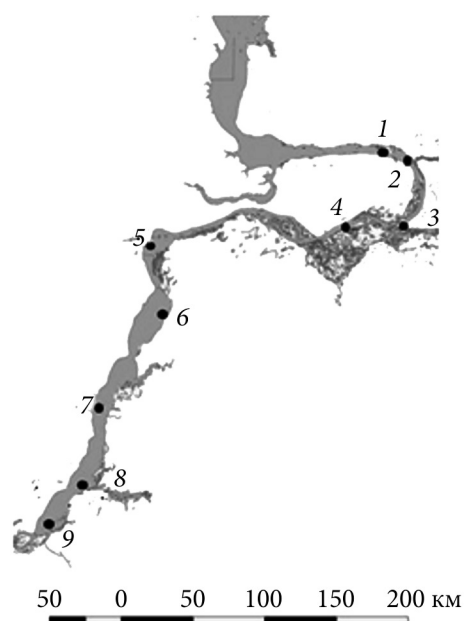


Рис. 7. Карта-схема відбору проб на Саратовському водосховищі: 1 — пригреблева ділянка; 2 — Ширяєво; 3 — Саратов; 4 — Єрмаково; 5 — Сизрань; 6 — Приволжжя; 7 — Хвалинськ; 8 — Малий Іргиз; 9 — Балаково.

0,06 мг/дм³ (0,6 %) [6]. У перший рік заповнення водосховища (1956 р.) вміст РК не перевищував 6,5 мг/дм³, він витрачався на окиснення органічних речовин, що надходили із залитих заплавноїх ґрунтів, у той час як у Волзі раніше (1954 р.) у поверхневому шарі його концентрація варіювала від 8,60 до 9,66 мг/дм³, що становило 92—101 % насичення. У наступні після повного заповнення роки вміст РК знову підвищився до 7,8—11,0 мг/дм³, вертикальна стратифікація відмічалась рідко внаслідок високої проточності, особливо у річковій частині і на невеликій площі мілководь.

Чебоксарське водосховище (рис. 5). Найбільший вміст РК у водосховищі у серпні 2015 р. відмічений у гирлі р. Оки і нижче с. Кстово, де вода була перенасичена киснем, в той час як на інших досліджених станціях недонасичена на 13—28 %. На середній і нижній ділянках (після впадіння річок Оки і Сури), вміст кисню нижчий, ніж на верхній ділянці. Це зумовлено рясним розвитком фітопланктону, викликаним високим вмістом біогенних елементів (за даними комплексних експедицій), а також впливом побутових і промислових стічних вод м. Нижнього Новгорода, на окиснення яких витрачається деяка частина запасів РК. У червні 2016 р. у поверхневому шарі його концентрація була в середньому на 1,5 мг/дм³ нижче ніж у 2015 р.. Максимум спостерігався на тих же станціях, що і у

бальтової шкали. У річковому плесі переважають збіднені легкоокисними органічними речовинами трансформовані води, що надходять з Рибінського водосховища.

В озерній частині водосховища різниця у вмісті РК між шарами води була незначною — у 2015 р. він був практично однаковим, а у 2016 р. відрізнявся максимум на 4 мг/дм³ (на ст. Чкаловськ). Дефіцит кисню невластивий водосховищу, чому сприяє інтенсивне вітрове перемішування водних мас по вертикалі, а також його досить висока проточність. У 1968—1976 рр. вертикальної кисневої стратифікації також не відмічено [1]. Однак у період заповнення водосховища в окремих пунктах відзначалася значна стратифікація, особливо у 1957 р., коли водойма наповнилась до проектного рівня, у поверхневому шарі вміст кисню був високий — 10,4 мг/дм³ (117 % насичення), а у придонному не перевищував

попередньому році. Мінімальні значення у поверхневому шарі спостерігалися на ст. Козмодем'янськ — 6,72 мг/дм³ у 2015 р. і 5,95 мг/дм³ у 2016 р. Вертикальної стратифікації не було внаслідок великої проточності водойми (табл. 7).

Куйбишівське водосховище (рис. 6). Концентрація РК у поверхневому шарі коливалась у межах 6,5—10,2 мг/дм³, у придонному — 6,3—8,5 мг/дм³. Різниця по вертикалі становила максимум 0,6 мг/дм³, що можна пояснити великими глибинами, особливо у пригреблевій частині, великою площею, сильною вітровою активністю у зоні його розташування, в результаті чого відбувається великий розгін хвилі і перемішування всіх шарів води, тому в цілому дефіцит кисню для водосховища не характерний.

