

УДК 556.114 (282.247.32)

В. М. Якушин, В. И. Щербак, Н. Е. Семенюк, М. И. Линчук

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КИЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ ЕГО СУЩЕСТВОВАНИЯ

Изучена многолетняя динамика гидрохимических показателей Киевского водохранилища: минерализации воды, концентрации главных ионов, неорганических форм азота, фосфора и содержания органических веществ по бихроматной и перманганатной окисляемости. Установлено, что в настоящее время в воде водохранилища наблюдается снижение содержания неорганического азота (особенно его нитратной формы), а также отношения азота к фосфору. Сравнительный анализ современных и ретроспективных данных показал, что на сегодня фосфор уже не является лимитирующим фактором в развитии первичнопродуктов.

Ключевые слова: главные ионы, минерализация воды, неорганические формы азота, неорганический фосфор, органические вещества, Киевское водохранилище.

Киевское водохранилище является головным (верхним) в Днепровском каскаде. В отличие от других водохранилищ на Днепре, роль поверхностного стока в формировании его гидрохимического режима очень весома — распределение притока воды в Киевское водохранилище из верхнего Днепра, Припяти и, в меньшей степени, р. Тетерев носит, в основном, природный характер.

Гидрохимические исследования на Киевском водохранилище имеют длительную историю — начались с первых лет его становления и продолжались в последующие десятилетия вплоть до второй половины 90-х годов прошлого столетия. Наиболее полная информация о химическом составе воды водохранилища была получена в 1965—1967 и 1981—1985 гг. Исследования проводили по стандартной сетке станций Института гидробиологии НАН Украины (г. Киев), охватывающей всю акваторию водохранилища, и включали в себя определение концентрации главных ионов, общей минерализации воды, газового режима, содержания биогенных элементов и органических веществ (по органическому углероду) и анализ их сезонной динамики (включая зимний сезон) [2—5].

Результаты многолетних исследований позволили установить изменения в химическом составе воды водохранилища, в частности повышение мине-

рации воды, изменения в соотношении главных ионов и основные факторы, их обуславливающие [4]. Анализ многолетней динамики биогенных элементов в водоеме показал снижение концентрации неорганических форм азота и повышение содержания фосфат-ионов в воде, начиная с 90-х гг. прошлого столетия, и позволил установить причины этих изменений [6].

Со второй половины 90-х гг. прошлого столетия гидрохимические исследования на Киевском водохранилище носили фрагментарный характер [12]. В последние два десятилетия глобальные климатические изменения стали более заметно проявляться в региональном масштабе — в Украине, что не могло не отразиться на условиях функционирования экосистемы Киевского водохранилища и, в частности, на его абиотической составляющей — химическом составе воды.

Целью работы являлось изучение межгодовой динамики гидрохимических показателей Киевского водохранилища на современном этапе его существования.

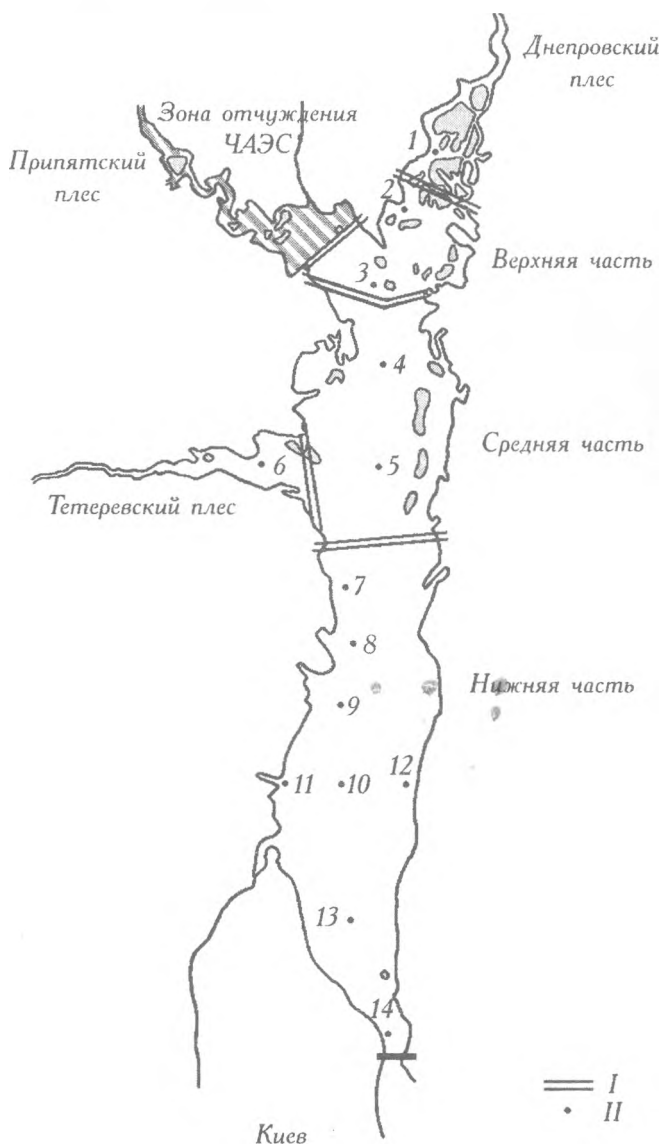
Материал и методика исследований. Материалом для работы послужили результаты исследований многолетней динамики концентрации главных ионов, неорганических форм азота, фосфора и содержания органических веществ в воде Киевского водохранилища, выполненных в летний период (июль) 2007—2009 и 2011—2015 гг. Пробы нативной воды для анализа отбирали по акватории водохранилища с поверхностного (0,25 м) и придонного горизонтов в пелагиали и с поверхности — в литорали по стандартной сетке станций, модифицированной с учетом технического выполнения (рис. 1). На литорали пробы отбирали на чистоводье и в зарослях доминирующих видов высших водных растений.

Фиксацию, определение концентрации гидрохимических показателей (главных ионов, минерализации, неорганических форм азота и фосфора, перманганатной (ПО) и бихроматной окисляемости (БО)) воды выполняли согласно общеизвестным гидрохимическим методам [1, 7, 11]. Расчет органического углерода, органических веществ по углероду, соотношения БО/ПО выполняли согласно [1].

Результаты исследований и их обсуждение

Минерализация воды и главные ионы. Минерализация воды в Киевском водохранилище на современном этапе его существования (2007—2015 гг.), по результатам исследований, проведенных в июле, колебалась в пределах 280,3—312,1 мг/дм³ (без учета концентрации анионов CO_3^{2-}). Наиболее низкие показатели минерализации воды отмечены в 2008 г., наиболее высокие — в 2013 г. (табл. 1). Отмеченные колебания, очевидно, были связаны с водностью того или иного года, температурным режимом притоков (верхнего Днестра и Припяти) и, собственно, внутриводоемными процессами в самом Киевском водохранилище.

Сравнительный анализ минерализации воды Киевского водохранилища в первые годы его становления и в современных условиях показывает, что



1. Карта-схема Киевского водохранилища со станциями отбора проб воды: I — границы частей водохранилища (верхняя, средняя и нижняя части, Днепропровский и Тетеревский плесы); II — станции наблюдений (1 — ниже с. Нижние Жары; 2 — траверз с. Теремцы; 3 — Междуречье; 4 — траверз о. Домонтово; 5 — траверз с. Страхолевье; 6 — Тетеревский залив; 7 — траверз с. Сухолучье; 8 — траверз с. Толокунь; 9 — траверз с. Ясногородка; 10 — траверз с. Глебовка; 11 — Глебовский залив; 12 — траверз с. Ровжи; 13 — траверз с. Лютеж; 14 — траверз г. Вышгород.

на нынешнем этапе она составляет в среднем 292 мг/дм^3 и превышает такую в 1965—1967 гг. более чем на 60 мг/дм^3 . Отмечено также, что в современных условиях пределы колебаний минерализации воды сузились, были менее значительными по сравнению с таковыми, отмеченными в 1965—

1. Предельные и усредненные величины концентрации главных ионов и их суммы (мг/дм³) в воде Киевского водохранилища в современных условиях (данные за июль)

Годы	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃	Сумма ионов
2008	48,1 – 56,1	8,5 – 12,2	4,0 – 13,5	15,5 – 22,2	16,9 – 25,6	155,5 – 186,1	280,3
	51,1	10,8	8,0	18,4	20,6	171,4	
2009	46,1 – 54,1	7,3 – 17,0	5,8 – 18,8	16,0 – 19,9	16,0 – 31,2	161,7 – 198,3	285,7
	48,5	11,1	12,0	17,7	22,6	173,8	
2011	47,1 – 58,1	7,3 – 15,8	6,5 – 16,0	18,6 – 22,2	19,2 – 36,8	164,7 – 195,2	293,9
	50,9	13,2	8,5	20,2	23,5	177,6	
2012	45,1 – 53,1	9,1 – 14,6	5,5 – 17,0	15,5 – 21,7	18,8 – 31,6	155,6 – 183,0	281,7
	48,7	11,4	10,3	18,1	25,4	167,8	
2013	46,1 – 58,1	9,7 – 13,4	7,3 – 17,0	17,7 – 25,5	16,4 – 24,0	164,7 – 201,3	312,1
	54,7	11,5	12,0	20,9	20,2	192,8	
2014	46,1 – 54,1	10,9 – 12,8	6,5 – 15,3	16,2 – 22,1	18,0 – 24,8	158,6 – 190,3	295,8
	50,1	11,7	12,3	18,8	21,1	181,8	
2015	43,1 – 51,1	9,7 – 14,0	10,0 – 21,3	19,6 – 26,4	24,4 – 31,9	152,5 – 189,1	290,9
	46,3	12,3	15,8	22,0	27,4	167,1	

2. Минерализация воды (мг/дм³) Киевского водохранилища в первые годы его становления и в современных условиях

Периоды исследований	Сезоны	Минерализация воды	
		пределы межгодовых колебаний, усредненных по водохранилищу	в среднем за исследованные годы
1965—1967 гг.	Летний сезон [2, 3]	163—283	230
	Июль ¹	197—252	223
2007—2009, 2011—2015 гг.	Июль*	280—312	292

* без учета концентрации анионов CO_3^{2-} .