Найбільша стратифікація по кисню була зафіксована у період становлення водосховища (1957 р.), коли максимальна різниця у вмісті РК між поверхневим і придонним шарами досягала 12,3 мг/дм³ [6], а середня (у жаркому 1972 г.) — 4,3 мг/дм³, коли у придонному він знижувався до 2,9 мг/дм³ [3]. До зарегулювання на цій ділянці Волги киснева стратифікація була відсутня, амплітуда коливання кисню становила 0,54—1,74 мг/дм³, а у водосховищі вона досягла 1,3—12,3 мг/дм³, переважно у межах 2—6 мг/дм³. Як і в інших водосховищах, у перший рік заповнення вміст РК дещо знизився (до 6,6 мг/дм³), у подальшому у поверхневому шарі він зріс (до 12 мг/дм³), а у придонному знизився до майже нульових значень. У наступні роки він повернувся на колишній рівень — 7,6—10,5 мг/дм³.

Середній вміст РК у поверхневому і придонному шарах у 2015 р. був нижче, ніж у середньому за 2001—2005 рр. [9] — відповідно 8,0—7,4 і 8,9—8,0 мг/дм³, у середньому за 1964—1978 рр. і 2009 р. у поверхневому шарі — відповідно 8,8 і 10,1 мг/дм³ [4, 8] (табл. 8). У цілому води Куйбишівського водосховища були недонасичені киснем на поверхні на 13 %, а біля дна — на 22 %, хоча у пригребловому плесі насичення на поверхні перевищувало 100 %. У червні 2016 р. вміст РК був нижчим, ніж у серпні

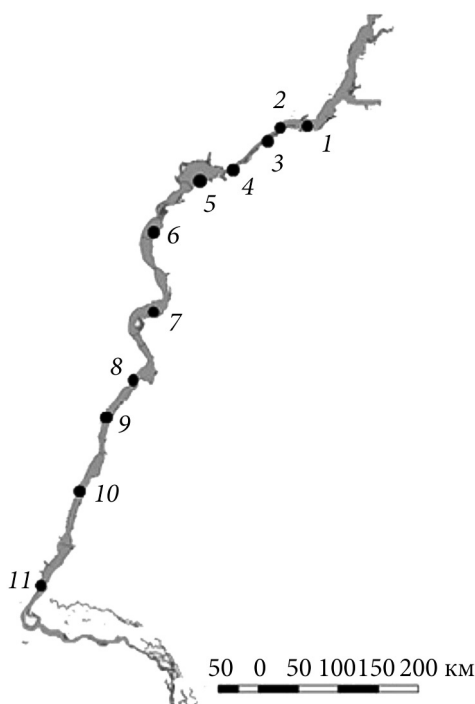


Рис. 8. Карта-схема відбору проб у Волгоградському водосховищі: 1 — нижній б'єф Саратовської ГЕС; 2 — Власюк; 3 — Великий Іргиз; 4 — Маркс; 5 — Курдюм; 6 — Саратов; 7 — Рівне; 8 — Єруслан; 9 — Камишин; 10 — Гірський Балікли; 11 — пригреблева ділянка

Таблиця 10

Вміст розчиненого кисню і ступінь насичення води Волгоградського водосховища (2016 р.)

Ділянки	Поверхневий шар		Придонний шар	
	мг/дм ³	насичення, %	мг/дм ³	насичення, %
Верхня	8,44	90,0	8,03	84,9
Середня	8,79	97,2	7,74	81,8
Нижня	10,3	112,6	8,00	83,1
У середньому	8,91	96,7	7,92	83,4

Таблиця 11

Вміст розчиненого кисню і ступінь насичення в воді на незарегульованій ділянці р. Волги

Станції	Поверхневий шар	
	мг/дм ³	насичення, %
Нижній б'єф Волгоградської ГЕС	8,07	84,9
Світлий Яр	8,69	91,8
Райгород	8,38	88,9
Кам'яний Яр	8,38	88,8
Чорний Яр	9,62	104,5
Солоне Займище	9,56	104,4
Ветлянка	10,4	116,8
Сіроглазка	9,31	104,3
Зам'яни	9,00	102,2
Верхнелебязьє	8,87	103,1
Тулугановка	8,19	92,9
У середньому	8,95	98,4

2015 р., як і у вищерозташованому Чебоксарському водосховищі. У пригреблевому плесі вміст і насичення води киснем були максимальними, що відзначалося також у літній період 1969—1973 рр. [1] .