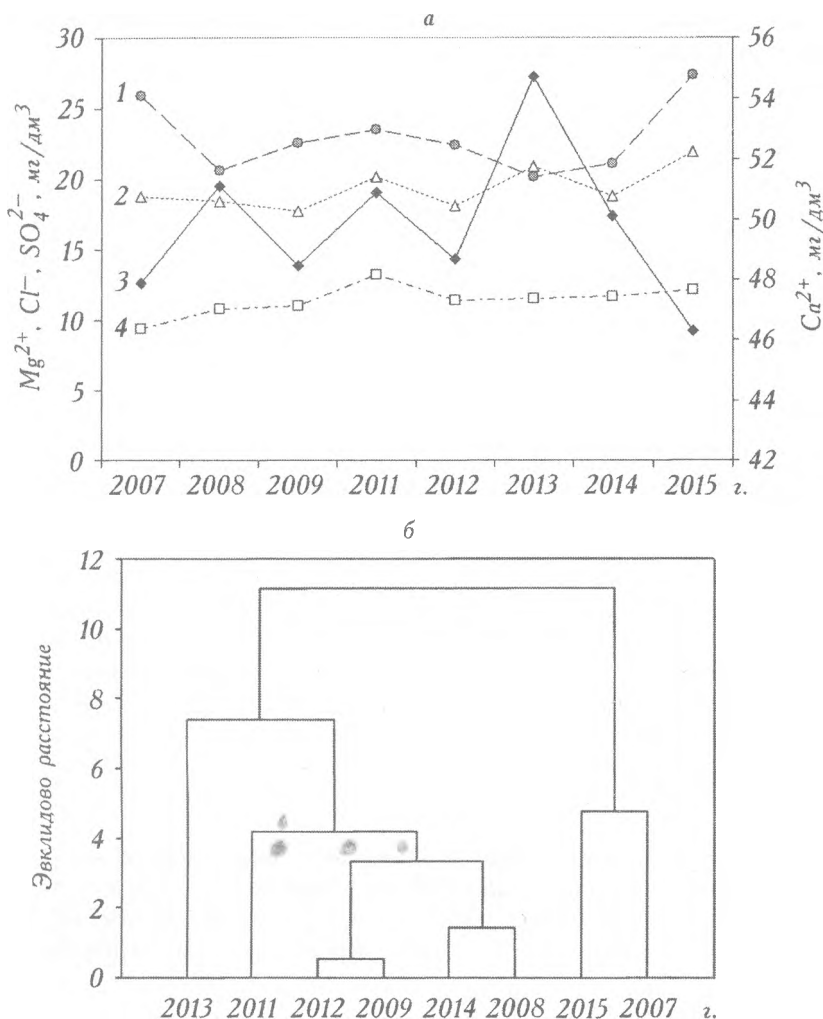
1967 гг., что, очевидно, объясняется интенсивными процессами становления гидрохимического режима водохранилища в тот период (табл. 2).

Основными факторами, определяющими минерализацию воды в Киевском водохранилище, являлись: влияние притоков (верхнего Днепра, Припяти, Тетерева), режим эксплуатации водохранилища, антропогенное загрязнение площади водосбора Днепра, а также интенсивное хозяйственное использование бассейна Киевского водохранилища [4]. По обобщенным данным относительно изменений минерализаций воды в реках и водоемах Украины за тридцатилетний период, удельный вес антропогенного фактора в повышении минерализации воды в Полесье увеличился на 10% [8].

Ретроспективный анализ многолетних гидрохимических исследований Киевского водохранилища (1965—1992 гг.) показывает, что среднегодовая величина минерализации воды увеличилась с 240 до 359 мг/дм³ [4], что подтверждается и результатами наших исследований, проведенных в 2007—2015 гг.

Минерализация воды и ее изменения во времени обуславливаются концентрацией главных ионов и их соотношением в зависимости от влияния факторов, указанных выше. Преобладающим катионом в воде Киевского водохранилища является Ca^{2+} , анионом — HCO_3^- . Содержание Ca^{2+} в воде водохранилища в июле 2007—2015 гг. изменялось в пределах 43,1—58,1 мг/дм³, HCO_3^- — от 152,5 до 201,3 мг/дм³. Концентрации других ионов составляли: Mg^{2+} — 7,3—17,0 мг/дм³, $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ — 4,0—21,3 мг/дм³, Cl^- — 15,5—26,4 мг/дм³, SO_4^{2-} — 16,0—36,8 мг/дм³. Так, анализ многолетней динамики основных ионов (усредненные величины по всему водохранилищу) показывает, что в маловодный 2007 г. и, особенно, в минимальный по водности 2015 г. содержание катионов Mg^{2+} , Ca^{2+} снижается, а анионов SO_4^{2-} и Cl^- — наоборот, имеет тенденцию к возрастанию (рис. 2).

¹ Архивные материалы Института гидробиологии НАН Украины. Отчет по теме «Формирование гидрохимического режима Киевского водохранилища в первые годы его становления» (Денисова А. И., 1968).



2. Многолетняя динамика содержания основных ионов в воде Киевского водохранилища (а) и дендрограмма сходства ионного состава водохранилища в различные годы исследования (б): 1 — SO_4^{2-} , 2 — Cl^- ; 3 — Ca^{2+} ; 4 — Mg^{2+} . Метод кластеризации — Эвклидово расстояние (данные, усредненные по всему водохранилищу, по основным ионам и их сумма для каждого конкретного года).

Применение метода кластерного анализа позволило выявить несколько кластеров. При этом один кластер образовали маловодные годы, а в другие кластеры объединились годы с близкими величинами минерализации. В целом же, все кластеры оказались довольно близкими, а это указывает на то, что в настоящее время в летний период существенных изменений минерализации воды не наблюдается.