Саратовське водосховище (рис. 7). Внаслідок високої швидкості течії на всіх ділянках водосховища і незначного ступеня заростання (1 %), у досліджений період дефіциту РК не відмічено. У попередні роки (1968—1969 рр.) на глибоководних станціях була відзначена вертикальна стратифікація концентрації кисню, різниця досягала 2,8 мг/дм³ [13]. Така стратифікація, що встановилася за штильової погоди, легко порушувалася вітровим перемішуванням і була нетривалою.

У 2009—2010 рр. вміст РК вимірювали лише у поверхневому шарі, під час масового цвітіння, яке зумовило деяке погіршення якості води [11]. У 2009 р. на руслових станціях вміст РК становив $6,5 \text{ мг/дм}^3$, а у наступному знизився в середньому до критичного рівня $4,8 \text{ мг/дм}^3$ (навіть на ділянці з інтенсивною аерацією нижче ГЕС він був дуже низьким — $2,5 \text{ мг/дм}^3$). У серпні 2015 р. вміст РК змінювався у межах $6,8$ — $8,2$, у червні 2016 р. — $7,8$ — $9,0 \text{ мг/дм}^3$ (табл. 9). Середній по акваторії вміст РК у поверхневому шарі був нижчим, ніж у 1968—1969 рр. ($9,0 \text{ мг/дм}^3$) і трохи вищим, ніж у 2009 р. ($7,0 \text{ мг/дм}^3$). Води обох шарів майже на всіх станціях були недонасичені киснем від 2 до 25 %, крім Сизрані. Отримані дані для поверхневого шару на ст. Балаково близькі до усереднених за 1969—1973 рр. [1].

У Волгоградському водосховищі (рис. 8) відзначений найвищий з досліджених водосховищ Волги вміст РК (табл. 10). Вміст РК і ступінь насичення були максимальними у пригреблевій ділянці, як і у Горьківському і Куйбишевському водосховищах.

У місцях відбору проб відмічена невелика недонасиченість води киснем (від 3 до 12 %). Незважаючи на значні швидкості течії і вітрове перемішування, на окремих станціях відзначена незначна стратифікація вмісту кисню, максимальна різниця становила майже 4 мг/дм^3 (верхній б'єф Волгоградської ГЕС).

На незарегульованій ділянці Волги (рис. 9) вміст РК був досить високим і на більшості станцій перевищував 9 мг/дм^3 , як і у вищеразташованому водосховищі (табл. 11). На цих же станціях вода була перенасичена РК (до 115 %). Ці дані близькі до таких біля с. Верхнелебязьке у 1969—1974 рр. ($9,1 \text{ мг/дм}^3$) [1]. У літній період 2009 р. концентрація O_2 у поверхневому шарі в середньому становила $9,2 \text{ мг/дм}^3$ [4]. Через швидку течію проби з придонних шарів на вдалось відібрати лише у нижньому б'єфі Волгоградської ГЕС, де вміст РК і насичення становили $8,13 \text{ мг/дм}^3$ і 85 %.

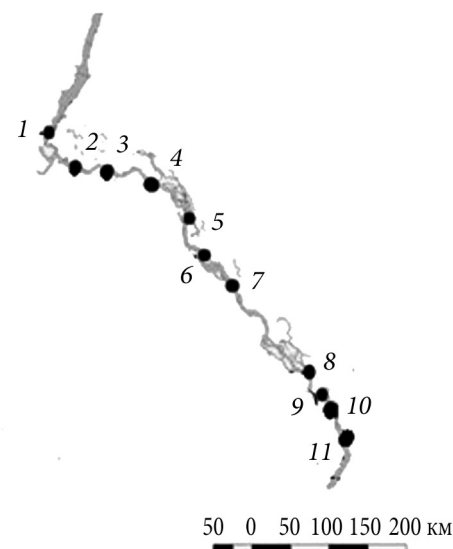


Рис. 9. Карта-схема відбору проб води на незарегульованій ділянці Волги: 1— Волгоград; 2— Світлий Яр; 3— Райгород; 4— Кам'яний Яр; 5— Чорний Яр; 6— Солоне Займище; 7— Ветлянка; 8— Сіроглазка; 9— Зам'яни; 10— Верхнелебязьке; 11— Тулгановка.