Относительная концентрация главных ионов в воде водохранилища в июле 2007—2015 гг. (в % ммоль-экв) представлена в таблице 3. По сравнению с результатами, полученными в 1965—1967 гг. (июль), на современном

3. Соотношение концентраций главных ионов в воде Киевского водохранилища (в % ммоль-экв) в первые годы его становления и в современных условиях (по данным за июль)

Годы	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃
1965—1967 [2, 3]	36,3	11,9	2,8	4,6	5,3	39,1
2007—2009, 2011—2015	33,8	11,9	4,3	7,0	5,7	37,3
2015	29,4	12,7	8,0	7,9	7,2	34,8

этапе существования водохранилища установлена тенденция к некоторому снижению относительной концентрации Ca²⁺ и HCO₃⁻. В то же время несколько повысилась концентрация K⁺ + Na⁺, хлорид- и сульфат-ионов. Относительная концентрация катионов Mg²⁺ не изменилась.

В таблице 3 отдельно выделена относительная концентрация главных ионов в воде водохранилища (в % ммоль-экв) в июле 2015 г. Этот год выдался маловодным, редкой повторяемости. Относительное содержание Ca²⁺, по сравнению с июлем 1965—1967 гг., снизилось на 7%, несколько меньше — HCO₃⁻. Концентрация других ионов (K⁺ + Na⁺ и Cl⁻) имела тенденцию к незначительному повышению. В условиях засушливого и жаркого лета 2015 г. в притоках Киевского водохранилища, очевидно, возрастала роль подземного питания, обогащенного более минерализованными водами, что и послужило одной из причин изменений в соотношении главных ионов в водохранилище.

Таким образом, на современном этапе минерализация воды Киевского водохранилища повысилась по сравнению с первыми годами его существования и в значительной мере зависит от водности года. В современный период в наибольшей мере возрастает концентрация анионов Cl⁻ и SO₄²⁻.

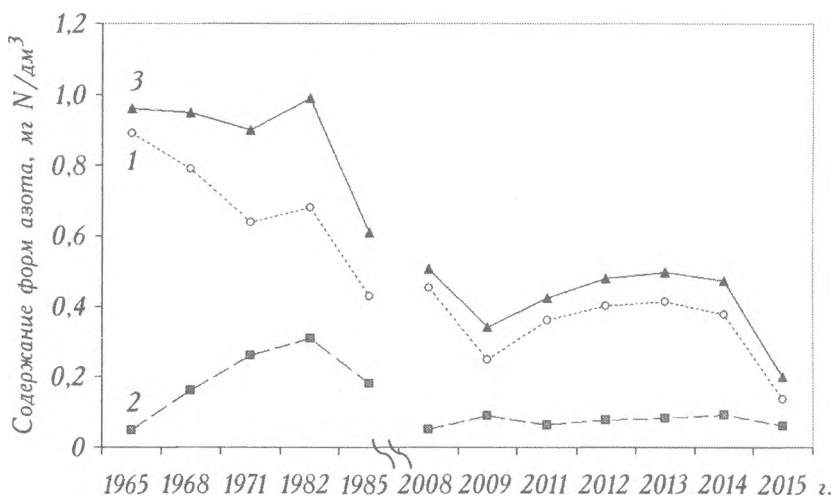
Биогенные элементы. Концентрация биогенных элементов в воде Киевского водохранилища, их временная динамика зависят от многих факторов. Среди них значимым фактором является антропогенная составляющая — загрязнение площади водосбора Днепра. Следующий важный фактор — активность внутриводоемных биологических процессов, присущих данному водохранилищу. Их влияние на содержание и динамику биогенных элементов и органических веществ в значительной мере определяется интенсивностью первичного продуцирования и деструкции органических веществ в водохранилище.

Неорганический азот. В современных условиях (2008—2015 гг.) концентрация аммонийного азота по акватории водохранилища колебалась в пределах нескольких порядков — от 0,055 до 0,928 мг N/дм³ (табл. 4). В то же время межгодовые колебания усредненных по водоему показателей были незначительными — 0,249—0,453 мг N/дм³; исключение составлял 2015 г. — 0,137 мг N/дм³. Здесь уместно напомнить, что 2015 г. был маловодным, редкой повторяемости.

4. Многолетняя динамика минимальных, максимальных и средних величин содержания неорганических форм азота и фосфора в воде Киевского водохранилища в современных условиях

Годы	п	NH_4^+ , мг N/дм ³	NO_2^- , мг N/дм ³	NO_3^- , мг N/дм ³	ΣN , мг N/дм ³	$\text{P}_{\text{неорг}}$, мг P/дм ³	$\Sigma\text{N} : \text{P}$
2008	18	0,352 – 0,922	0,001 – 0,009	0,035 – 0,073	0,394 – 0,972	0,0 – 0,025	42,3
		$0,453 \pm 0,030$	$0,004 \pm 0,0004$	$0,051 \pm 0,003$	$0,508 \pm 0,030$	$0,012 \pm 0,002$	
2009	27	0,055 – 0,518	0,0 – 0,005	0,055 – 0,244	0,128 – 0,590	0,0 – 0,081	28,4
		$0,249 \pm 0,022$	$0,0002 \pm 0,0001$	$0,091 \pm 0,008$	$0,341 \pm 0,024$	$0,012 \pm 0,003$	
2011	29	0,264 – 0,852	0,0 – 0,010	0,040 – 0,090	0,310 – 0,944	0,0 – 0,090	15,7
		$0,361 \pm 0,025$	$0,001 \pm 0,0004$	$0,063 \pm 0,003$	$0,425 \pm 0,027$	$0,027 \pm 0,005$	
2012	23	0,227 – 0,928	0,0 – 0,008	0,062 – 0,147	0,303 – 1,082	0,0 – 1,316	5,9
		$0,402 \pm 0,038$	$0,001 \pm 0,0005$	$0,077 \pm 0,003$	$0,480 \pm 0,041$	$0,081 \pm 0,056$	
2013	22	0,279 – 0,736	0,0 – 0,011	0,052 – 0,146	0,336 – 0,833	0,006 – 0,205	9,6
		$0,415 \pm 0,027$	$0,001 \pm 0,0006$	$0,082 \pm 0,003$	$0,498 \pm 0,029$	$0,052 \pm 0,005$	
2014	23	0,206 – 0,848	0,0 – 0,006	0,44 – 0,260	0,251 – 0,935	0,018 – 0,132	5,8
		$0,379 \pm 0,032$	$0,001 \pm 0,0004$	$0,092 \pm 0,009$	$0,472 \pm 0,035$	$0,082 \pm 0,007$	
2015	24	0,101 – 0,246	0,0 – 0,006	0,021 – 0,130	0,123 – 0,305	0,051 – 0,136	1,9
		$0,137 \pm 0,007$	$0,001 \pm 0,0003$	$0,061 \pm 0,005$	$0,199 \pm 0,009$	$0,107 \pm 0,005$	

П р и м е ч а н и е. Над чертой — пределы колебаний, под чертой — средние значения $\pm$ стандартная ошибка; п — количество проб.



3. Многолетняя динамика² аммонийной — NH_4^+ (1) и нитратной — NO_3^- (2) форм азота и суммарного содержания неорганического азота — ΣN (3)³ в летний период в Киевском водохранилище.

Азот нитритов выявлялся в незначительных количествах, но в отдельные годы на единичных станциях его концентрация все же возрастала до $0,01 \text{ мг N/дм}^3$. Концентрация нитратного азота по акватории водохранилища колебалась в пределах $0,021\text{—}0,260 \text{ мг N/дм}^3$. Межгодовые колебания средних по водоему величин были менее существенными — $0,051\text{—}0,092 \text{ мг N/дм}^3$.

Представляет интерес провести сравнительный анализ опубликованных [2, 3] ретроспективных данных по неорганическому азоту за первый двадцатилетний период (1965—1985 гг.) существования Киевского водохранилища с современным периодом.

Так, представленная на рисунке 3 многолетняя динамика аммонийной, нитратной форм азота, его суммарного содержания наглядно показывает их существенное снижение в настоящее время.

Итак, в современных условиях (2008—2015 гг.) концентрация аммонийного азота в среднем по водохранилищу составляет $0,342 \text{ мг N/дм}^3$, нитратного — $0,074 \text{ мг N/дм}^3$. В то же время, исходя из литературных данных [2, 3] за предыдущий двадцатилетний период (1965—1985 гг.), их содержание составляло соответственно $0,69$ и $0,19 \text{ мг N/дм}^3$. Фактически можно утверждать, что по сравнению с 60—80-ми гг. прошлого столетия содержание аммонийного азота в воде Киевского водохранилища сократилось в 2,5 раза, а нитратного — в 2 раза.

² Использованы ретроспективные данные А. И. Денисовой [2, 3], содержание ΣN рассчитали авторы статьи.

³ Величины концентраций NO_2^- включены в суммарное (ΣN) содержание неорганического азота.

Существенная роль в снижении концентрации неорганических форм азота в Киевском водохранилище в современных условиях, на наш взгляд, принадлежит высшей водной растительности, значительно увеличившей площади зарастания мелководий, включая верховые водохранилища, устьевые участки притоков — верхнего Днепра, Припяти, Тетерева, и выполняющей функции биофильтра [10].

Следует отметить, что особенностью многолетней динамики неорганических форм азота в Киевском водохранилище (по данным за июль) на современном этапе его существования является отсутствие четко выраженного статистически достоверного различия межгодовых данных, указывающего на существенные изменения за указанный период исследований. Это может служить косвенным доказательством существования в водоеме относительного баланса продукционно-деструкционных процессов.

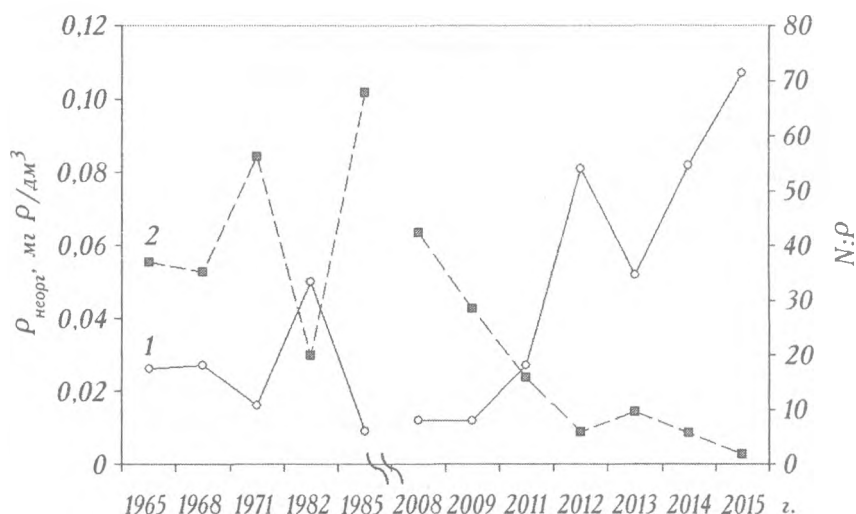
Фосфор. Концентрация неорганического фосфора в воде Киевского водохранилища в июле 2008—2015 гг. колебалась в пределах 0,0—1,316 мг Р/дм³ (см. табл. 4). В многолетнем аспекте его средняя по водоему концентрация изменялась от 0,012 мг Р/дм³ в 2008 г. до 0,107 мг Р/дм³ — в 2015 г. В отличие от неорганических форм азота, многолетняя динамика Р_{неорг} характеризовалась увеличением его концентрации на протяжении исследованных лет.