Висновки

Вміст розчиненого кисню у поверхневих і придонних шарах води водосховищ Волги істотно відрізняється і змінюється у широких межах —

відповідно 4,65—12,00 і 0,00—9,20 мг/дм³. Води на досліджених ділянках у більшості випадків були недонасичені киснем, крім незарегульованого пониззя, де ступінь насичення на більшості станцій перевищував 100 %. Максимальний вміст РК в обох шарах води зареєстрований у Волгоградському водосховищі і на нижній незарегульованій ділянці Волги. Більшість досліджених водойм має задовільний режим РК, за винятком Углицького і Іваньківського водосховищ, де яких відзначено гострий дефіцит кисню у придонних шарах, що може викликати загибель гідробіонтів.

Список використаної літератури

1. Волга и ее жизнь. Под ред. Н.В. Буторина. Л.: Наука, 1978. 350 с.
2. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги. Под. ред. З.А. Викулиной и В.А. Знаменского. — Л.: Гидрометеоздат, 1975. 291 с.
3. Гусева Н.Н. Особенности гидрохимического режима Куйбышевского водохранилища. *Биол. внутр. вод.* 1975. № 28. С. 49—53.
4. Дебольский В.К., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б. и др. Современная гидрохимическая характеристика реки Волга и ее водохранилищ. *Вода: химия и экология.* 2010. № 11. С 2—12.
5. Драчев С.М., Буторин Н.В., Былинкина А.А. Факторы, определяющие качество воды в водохранилищах. *Факторы формирования водных масс и районирование внутренних водоемов.* Л.: Наука, 1974. Вып. 26. С. 3—18.
6. Законнов В.В., Гершевский П., Законнова А.В. и др. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 3. Оценка изменения морфометрических характеристик в результате накопления донных отложений в Угличском водохранилище. *Вод. хоз-во России.* 2016. № 6. С. 61—72.
7. Законнов В.В., Григорьева И.Л., Законнова А.В. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 5. Донные отложения и качество воды Иваньковского водохранилища. *Там же.* 2018. № 3. С. 35—48.
8. Зенин А.А. Гидрохимия Волги и ее водохранилищ. Под ред. О.А. Алекина. Л.: Гидрометеоздат, 1965. 258 с.
9. Иваньковское водохранилище и его жизнь. Под ред. Н.В. Буторина. Л.: Наука, 1978. 302 с.
10. Куйбышевское водохранилище. Под ред. А.В. Монакова. Л.: Наука, 1983. 212 с.
11. Куйбышевское водохранилище (научно-информационный справочник). Под ред. Г.С. Розенберга и Л.А. Выхристюк. Тольятти: Кассандра, 2008. 123 с.
12. Рыбинское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972. 364 с.
13. Селезнева А.В., Селезнев В.А., Беспалова К.В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах волги в условиях маловодья. *Поволж. экол. журн.* 2014. № 11. С. 88—96.
14. Семенов А.Д. Практическое руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 540 с.
15. Сиденко В.И. Некоторые сведения о гидрологических и гидрохимических условиях Саратовского водохранилища в годы его становления. Тр. Саратов. отд. ГосНИОРХ. 1973. Т. 12. С. 23—39.
16. Степанова И.Э. Качество воды Рыбинского водохранилища: режим растворенного кислорода. *Вод. хоз-во России.* 2016. № 5. С. 23—34.
17. Экологические проблемы Верхней Волги. Под ред. А.И. Копылова. Ярославль: ЯрГТУ, 2001. 428 с.

Надійшла 07.02.2019

I.E. Stepanova, researcher
Institute of Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences,
Borok, Nekouzsky distr., Yaroslavl region, Russian Federation
ORCID 0000-0001-6726-4586

CONTENT OF DISSOLVED OXYGEN IN THE VOLGA RIVER RESERVOIRS

A comparative analysis has been made of the of dissolved oxygen (DO) content and saturation degree in reservoirs of the Volga River (in surface and near bottom water layers) in summer of 2015 and 2016. In the Upper Volga reservoirs (Uglich and Ivankovo), the oxygen concentration of in the water was frequently below MAC (the maximum allowable concentration). The critical shortage of the dissolved oxygen was recorded in the hypolimnion at all sites of the Uglich Reservoir: below 2 mg/l in 10—45 % of cases, and in the Ivankovo Reservoir in 75 % of cases. In reservoirs of the Middle and Lower Volga, the DO concentration was within the limits favorable for occurrence and development of the aquatic organisms owing to the wind mixing and rapid current, especially in the lower reaches of the river. Over the years of studies, the concentration of dissolved oxygen in the surface layer of the Gorky Reservoir was higher in the lacustrine section than the riverine section. The distribution of DO with in the area of other reservoirs was rather uniform.

Keywords: *Volga River, reservoirs, oxygen.*