Подтверждением установленной закономерности, характеризующей повышение содержания неорганического растворенного фосфора на современном этапе эволюции Киевского водохранилища, являются и приведенные графические данные за первый двадцатилетний период существования водохранилища (1965—1985 гг.) и в настоящее время (рис. 4).

Увеличение концентрации Р_{неорг}, продолжающееся в настоящее время, очевидно, обусловлено (наряду с иными причинами) загрязнением площади водосбора Днепра поверхностно-активными веществами, содержащими фосфор [6]. При этом в современных условиях концентрация Р_{неорг} в воде Киевского водохранилища составляет в среднем 0,053 мг Р/дм³.

С определенной долей достоверности можно утверждать, что в 2008—2015 гг. содержание растворенного неорганического фосфора в воде Киевского водохранилища, по сравнению с первым двадцатилетием (1965—1985 гг.), увеличилось в 2,1 раза.

Важнейшим показателем гидрохимического режима для функционирования автотрофного звена Киевского водохранилища, и фитопланктона как его основы [13], является соотношение $\sum N : P$ (см. табл. 4). Использование ретроспективных данных А. И. Денисовой по содержанию неорганических азота и фосфора [2, 3], а также наших данных за современный период позволило установить, что в 1965—1985 гг. это соотношение изменялось от 19,8 до 67,8, составляя в среднем 43,2, а в наше время — от 1,9 до 42,3, составляя в среднем 15,7.



4. Многолетняя динамика⁴ содержания неорганического фосфора — $P_{\text{неорг}}$ (1) и соотношения суммарного азота и фосфора — $\Sigma N:P$ (2) в летний период в Киевском водохранилище.

Итак, по сравнению с первым двадцатилетним периодом существования водохранилища, в настоящее время соотношение азота к фосфору уменьшилось в 2,76 раз и является оптимальным для развития первичнопродукентов, и в первую очередь фитопланктона.

Таким образом, можно утверждать, что гипотеза А. Д. Приймаченко [9] о лимитирующей роли фосфора в Киевском водохранилище является правильной только для первого двадцатилетия существования водохранилища.

В целом, наши данные в полной мере соответствуют результатам проведенного ранее анализа многолетних исследований водохранилищ Днепра [6], показавших, что происходит снижение концентрации общего азота и его неорганических форм и повышение содержания $P_{\text{неорг}}$. Эти изменения, в первую очередь, происходили за счет уменьшения роли антропогенного фактора в результате спада промышленной и сельскохозяйственной деятельности в данный период, снижения антропогенной нагрузки на бассейн Днепра (для азота), а для неорганического фосфора — за счет увеличения использования в Украине различных моющих веществ.

Таким образом, в настоящее время происходит снижение содержания неорганического азота, особенно его аммонийной формы, на фоне чего увеличивается концентрация растворенного в воде неорганического фосфора. Этот процесс приводит к тому, что $P_{\text{неорг}}$ перестает быть лимитирующим фактором развития фитопланктона — основного компонента автотрофного звена экосистемы Киевского водохранилища.

⁴ Использованы ретроспективные данные А.И. Денисовой [2, 3], отношение $\Sigma N:P$ рассчитано авторами статьи.

Органические вещества. Как уже отмечалось, химический состав воды Киевского водохранилища формируется, главным образом, под влиянием притоков — верхнего Днестра, Припяти и, в меньшей степени, стока р. Тетерев. Особенностью Киевского водохранилища как главного в каскаде днестровских водохранилищ является обогащение его вод гумусовыми веществами, поступающими из Припяти. В современных условиях величины ПО воды в Киевском водохранилище колеблются в пределах 6,6—23,8 мг О/дм³. Межгодовые колебания, по усредненным по водохранилищу показателям, были менее значительными — 13,6—18,5 мг О/дм³. Наиболее высокие показатели ПО отмечались вдоль правого берега водоема, испытывая более заметное влияние вод Припяти.

Величины БО воды на современном этапе существования водохранилища изменяются в пределах 11,2—48,4 мг О/дм³. В среднем по водохранилищу в межгодовом аспекте они колебались в пределах 26,8—36,9 мг О/дм³. Следует отметить, что самые низкие показатели ПО и БО зарегистрированы в крайне маловодном 2015 году. Возможно, летом 2015 г. процессы минерализации органических веществ протекали более активно, что отразилось на концентрации аммонийного азота в воде, его существенном снижении в июле и, одновременно, накоплении в водной среде $P_{неорг}$, а также заметном снижении величин ПО и БО по сравнению с предыдущими годами. При этом авторы еще раз подчеркивают, что они оперируют данными только за летний период, а более конкретно — за вторую половину июля каждого из исследованных годов.

Динамика величин ПО и БО в современных условиях не имеет заметной тенденции к повышению или снижению и, очевидно, зависит от указанных выше факторов, то есть от особенностей внутриводоемных процессов в те или иные годы, интенсивности развития первичнопродукторов и деструкции органических веществ.

В таблице 5 представлена многолетняя динамика минимальных, максимальных и средних величин содержания органических веществ в воде Киевского водохранилища в современных условиях по значениям ПО и БО, их соотношения (ПО/БО), а также органического углерода и органических веществ по данным за июль 2008—2015 гг.

Следует отметить, что наиболее высокая концентрация органических веществ в воде Киевского водохранилища отмечалась в первые годы его существования в результате выщелачивания из залитого ложа водоема биогенных и органических веществ: летом 1965—1967 гг. показатели ПО достигали 24,3, БО — 63,7 мг О/дм³ [5]. В последующие годы содержание органических веществ по значениям ПО и БО воды в водохранилище несколько снизилось и характеризовалось некоторыми флуктуациями из года в год. Их концентрация в воде водохранилища в летний период в настоящее время определяется, в основном, внутриводоемными процессами, водностью года и термическим режимом водоема.

Для оценки роли органических веществ в формировании гидрохимического режима Киевского водохранилища важнейшим показателем является

5. Многолетняя динамика минимальных, максимальных и средних величин содержания органических веществ в воде Киевского водохранилища по значениям ПО и БО в современных условиях

Годы	n	ПО, мг О/дм ³	БО, мг О/дм ³	ПО/БО·100%	Органический углерод, мг С/дм ³	Органические вещества, мг С/дм ³
2008	18	15,04 – 21,76	28,07 – 44,91	50,20	13,85	27,70
		18,54 ± 0,42	36,93 ± 1,20			
2009	27	6,64 – 22,43	11,16 – 48,37	52,06	10,76	21,52
		14,94 ± 1,09	28,70 ± 2,31			
2011	29	13,79 – 19,12	24,35 – 38,26	52,48	11,19	22,38
		15,66 ± 0,28	29,84 ± 0,78			
2012	23	15,04 – 18,24	27,10 – 36,13	51,09	12,01	24,02
		16,36 ± 0,19	32,02 ± 0,51			
2013	22	14,89 – 23,82	15,52 – 41,15	54,51	12,32	24,64
		17,91 ± 0,48	32,86 ± 1,33			
2014	23	15,36 – 17,92	22,68 – 36,40	54,72	11,45	22,90
		16,71 ± 0,19	30,54 ± 0,73			
2015	24	11,52 – 18,56	21,75 – 38,78	50,08	10,03	20,06
		13,59 ± 0,46	26,75 ± 0,92			

П р и м е ч а н и е. Над чертой — пределы колебаний, под чертой — средние значения ± стандартная ошибка; n — количество проб.

их качественная природа. Для ее оценки были использованы величины (в %) соотношения между ПО и БО [1]. В таблице 5 также представлено соотношение ПО и БО за июль месяц в период с 2008 по 2015 гг. Этот показатель в различные годы колебался в довольно узких пределах — от 50,1 до 54,7%, составляя в среднем для всего периода исследования 52,2%. Полученные данные наглядно показывают, что в современных условиях, независимо от условий конкретного года, в составе органических веществ Киевского водохранилища преобладают окрашенные гумусовые соединения. Содержание органического углерода изменяется от 10,0 до 13,8 мг С/дм³, составляя в среднем 11,7 мг С/дм³, а концентрация органических веществ, выраженная в органическом углероде, изменяется от 20,1 до 27,7 мг С/дм³, составляя в среднем для периода исследования 23,3 мг С/дм³.

Итак, полученные величины содержания органических веществ по перманганатной и бихроматной окисляемости, их соотношение указывают на существенную роль окрашенных гумусовых веществ в воде Киевского водохранилища. Высокими величинами характеризуется и содержание в воде органического углерода и выраженных в углероде органических веществ. При этом установлено, что независимо от условий исследуемого года, все показатели, характеризующие органические компоненты гидрохимического режима Киевского водохранилища, в летний период 2008—2015 гг. коле-

бались в довольно узких пределах, что указывает на существенную роль внутриводоемных процессов, интенсивное протекание которых приводит к относительной стабилизации гидрохимических процессов.

Заключение

Анализ результатов исследования химического состава воды Киевского водохранилища показал, что в современных условиях в летний период (июль) минерализация воды колеблется в пределах 280,3—312,1 мг/дм³ и превышает таковую, отмеченную в летние сезоны 1965—1967 гг. Повышение минерализации воды происходило за счет изменений относительной концентрации главных ионов в минеральном составе воды водохранилища. Снизилась концентрация катионов Ca²⁺ и гидрокарбонатов, повысилась — катионов K⁺ + Na⁺, хлорид- и сульфат-ионов, что отмечалось и в более ранних исследованиях [4]. Особенно отчетливо эти изменения проявились в маловодном, редкой повторяемости 2015 году.

Таким образом, антропогенная нагрузка на бассейн Днепра и водность года существенно влияют на минерализацию и концентрацию главных ионов в воде Киевского водохранилища.

Отмечено, что в современных условиях концентрация неорганических форм азота в воде водохранилища существенно колеблется по годам: аммонийного азота — в пределах 0,137—0,453 мг N/дм³, нитратного — 0,051—0,092 мг N/дм³, и находится на уровне второй половины 90-х гг. прошлого столетия.

Установлено, что, по сравнению с первым двадцатилетием существования Киевского водохранилища, на его современном этапе сократилось содержание аммонийной, нитратной форм неорганического азота, а также их суммарной величины.

Очевидно, что существенное влияние на содержание в воде неорганических форм азота оказывают интенсивно развивающиеся в летнее время первичнопродукенты.

Содержание неорганического фосфора, в отличие от неорганических форм азота, с 2008 по 2015 г. (июль) возрастало и достигало в среднем 0,107 мг P/дм³, что свидетельствует о наличии внешних источников его поступления в водохранилище. Установленная закономерность совпадает с ранее высказанным мнением, что повышенная концентрация P_{неорг} в воде днепровских водохранилищ является следствием загрязнения бассейна Днепра поверхностно-активными веществами, содержащими фосфор [6].

Необходимо четко констатировать, что на фоне изменений содержания азота и фосфора значительно изменилось и отношение суммарного азота к фосфору, являющееся важнейшим гидрохимическим критерием для процессов первичного продуцирования. Средняя величина отношения суммарного азота к фосфору, равная 15,7, показывает, что в современных условиях фосфор уже не является лимитирующим фактором в развитии первичнопродукентов, и в первую очередь фитопланктона.

Содержание органических веществ в воде водохранилища в 2008—2015 гг. (июль) колебалось в пределах: ПО — 13,6—18,5, БО — 26,8—36,9 мг О/дм³. Межгодовые колебания этих показателей находятся (наряду с иными причинами) под влиянием внутриводоемных процессов в водохранилище.

Анализ динамики величин неорганических форм азота, фосфора, органических веществ показывает, что в летние периоды современного этапа эволюции Киевское водохранилище характеризуется как евтрофный водоем. При этом гидрохимический режим формирует благоприятные условия для развития биоты, в том числе водорослевых сообществ различных экологических групп, и в первую очередь фитопланктона, фитоэпифитона, фитобентоса.

В целом, относительная стабильность показателей неорганических форм азота, его отношения к фосфору и органических веществ в воде водохранилища за исследованные годы может косвенно свидетельствовать о сбалансированности продукционно-деструкционных процессов в экосистеме на современном этапе ее эволюции.

**

Вивчено багаторічну динаміку гідрохімічних показників Київського водосховища: мінералізації води, концентрації головних іонів, неорганічних форм азоту, фосфору і вмісту органічних речовин за біхроматною і перманганатною окисністю. Встановлено, що на даний час у воді водосховища спостерігаються зниження вмісту неорганічного азоту (особливо його нітратної форми), а також відношення азоту до фосфору. Порівняльний аналіз сучасних і ретроспективних даних показав, що на сьогодні фосфор вже не є лімітуючим чинником у розвитку первинних продуцентів.

**

The paper deals with long-term dynamics of hydrochemical parameters of the Kyiv water reservoir: concentration of total dissolved solids, principal ions, inorganic nitrogen, phosphorus and organic matter content according to chemical oxygen demand with dichromate and permanganate as the oxidants. The inorganic nitrogen content (especially nitrates content) and nitrogen to phosphorus ratio have been found to decrease at present. Comparative analysis of present-day and retrospective data has shown that phosphorus is no longer a limiting factor for primary producers' growth.

**

1. Алексин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — С. 118—131.
2. Денисова А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования. — Киев: Наук. думка, 1979. — 292 с.
3. Денисова А.И. Гидрохимический режим водохранилищ // Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ / Под ред. М. А. Шевченко. — Киев: Наук. думка, 1989. — С. 116—169.
4. Журавлева Л.А. Многолетние изменения минерализации и ионного состава воды водохранилищ Днепра // Гидробиол. журн. — 1998. — Т. 34, № 4. — С. 88—96.

5. *Киевское водохранилище* / Под ред. Я. Я. Цееба и Ю. Г. Майстренко. — Киев: Наук. думка, 1972. — 460 с.
6. *Линник П.Н.* Формирование гидрохимического режима водохранилищ // *Гидроэнергетика и окружающая среда* / Под общ. ред. Ю. Ландау, Л. Сиренко. — Киев: Либра, 2004. — С. 219—236.
7. *Лурье Ю.Ю.* Унифицированные методы анализа вод. — М.: Химия, 1973. — С. 112—114.
8. *Пелешенко В.И., Закревский Д.В., Ромась Н.И. и др.* Гидрохимия поверхностных вод УССР в условиях антропогенного воздействия // *Современные проблемы региональной и прикладной гидрохимии*. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — С. 140—151.
9. *Приймаченко А.Д.* Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ. — Киев: Наук. думка, 1981. — 277 с.
10. *Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ* / Под ред. Н. В. Кондратьевой. — Киев: Наук. думка, 1989. — 232 с.
11. *Строганов Н.С., Бузинова Н.С.* Практическое руководство по химии. — М: Изд-во Моск. ун-та, 1980. — 196 с.
12. *Тімченко В.М., Линник П.М., Холодько О.П. та ін.* Абіотичні компоненти екосистеми Київського водосховища / За ред. В. М. Тімченка. — К.: Логос, 2013. — 60 с.
13. *Щербак В.І.* Гідроекологічні аспекти вирішення проблеми оцінки та зменшення загроз біорізноманіттю континентальних водойм України // *Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України*. — К.: Хімджест, 2003. — С. 273—348.

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

Поступила 03.07.17